تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس

ⴰⴰ.ⵍ. ⵜⵉⵎ.ⵎ ⵙ.ⵜⵜ:ⵙⵉ ⵏ ⵖ.ⵖ ⵏ ⵍ.ⴰⴰ:ⵕ .ⵅⵎⵜⵉⴰ ⵔ:ⵅⵔⵔ.ⴰ ⵍⵉⵕ ⵓⵉⵕⵓ

SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

.ⵅⵕ.ⵍ .ⵔ.ⵉⵎ.ⵏ ⵍ.ⵕⵅ.ⵏ



L'Arganier à l'épreuve du changement climatique

شجر أركان في مواجهة التغير المناخي

Argan tree facing the challenge of climate change

.ⵕⵅ.ⵏ ⵔⵉⵉⴰ ⵏ :ⵕⵍⵏⵎ ⵏ :ⵏⵅⵉⵅⵜ

7ème édition

الصويرة

Essaouira

10>12 ماي 2024

10>12 Mai 2024

ACTES

du Congrès International de l'Arganier

تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER المؤتمر الدولي للأركان

ACTES
du Congrès International de l'Arganier

L'Arganier à l'épreuve du changement climatique

شجر أركان في مواجهة التغير المناخي

Argan tree facing the challenge of climate change

7ème édition

الصويرة
Essaouira
10>12 ماي 2024
10>12 Mai 2024

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER المؤتمر الدولي للأركان

ⴰⵅⵓⵔ ⴰⵎⴰⵣⵉⵖ ⵏ ⵓⵔⴳⴰⵏ

www.congresarganier.com

SOMMAIRE

13 **Préface**

15 **Synthèse des recommandations**

Communications Orales

Axe 1 : Structure, gestion et conservation de l'écosystème arganeraie

21 **Stratégies innovantes pour la préservation de l'écosystème arganier : Répondre aux défis et tracer des voies vers l'avenir**
Agoud Soukaina, Jamal Mabrouki, Miloudia SLAOUI .

28 **Etude des groupes trophiques des arthropodes à l'écosystème d'arganier**
AJERRAR Abdelhadi, Mina ZAAFRANI, Redouan QESSAOUI.

33 **La domestication de l'arganier, une piste stratégique de développement et de préservation dans un contexte de changements climatiques**
Amhaouch Khadija, Khalil Allali, Aziz Fadlaoui.

38 **Les plantes adventices associées à l'écosystème d'Arganeraie du Souss: Cas de la région de Taroudant (Imoulass)**
BOUAMAIR Ahmed, Redouan Qessaoui, Jamal Halam.

42 **Assessment of spatio-temporal dynamics of water erosion in the Arganeraie Biosphere Reserve during a 30-year period (1993-2023) using RUSLE, GEE and satellite imagery : case study of Ksob watershed**
Boussalim Youssef, Youssef Dallahi .

49 **Contribution à l'évaluation de l'impact du changement climatique sur la végétation du Parc National du Souss-Massa et sa zone tampon**
DALLAHI Youssef, Abdelaziz Bouziani.

54 **Etude phyto-écologique multidimensionnelle des Arganeraies du centre-Ouest Marocain**
ELGADI Sara, Abderraouf El ANTARI, Hamza ZINE, , Ahmed OUHAMMOU.

60 **Performances de la population locale caprine de l'arganeraie d'Agadir pour une mise en place d'un schéma de sélection**
EL KHEYYAT HOUDA, Saïd El madidi

69 **Impact of urbanization, agriculture and climate change on the Argan Biosphere Reserve (ABR) in the Souss plain (SW-Morocco)**
El ghazali Hamza, Salma Daoud, Noureddine Benoada Tlemçani, My Cherif Harrouni.

75 **Prédiction de la distribution de l'arganier au Maroc : Une analyse comparative entre les modèles MaxEnt et Random Forest**
ElGorai Zineb, Marwa EL GRAOUI, Mouanis LAHLOU, Moulay Mohamed AJERAME, Mohamed Louay METOUGUI.

84 **Stratégie adaptative photosynthétique de l'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) face à la pression de pâturage**
NAIT DOUCH Aicha, Laila Boukhalef, Abdelhafid El Asbahani, Khadija El Mehrach, Mourad Touaf, Fatima Ain Lhout.

90 **Stocks de carbone et séquestration dans l'arganeraie marocaine : analyse de trois réservoirs dans les régions de Souss-Massa**
Oumasst Assma, Fatima Ezzahra Tiouidji, Salma Tabi, Abdelaziz Zahidi, Abdelhamid El Mousadik, Jamal Hallam.

95 **Richesse et menaces des écosystèmes des zones vulnérable de la RBA : une étude sur biodiversité et les indicateurs pédoclimatique**
Telmoudi Maryem, Afi Chaima, El Kaoua Mimoun, Tahiri Abdelghani, Hsissou Driss, Ait Aabd Naima

103 **Développement de l'arganiculture en milieu dégradé : interprétation des tendances spatiotemporelles dans le rétablissement des zones vulnérables**
AIT AABD Naima, Fatima Ghaffour, Hilal Bahadou, Maryem Telmoudi, Naima Chabbi, Afi Chaima, Abdelghani Tahiri, Redouan Qessaoui, Abdelaziz Mimouni.

109 **Potential of isotope analysis for verification of geographical origin and assessment of environmental impact in argan regions**
EL GHALI Tibari, Fouad Taous.

115 **Sous l'Ombre de l'Arganier : Vers une Écologie Carbone Positive - Évaluation, Gestion et Empreinte Carbone d'un Écosystème Précieux**
Hallam Jamal, Assma Oumasst, Oussama Bayssi, Mustapha Naimi, Naima Ait Aabd, Adnane Laabacci, Wifaya Ahmed, Fouad Elam.

121 **Exploring the suppressive potential of argan tree soil from a protected Area against *meloidogyne spp.* using metagenomic approch**
Obidari Tayeb, Filali Alaoui I., Braimi A., Mayad E. A., El Mousadik.

AXE 2 : Arganiculture, biotechnologie et amélioration génétique

129 **Aridity's Impact on Morocco's Argan Trees: Analyzing morphological, ecophysiological, and biochemical parameters in the face of climate change challenges**
Chaima Afi, Maryem Telmoudi, Fouad Msanda, Jamal Hallam, Naima Ait Aabd

135 **Association des caractères d'intérêt par des croisements et des tests de descendances : Initiation à la création variétale chez l'arganier**
Naima Ait Aabd, Ali El Boukhari, Naima Chabbi, Abdelghani Tahiri, Rachid Bouharroud, Abderrahim Amarraque, Abdelaziz Mimouni, Jamal Hallam, Redouan Qessaoui.

139 **Evaluation of argan rhizobacteria on argan seed germination**
Naima Chabbi, Naima Ait Aabd, Salahddine Chafiki, Maryem Telmoudi, Said El abbassi, Abdelaziz Mimouni, Rachid Bouharroud, Rachid Mentag, Khadija Bendiab, Driss Hsissou, Redouan Qessaoui.

146 **Caractérisation d'une sélection de têtes de clones de six variétés de l'Arganier**
El Boukhari A., El Mousadik A., El Boullani R., Bouharroud R., Tahiri A., Koufan M., Mimouni A., Ait Aabd N.

150 **The combined effect of subsurface water retention technology and compost application on soil moisture and argan seedlings growth and physiology under field condition in the Essaouira region**
Boujemaa Fassih, Mohamed Ait El Mokhtar, Abderrahim Boutasknit, Raja Ben Laouane, Abdelilah Meddich, Said Wahbi.

155 **Reprise des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) après transplantation : Effets des techniques d'économie d'eau combinée aux types d'amendements et d'âge du matériel forestier reproducteur**
Ferradous Abderrahim, Chakib El Hassan, Belghazi Tarik, Aoujdad Jalila, Oubrahim Hayat, Magri Najib, Ouajdi Mohamed, Rabhi Amar.

159 **Contribution à l'étude des endophytes des graines d'*Argania spinosa* : étude des différences dans les structures des communautés bactériennes et fongiques sur six sites**
Hourfane Sohaib, Mahamadou Sakho, Morgan Fays, John Riviére, Noureddine El Aouad, Nicolas Desoignies.

164 **Développement d'une base de données SSR à l'échelle du génome d'*Argania spinosa* pour la caractérisation du matériel génétique**
Slimane Khayi, Rachid Mentag, Driss Iraqi.

171 **Propagation de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) : Le pouvoir de la multiplication végétative**
Meriyem Koufan, Mouaad Amine Mazri, Ali El Boukhari, Mouaad Oumahmoud, Abdelghani Tahiri, Bouharroud Rachid, Abdelaziz Mimouni, Ilham Belkoura

175 **Integrating agronomic research with economic analysis to evaluate Argan seedling nursery practices**
Oumahmoud Mouad, Alouani Mohamed, Elame Fouad, Tahiri Abdelghani, Bouharroud Rachid, Quessaoui Redouan, Mimouni Abdelaziz, Koufan Meriyem.

181 **Amélioration de la micropropagation de l'arganier par germination *in vitro*, microbouturage et microgreffage**
Radi Hassna, Koufan Meriyem, Belkoura Ilham, Naciri Rachida, Oukarroum Abdallah, El Gharous Mohamed, Koussa Tayeb, Mazri Mouaad Amine

186 **Enhancing phosphate nutrition and growth in argan tree seedlings through indigenous arbuscular mycorrhizal consortium**
Merieme Soufiani, Abdelghani Chakhchar, Salama Aissam, Abderrahim Ferradous, Allal Douira, Abdelilah Meddich, Cherkaoui El Modafar.

193 **Effet combiné de mode de la multiplication végétative et de la saisonnalité sur la physiologie et la morphologie des jeunes plants d'*Argania spinosa* au champ.**
Fatima Ezzahra Tiouidji, Assma Oumasst, Salma Tabi, Fouad El Ame, Rachid Bouharroud, Nadya Wahid, Ahmed Wifaya.

AXE 3 : Valorisation des produits de l'arganier : Santé, nutrition, chimie et technologies

201 **Amlou entre tradition et innovation : Caractérisation et formulation d'un nouvel Amlou à base de fruits de *Ziziphus lotus* L., d'huile d'argane et du miel**
Hasna Ait Bouzid, Abdelghani Ait Nouisse, Otmane Hallouch, Abderrahim Asbbane, Hicham Harhar, Jamal Koubachi, Said Gharby.

207 **A Comparative Evaluation of Physical Fruit Traits, Proximate Composition and Oil Physico-chemical Properties of Argan (*Argania Spinosa* L. Skeel)s from Five Varieties**
Abderrahim Asbbane, Otmane Hallouch, Samira Oubannin, Mohamed Ibourki, Naima Ait Aabd, Saïd Gharby.

213 **Antioxidant effects of Argan oil and olive oil against Ironinduced oxidative stress: *In vivo* approache.**
Habiba Bouchab, Soukaina Essadek, Soufiane El Kamouni, Khadija Moustaid, Abdelkhalid Essamadi, Pierre Andreoletti, Mustapha Cherkaoui Malki, Riad El Kebbaj, Boubker Nasser.

219 **Évaluation de la qualité nutritionnelle et technologique du pain de blé tendre mélangé au tourteau d'argan traité (*Argania spinosa.* L).**
Asma El Kaourat, Hasnae Choukri, Badreddine Kartah, Ahmed Snoussi, Aouatif Benali, Mona Taghouti, Hanae El Monfalouti.

224 **The Potential Role of major Argan oil Compounds as Nrf2 regulators and Their Antioxidant Effects**
Riad El Kebbjaj, Habiba Bouchab, Mounia Tahri Joutey, Soufiane Rabbaa, Youness Limami, Boubker Nasser, Melford C. Egbujor, Paolo Tucci, Pierre Andreoletti, Luciano Saso, Mustapha Cherkaoui Malki.

230 **Éffets therapeutiques de la consommation de l'huile d'argane sur les Maladies Inflammatoires Chroniques des Instestins**
F.Z. Hamdoun, O. El Abed, H. Abid, N. Lahmidani, A. El Mekaoui, M. El Yousfi, D.A. Benajah, S.A. Ibrahimi, M. El Abraki, M. Errasfa.

236 **Developement of two argan oil-based recipes worth for many health conditions**
Mourad Errasfa

241 **Effect of argania nutshells content on flexural and viscoelastic properties of reinforced phenolic resin composites**
H. Essabir, M. Raji, R. Bouhfid, A. Qaiss.

246 **Valorisation des sous-produits de l'arganier : Sources innovantes et valorisables de composés bioactifs à haute valeur ajoutée**
Otmane Hallouch, Mohamed Ibourki, Abderrahim Asbbane, Samira Oubannin, Laila Bijla, Said Gharby, Khalid Majourhat.

251 **Comparison of moroccan argan oil from the east and the west by studies of chemical composition**
Miloudi Hilali, Nadia Maata.

257 **Localisation de la protéine de stockage des graines (SSP) 2S dans la Semence d'arganier (*Argania Spinosa* L).**
Mohammed Mrani Alaoui, Elena Lima, Antonio Jesús Castro, Juan de Dios Alché.

262 **Différentes méthodes d'enrichissement d'huile d'argane (*Argania spinosa* L. (Skeels), par des plantes aromatiques et médicinales.**
Samira Oubannin, Abderrahim Asbbane, Laila Bijla, Hasna Ait Bouzid, Jamila Gagour, Otmane Hallouch, Said Gharby.

268 **Evaluation de la composition chimique et de la stabilité des huiles d'argane issues des arganiers de croissance domestiquée et spontanée.**
Chaimaa Sabiri, Bouchra Tazi, Saad Lhoussaine, Abdelfettah Derouiche.

272 **Étude *in vitro* sur l'activité antioxydante, antiglycation et de docking moléculaire de l'huile d'*Argania spinosa* du Maroc Oriental**
Abdnim Rhizlan, Amal Elrherabi, Abdelkhaleq Legssyer, Abderrahim Ziyyat, Hassane Mekhfi, Mohamed Bnouham.

278 **Usage traditionnel et valeur nutritionnelle d'argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région de l'Anti-Atlas occidental du Maroc**
Mohamed Barkaoui, Fouad Msanda, Hassan Boubaker, Rachida El Boullani, Ouahid Elasri, Mohamed El Yaagoubi, Mohamed Chahboune.

284 **Feuilles et branches d'*Argania spinosa* de la région de l'Orientale du Maroc: Activités sur l'agrégation plaquettaire, le saignement et la coagulation plasmatique**
Fatima Zahra LAFDIL, Mohamed BNOUHAM, Abdelkhaleq LEGSSYER, Abderrahim ZIYYAT, Rachid SEDDIK, Hassane MEKHFI.

289 **Contribution à la mise à jour de la norme NM.08.5.090**
Ahmed Ouhammou, Sara Elgadi, Abderraouf El Antari.

295 ***Argania spinosa* (L.) Skeels by-products: valuable source of biogas in circular bioeconomy**
Jihane Zeghlouli, Lucia Braga Nan, Benoit Chezeau, Pierre Fontanille, Amine Guendouz, Cherkaoui El Modafar, Philippe Michaud, Cédric Delattre.

Axe 4 : Socio-économie et développement territoriale de la RBA

303 **L'Arganeraie de la plaine du Souss face à la construction en cours de l'agglomération du grand Agadir**
ALIATE Redouane, EL Mati Ouarmassi

311 **Détermination de l'empreinte carbone de l'huile d'argane : le cas des coopératives et des entreprises du sud marocain**
Oussama BAYSSI, Mustapha NAÏMI, Mohamed SABIR, Mohamed CHIKHAOUI, Jamal HALLAM.

318 **Économie sociale et solidaire et pratiques éco-responsables : Proposition de cadre conceptuel sur les déterminants de l'engagement éco-responsable**
Abdelhamid Benhmade, Laïla Amraoui, Chidi Oguamanam, Mohamed Ziyadi.

328 **Analyse de la performance socio-économique des coopératives de l'Argane; cas de trois coopératives**
Amina BOUKAL, Soumia OMARI.

331 **Etude technico-économique de l'arganiculture au Maroc : Cas d'un projet de 100 ha dans la commune rurale de Mzilate (province d'Essaouira)**
Lobna BOUSSOU, Ali ABIDAR, Majid BENABDELLAH, Larbi AZIZ.

336 **Produits de terroir et enjeux socioéconomiques et territoriaux: Étude de cas d'une coopérative de production de l'huile d'argane**
Karima EL BALBAL, Soumia OMARI.

342 **Savoirs locaux ancestraux et Agdal fruitier actuel : brise de la conscience collective dans la RBA ?**
Hajar Elyazidi, Said Boujrouf.

347 **Vers une gouvernance créatrice de valeurs : l'apport de l'approche socio-écologique dans l'empowerment des acteurs**
Hala Idrassen, Salma El Ghiouan , Said Boujouf

353 **Les projets de développement local face aux défis des comportements des acteurs dans la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie**
KASSOU Souhir, BENHSAIN Wafaa, BOUJROUF Said

357 **Analyse des préférences et des consentements à payer des consommateurs japonais pour les produits cosmétiques à base d'huile d'argane**
Taha Lahrech, Yuki Maruyama, Kenichi Kashiwagi, Noureddine Ibnezzyn.

360 **دور المعارف المحلية والممارسات الثقافية في استدامة غابة الأركان بمناطق الأطلس الصغير الغربي**
محمد ابلا، محمد سلمي

364 **La Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA) : L'entrepreneuriat dans l'écotourisme opportunités et contraintes**
Aaziz OULMOUDNE, Fatima BEN CHAKRE.

370 **Do 'rights of nature' and legal personhood status offer new trajectories for nature conservation of the argan woodlands in the face of climate change?**
Bertram Turner

Communications Affichées

Axe 1 : Structure, gestion et conservation de l'écosystème arganeraie

381 **Evaluation de la vulnérabilité et des impacts du changement climatique sur la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie**
Youssef dallahi, Youssef Boussalim.

388 **Valorisation adaptative de l'arganier par des systèmes agroforestiers contre le changement climatique au Maroc**
Khadija El Moustaqim, Jamal Mabrouki , Driss Hmouni.

393 **Validation des tarifs de cubage pour les taillis d'arganier de la plaine du Souss**
Tarik Belghazi, El hassan Chakib

396 **Circadian rhythms of Medfly larva emergence and *Monomorium subopacum* ant foraging : an asset of Ceratite biocontrol by ants in the Argan forest**
Abderrahim El Keroumi, Ismail Outoukarte, Dihazi Abdelhi, Khalid Naamani, Abdallah Dahbi

400 **Mid infrared spectroscopy enable rapid differentiation of Moroccan extra virgin argan oils with respect to their geographic origin**
Youssra EL Haddad, Abdelkarim Filali Maltouf, Bouchra Belkadi, Abderrahim Ferradous, Romdhane Karoui, Hicham Zaroual

404 **In silico genome-wide identification and characterization of Superoxide dismutase *(SOD)* gene family in Argan tree (*Argania spinosa* L.)**
Mina Chahidi, Abdelmoiz El Faqer, Karim Rabeh, Bouchra Belkadi

411 **Sentinel-2-Based Machine Learning for Accurate LAI Estimation in *Argania spinosa***
Mohamed Mouafik, Mounir Fouad, Abdelghani Chakhchar, Felix Antoine Audet, Ahmed El Aboudi

415 **Influence of Container Size on Nursery Production of Argane Trees**
Mohamed Mouafik, Abdelghani Chakhchar, Mohamed Ouajdi, Ismail Ettaleb, Jalila Aoujdad, Salwa El Antry, Ahmed El Aboudi

419 **Conservation de l'écosystème arganeraie grâce à la transplantation d'arganiers adultes**
Hamza El Ghazali, Noureddine Benoada Telmçani, Salma Daoud, Chérif Harrouni

425 **Innovation en Agroforesterie : Valorisation de l'Arganier dans la Gestion de la Jachère et l'Optimisation des Rendements d'Orge**
Othmane Elghalmi, Karima Samir, Mohamed El koudrim

430 **Option de système de culture des plantes aromatiques et médicinales associées à l'arganier pour l'amélioration de la productivité des terres dégradées et la résilience des arganeraies**
Youssef Karra, Abdelghani Tahiri, Fouad Elame, Abdelaziz Mimouni

435 **Microbial abundance in the rhizosphere of argan trees : cas of Tiznit and Taroudant regions**
Redouan QESSAOUI, Salahddine CHAFIKI, Ahmed BOUAMAIR, Naima CHABBI, Abdelmalek MAHROUG, Abdelhadi AJERRAR, Naima AITABD, Abdeghani TAHIRI, Meriyem KOUFAN, Jamal HALLAM, Mohamed ALOUANI, Rachid BOUHARROUD

439 **Statut mycorhizien d'un peuplement d'arganiers de reboisement et des espèces accompagnatrices dans la localité de Dar Chef, région de Ouezzane**
Zineb Sellal, Amina Ouazzani Touhami, Jamila Dahmani, Soumaya El Gabardi, Soukaina Maazouzi, Najoua Mouden, Nabil Zaara, El Alaoui Moulay Abdelaziz, Mohamed Chliyeh, Karima Selmaoui, Cherkaoui El Modafar, Allal Douira

AXE 2: Arganiculture, biotechnologies et amélioration génétique

449 **Exploring Drought-Induced Antioxidative Traits in *Argania spinosa* : A Path to Climate Resilience.**
Abdelghani Chakhchar, Merieme Soufiani, Mouna Lamaoui, Abderrahim Ferradous, Abdelhamid El Mousadik, Saad Ibnsouda Koraichi, Abdelkarim Filali Maltouf, Cherkaoui El Modafar.

454 **Exploitation de la rhizosphère de l'Arganier pour le biocontrôle du botrytis cinerea chez la tomate (*Solanum Lycopersicum*) dans la région du Souss Massa: Approche de lutte biologique.**
FIRAOUNI Abderrahim, QESSAOUI Redouan, CHAFIKI Salah Eddin, CHABBI Naima, MAHROUG Abdelmalek, AITABD Naima, TAHIRI Abdeghani, ABERKANI Kamal, BOUHARROUD Rachid.

458 **Evolution du système racinaire des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) de trois âges différents après transplantation.**
Miloudi Soukaina, Aaba Latifa, Ait Souabni Siham, Ferradous Abderrahim, Abbad Abdelaaziz, El Mouden Hassan.

461 **Optimization of the germination of argan seeds : The impact of substrate and seed size.**
Oumaima Ninich, Mohamed Ouajdi, Ismail Etaleb, Jalila Aoujdad, Hayat Oubrahim, Nour Eddine Amirat, Oussama Zekhnini, Fatima Aabidi, Najib Magri, Salwa El Antry.

467 **Les techniques et la période optimale d'elevage en pépiniere pour la production de plants d'arganier (*Argania spinosa* L.Skeels)**
Mohamed Ouajdi, Soukaina Maazouzi, Ismail Etaleb, Oumaima Ninich, Jalila Aoujdad, Hayat Oubrahim, Salwa el Antry Tazi, Fatima Aabidi, Nour Eddine Amirat, Oussama Zekhnini, Allal Douira

471 **La régénération in vitro de l'arganier par microbouturage à partir du matériel adulte.**
Ilham Amghar, Ghizlane Diria, Fatima Gaboun, Mohammed Ibriz, Rabha Abdelwahed.

479 **Effet de la température et la lumière sur l'optimisation de la germination et la croissance chez l'arganier (*Argania spinosa* (L.)).**
Bensaid Ayoub, El Khadir Issam, Mouniane Yassine, Soufiani Abdelaati, Chriqui Ahmed, Doubi Meryem, Zoubir Mohamed Haitam , Ramdan Rajae et Hmouni Driss.+

485 **Effect of mineral and organic fertilizers, on growth young argan trees *(Argania spinosa* L.)**
Naima Chabbi, Abdelaziz Mimouni, Salahddine Chafiki, Maryem Telmoudi, Said El abbassi, Redouan Qessaoui, Rachid Bouharroud, Khadija Bendiab, Driss Hsissou, Naima Ait Aabd.

492 **Fusarium solani, un pathogène responsable de la pourriture racinaire et de dépérissement des plants d'arganier des pépinières au Maroc**
Mohamed EL RHOCH, Soukaina MAAZOUZI, Mohamed OUAJDI, Zineb SELLAL, Najoua MOUDEN, Karima SELMAOUI, Amina OUAZZANI TOUHAMI, Moulay Abdelaziz EL ALAOUI, Amar RABHI, Allal DOUIRA.

498 **Étude approfondie de la diversité lipidomique : comparaison des populations d'arganiers dans diverses régions du Maroc**
El faqer Abdelmoiz, Rabeh Karim, Rachidi Farid, El arroussi Hicham, Belkadi Bouchra.

506 **Contribution à l'étude de la germination et de la levée des graines d'arganier (*Argania spinosa* L.) en relation avec la forme des noix et leur provenance**
Salaheddine Essaghi, Mohammed Yessef, Mohamed Ouajdi, Ilham Belkho, El Antry Salwa, Oubrahim Hayat, Jalila Aoujdad, Najib Magri.

513 **Contribution à l'étude de l'effet du choc thermique sur la germination de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels)**
Salaheddine Essaghi, Mohammed Yessef, Mohamed Ouajdi,Nuxi Maro, El Antry Salwa, Oubrahim Hayat, Jalila Aoujdad, Najib Magri.

519 **Détermination de l'activité antioxydante et de la teneur en polyphénols totaux dans les extraits méthanoliques des cals de l'arganier *(Argania spinosa* L.)**
Koufan Meriyem, Mazri Mouaad Amine, Najat El Manssoury, Belkoura Ilham.

524 **Un nouveau micro-organisme isolé des plantes d'arganiers au Maroc : Pestalotia populinigrae**
Soukaina Maazouzi, Amina Ouazzani Touhami, Soukaina Msairi, Zineb Sellal, Allal Douira.

528 **Nouvel outil de performance pour la sélection chez l'*Argania spinosa* L. Skeels : Plasticité phénotypique des feuilles chez des génotypes sélectionnés, en réponse à l'impact environnemental**
Siham Oumous, Ilham Rahmouni, Ghizlane Tobi, Mohammed Bouksaim, Yasmina El Bahloul.

535 **Identification et développement à l'échelle du génome de marqueurs microsatellites géniques (CDS-SSR) chez *Argania spinosa* L. (Skeels)**
RABEH Karim, MGHAZLI Najoua, GABOUN Fatima, FILALI MALTOUF Abdelkarim, SBABOU Laila, BELKADI Bouchra.

542 **Genome of *Argania spinosa* L.: Insights into oil production and the tocopherol biosynthesis pathway**
Oliver Rupp, Clemens Roessner, Naemi Lederer Ponzer, Tassilo Erik Wollenweber, Annette Becker, Mouna Lamaoui.

548 **Assessing the Impact of Soil Drought Stress on Leaf water status and Photosynthetic Efficiency in Mycorrhized Argan Seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels)**
Merieme Soufiani, Abdelghani Chakhchar, Salama Aissam, Abderrahim Ferradous, Allal Douira, Abdelilah Meddich, Cherkaoui El Modafar.

AXE 3 : Valorisation des produits de l'arganier : Santé, nutrition, chimie et technologies

557 **Enrichissement de l'huile d'argane par l'armoise (*Artimisia herba alba asso* L.)**
Zineb Boubal, Abderrahim Asbbane, Said Gharby.

563 **Antioxidant Effects of Argan Oil and Olive Oil against Iron-Induced Oxidative Stress : *In Vitro* Approache**
Zakaria Ejjalti, Habiba Bouchab, Soukaina Essadek, Soufiane El Kamouni, Khadija Moustaid, Abdelkhalid Essamadi, Pierre Andreoletti, Mustapha Cherkaoui Malki, Riad El Kebbaj, Boubker Nasser.

569 **Caractérisation chimique des fruits d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeets) et utilisation de différentes techniques d'extraction**
Ettaleb I., El Aboudi A., Elantry S., Aoujdad J., Oubrahim H., Ladouy C., El Hasnaui S., Satrani B., Aabidi F., Ouajdi M..

576 **Authentification of argan oil using rapid low-cost screening techniques Headspace Gas Chromatographyion Mobility Spectrometry (HS-GC-IMS)**
F. Taous, T. Elghali, K. Laraki, I. Marvil, S. Kelly.

581 **Analyse de la composition chimique des noix d'argan issues de différentes zones de Sous Massa à l'aide des techniques nucléaires : implication sur la qualité de l'huile d'argane**
Abdelwahab Badague, Hamid Bounouira, Elmahjoub Chakir, Abdessamad Didi, Hamid Amsil, Ilias Aarab

586 **Valorization of Argan Tree Products: Health, Nutrition, Chemistry, and Technologies**
Hajar Khabouche, Jamal Mabrouki, Miloudia Slaoui

590 **Argan, Olive, Soya, Colza, Sunflower : What is the best oil for health?**
Miloudi Hilali, Nadia Maata.

596 **Evaluation of the *in vitro* antagonistic effect of fungal species extracted from the argan tree, for biological control of pathogenic colonies.**
Hajar Banaille, Hasnae Charai, Zineb Mahlaoui, Imane Jamouri, Noamane Taarji, Khadija Lamrani, Kuniyoshi Shimizu, Tarik Ouchbani.

601 **Impact du génotype sur la teneur en huile et la composition en acides gras chez *Argania spinosa* L.**
Ilham Rahmouni, Siham Oumous, Ghizlane Tobi, Mohammed Bouksaim, Yasmina El Bahloul.

AXE 4 : Socio-économie et développement territoriale de la RBA

609 **Argan Futures: Overcoming Obstacles to the Effective Utilization of Scientific Findings in Argan Cultivation and Conservation**
Redouan QESSAOUI, Salahddine CHAFIKI, Ahmed BOUAMAIR, Naima CHABBI, Abdelmalek MAHROUG, Abdelhadi AJERRAR, Naima AITABD, Abdeghani TAHIRI, Meriyem KOUFAN, Mohamed ALOUANI, Rachid BOUHARROUD.

615 **Analyse des Pratiques de Production d'Huile d'Argane : Enquêtes auprès des Coopératives du Centre-Ouest du Maroc**
Hasnae Charai, Hajar Banaille, Noamane Taarji, Kuniyoshi Shimizu, Khadija Lamrani, Tarik Ouchbani.

622 **Revue méthodologiquede l'estimation de l'empreinte carbone des chaines agro-industrielles végétales: Leçons tirées pour l'huile d'argane**
Oussama BAYSSI, Mustapha NAÏMI, Mohamed SABIR, Mohamed CHIKHAOUI, Jamal HALLAM.

PREFACE

Sous le Haut Patronage de Sa Majesté le Roi Mohammed VI, la 7ème édition du Congrès International de l'Arganier s'est tenue à Essaouira du 10 au 12 mai 2024, à l'occasion de la Journée Internationale de l'Arganier. Placée sous le thème «L'arganier a l'épreuve au changement climatique», cette édition a rassemblé la communauté scientifique afin d'échanger sur les dernières avancées relatives à l'arganier et son écosystème.

Les communications scientifiques ainsi que les événements organisés en marge mettent en lumière les résultats de la recherche, qui contribuent à une meilleure compréhension de la résilience de l'arganier face au changement climatique et au développement de pratiques de gestion et de valorisation durables. L'essentiel des résultats a porté sur les progrès réalisés en matière d'arganiculture, d'amélioration génétique, de valorisation des produits et de développement territorial. L'importance d'une coopération renforcée entre les chercheurs et les autres acteurs de la filière pour préserver cet écosystème unique et valoriser ses ressources a été également soulignée.

Conscients de l'importance d'assurer la continuité de la recherche scientifique, ce congrès met un point d'honneur à encourager et à valoriser les jeunes chercheurs, dont les travaux novateurs contribuent à l'avancement des connaissances sur l'arganier et son écosystème. Dans cette optique, des prix de recherche ont été attribués afin de récompenser l'excellence scientifique et d'inciter les nouvelles générations de chercheurs à s'investir davantage dans cette thématique. En soutenant ces initiatives, la communauté scientifique et les acteurs du secteur s'engagent à insuffler un nouvel élan à la recherche, tout en garantissant la pérennité de la recherche et du développement autour de l'arganier et de l'arganeraie.

Ces actes permettent d'explorer, à travers les articles scientifiques, les défis multidimensionnels auxquels l'arganier est confronté, qu'ils soient environnementaux, socio-économiques ou liés à la gestion de l'écosystème. Les conclusions de ce congrès fournissent une base essentielle pour aider à la prise de décision et à l'élaboration de politiques publiques adaptées, tout en orientant les actions futures en faveur de la préservation de cet arbre exceptionnel ainsi que de son écosystème.

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble des acteurs qui ont contribué à la réussite de cet événement, notamment, les auteurs pour la pertinence de leurs travaux et les participants, dont les échanges et les contributions ont nourri des réflexions essentielles pour l'avenir de la filière.

Nous saluons le travail du comité scientifique, dont l'expertise a permis de sélectionner les meilleures contributions pour garantir la qualité des travaux présentés. Nous exprimons également notre reconnaissance au comité d'organisation, dont l'engagement et la rigueur ont assuré le bon déroulement du congrès et la réussite de ses différentes activités. Enfin, nous remercions nos partenaires pour leurs soutiens précieux.

Grâce à l'implication de chacun, cette édition a été un espace privilégié de partage des connaissances et d'exploration de nouvelles perspectives pour la préservation et la valorisation durable de l'arganier.

Latifa YAAKOUBI:
Directrice Générale de L'ANDZOA

Dr Faouzi BEKKAOUI:
Directeur de l'INRA Maroc

Synthèse des **Recommandations**

Organisée du 10 au 12 mai 2024 à Essaouira, la 7ème édition du Congrès International de l'arganier, axée sur la thématique "l'arganier à l'épreuve du changement climatique", a réuni une communauté scientifique engagée.

Cet événement a permis la tenue de 12 sessions parallèles et de 3 tables rondes, ainsi que la présentation de 104 communications orales et affichées. Les échanges enrichissants et les débats animés ont favorisé une réflexion approfondie sur les défis et les opportunités liés à l'arganier.

À l'issue de ces discussions, les participants ont formulé un ensemble de recommandations, générales ainsi que d'autres spécifiques classées par axe de recherche, afin d'orienter les futures initiatives et projets relatifs à cette ressource naturelle unique.

Recommandations

1.1. RECOMMANDATIONS GENERALES

- Encourager l'innovation et le développement d'entreprises dans les secteurs liés à l'arganier, ainsi que la valorisation des résultats de la recherche pour favoriser le développement économique local.
- Capitaliser les recherches dans les domaines de la santé et de la nutrition liées à l'arganier, afin de mieux comprendre ses bénéfices pour la santé humaine.
- Renforcer la communication sur les produits de l'arganier pour en promouvoir la consommation et les bienfaits.
- Développer les recherches prioritaires sur des thématiques telles que le sol, la biodiversité, la faune et la flore de l'arganeraie, ainsi que sur la pollinisation pour assurer sa durabilité.
- Favoriser la création de réseaux de recherche et la consolidation des équipes pour renforcer la coopération et les échanges scientifiques.
- Mettre en place des mécanismes de financement spécifiques à la recherche sur l'arganier pour soutenir les projets innovants.
- Organiser d'autres événements scientifiques sur des thématiques et spécialisées variées pour diversifier les échanges et les connaissances.
- Développer et partager des bases de données et des connaissances sur l'arganier pour faciliter l'accès à l'information et la recherche.
- Favoriser le partage des résultats et des connaissances avec les professionnels et les autres acteurs impliqués dans la gestion et la valorisation de l'arganier.

1.2. RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES

AXE 1 : STRUCTURE, GESTION ET CONSERVATION DE L'ÉCOSYSTÈME ARGANERAIE

- Capitaliser et valoriser les recherches et les résultats qui supportent la restauration et la préservation de l'écosystème et ses composantes.
- Développer et promouvoir des recherches sur l'écosystème de l'environnement (environmental economics) pour orienter les projets de réhabilitation, restauration et préservation de l'écosystème arganeraie.
- Mettre en place des mesures concrètes pour contrer les effets négatifs des changements climatiques sur l'écosystème, en s'appuyant sur les résultats de la recherche.
- Encourager la collaboration interdisciplinaire entre les différents acteurs impliqués dans la préservation et la gestion de l'écosystème arganeraie.
- Sensibiliser et éduquer les populations locales sur l'importance de la préservation de l'écosystème arganeraie et sur les bonnes pratiques à adopter.
- Renforcer les capacités des acteurs locaux pour une meilleure gestion et conservation de l'écosystème arganeraie.
- Encourager la mise en œuvre de pratiques agricoles durables pour préserver la biodiversité et les ressources naturelles de l'écosystème arganeraie.
- Développer et promouvoir l'usage des nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle (AI), les isotopes, et les bioindicateurs pour la gestion et la prise de décisions.

AXE 2 : ARGANICULTURE, BIOTECHNOLOGIES ET AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

- Développer la recherche sur la multiplication végétative de l'arganier pour améliorer les techniques de propagation et garantir la disponibilité des plants.
- Mettre en place des programmes de gestion et de préservation de la diversité génétique de l'arganier pour assurer sa résilience face aux changements environnementaux.
- Renforcer les études sur le génome de l'arganier pour soutenir les programmes de sélection et d'amélioration génétique.

• Développer des techniques de caractérisation avancées pour mieux comprendre la génétique de l'arganier et améliorer les programmes de reproduction.

• Étudier l'interaction entre l'arganier et son environnement, en particulier le rôle de la mycorhization, pour mieux comprendre les mécanismes de développement de l'arbre et optimiser sa culture.

AXE 3 : VALORISATION DES PRODUITS DE L'ARGANIER EN SANTÉ, NUTRITION, CHIMIE ET TECHNOLOGIES

• En plus de l'huile d'argan, il est important de développer les recherches sur la valorisation des autres produits dérivés de l'arganier pour exploiter pleinement ses bénéfices.

• Promouvoir la recherche médicale et les études cliniques afin de mettre en valeur les composés bioactifs de l'huile d'argan pour des applications thérapeutiques.

• Réviser les normes de base de la recherche pour garantir la qualité et la fiabilité des études menées sur l'arganier et ses produits dérivés.

• Encourager la recherche sur la diversification des co-produits de l'arganier à l'échelle internationale, notamment en enrichissant les produits dérivés pour développer de nouvelles applications.

AXE 4 : SOCIO-ÉCONOMIE ET DÉVELOPPEMENT TERRITORIALE DE LA RBA

• Promouvoir la certification des produits de l'arganier pour garantir leur qualité et leur traçabilité, ce qui peut augmenter leur valeur sur le marché.

• Mettre en place des programmes de sensibilisation et de formation pour les agriculteurs afin de les aider à mieux gérer leurs exploitations et à valoriser les produits de l'arganier.

• Encourager la recherche sur les techniques de séquestration du CO2 en lien avec l'arganiculture, notamment en favorisant la plantation d'arganiers et d'autres espèces adaptées à la captation du carbone.

• Promouvoir les mécanismes de compensation carbone basés sur l'arganier, en les intégrant dans les politiques de lutte contre le changement climatique.

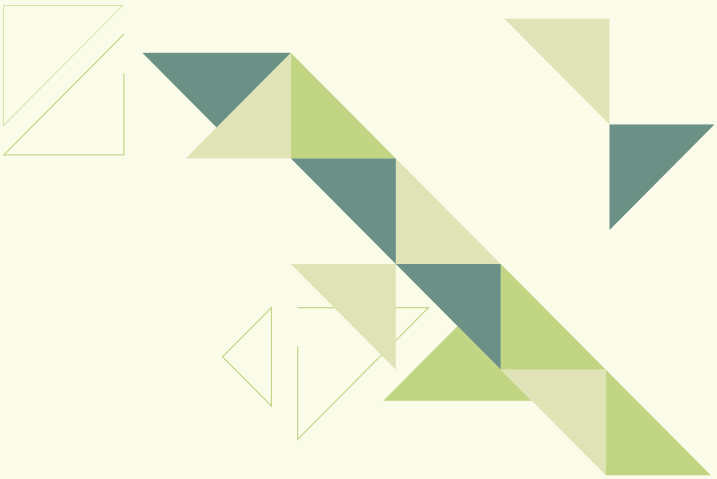
• Réaliser des études de marché pour mieux comprendre les attentes des consommateurs et adapter l'offre de produits de l'arganier à leurs préférences.

• Valoriser les produits de l'arganier en mettant en avant leurs qualités nutritionnelles, leurs bénéfices pour la santé et leur origine naturelle.

• Soutenir la recherche sur le patrimoine culturel et naturel lié à l'arganier pour valoriser les savoirs traditionnels et favoriser le développement local.

• Encourager les initiatives de valorisation du patrimoine arganier à des fins touristiques et économiques, en mettant en avant son rôle dans le développement territorial et la création d'emplois.

AXE 1
Structure, gestion et conservation de l'écosystème arganeraie



COMMUNICATIONS ORALES

Stratégies innovantes pour la préservation de l'écosystème arganier : Répondre aux défis et tracer des voies vers l'avenir

Soukaina Agoud [1*], Jamal Mabrouki [2] , Miloudia SLAOUI [1],

[1] *Energy, Materials and Sustainable Development (EMDD) Laboratory—Higher School of Technology - SALE, Center of Water, Natural Resources, Environment and Sustainable Development (CERN2D), University Mohammed V in RABAT, Rabat 10100, Morocco;*

[2] *Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERNE2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, Morocco ;*

** soukainaagoud1999@gmail.com ;*

RÉSUMÉ

L'écosystème arganier, principalement situé au Maroc, représente un patrimoine naturel et culturel d'une importance cruciale. Cependant, il est confronté à des défis croissants liés à la déforestation, à la dégradation des terres et à la pression économique. Ce travail explore des approches innovantes et des technologies émergentes utilisées pour la structure, la gestion et la conservation de l'écosystème arganier. À travers une revue de la littérature et une analyse des pratiques actuelles, nous examinons l'utilisation de technologies de surveillance écologique telles que les drones et les images satellite pour cartographier et surveiller les changements dans l'écosystème arganier. Nous explorons également des pratiques agricoles durables, y compris les méthodes de culture de l'aganier qui favorisent la régénération de l'écosystème. De plus, nous discutons des initiatives de gestion participative et de l'engagement communautaire visant à promouvoir la conservation de l'écosystème arganier tout en améliorant les moyens de subsistance des populations locales. En outre, nous examinons les stratégies de valorisation économique et de développement durable, telles que le développement de chaînes de valeur durables pour l'huile d'argan. Enfin, nous identifions les défis et les opportunités futurs pour une gestion efficace et durable de l'écosystème arganier, en mettant l'accent sur l'importance d'une approche intégrée tenant compte des aspects environnementaux, sociaux et économiques. En résumé, ce travailmet en lumière les innovations façonnant l'avenir de l'écosystème arganier et propose des voies pour une gestion plus efficace et durable de cette ressource précieuse.

Mots clés
L'écosystème arganier; technologies de surveillance écologique; stratégies de valorisation économique; développement durable.

ABSTRACT

Innovative Strategies for the Preservation of the Argan Ecosystem : Addressing Challenges and Charting Pathways for the Future.

The argan ecosystem, primarily located in Morocco, represents a natural and cultural heritage of crucial importance. However, it faces growing challenges related to deforestation, land degradation, and economic pressure. This work explores innovative approaches and emerging technologies used for the structure, management, and conservation of the argan ecosystem. Through a literature review and an analysis of current practices, we examine the use of ecological monitoring technologies such as drones and satellite imagery to map and monitor changes in the argan ecosystem. We also explore sustainable agricultural practices, including argan cultivation methods that promote

Keywords
Argan ecosystem; ecological monitoring technologies; economic valor-ization strategies; sustainable development.

ecosystem regeneration. Furthermore, we discuss participatory management initiatives and community engagement aimed at promoting the conservation of the argan ecosystem while improving the livelihoods of local populations. Additionally, we review economic valorization strategies and sustainable development, such as the development of sustainable value chains for argan oil. Finally, we identify future challenges and opportunities for effective and sustainable management of the argan ecosystem, emphasizing the importance of an integrated approach that considers environmental, social, and economic aspects. In summary, this work highlights the innovations shaping the future of the argan ecosystem and proposes pathways for more effective and sustainable management of this valuable resource.

INTRODUCTION

L'écosystème arganier incarne une fusion exceptionnelle de richesse naturelle et de patrimoine culturel. Néanmoins, il est confronté à des défis majeurs tels que la dégradation des terres et les pressions économiques, menaçant son équilibre écologique et les moyens de subsistance des communautés locales [1]. En réponse à ces défis pressants, il est de plus en plus reconnu que des stratégies innovantes et l'intégration de technologies émergentes sont nécessaires pour préserver et soutenir ce précieux écosystème. Ce travail ouvre la voie à une exploration de la diversité des approches visant à structurer, gérer et préserver l'écosystème arganier. À travers une revue exhaustive des pratiques contemporaines et des avancées, cet article examine le déploiement d'outils de surveillance écologique de pointe et surveille méticuleusement les changements au sein du paysage arganier [2]. De plus, il étudie les méthodologies agricoles durables, en mettant l'accent sur les pratiques agricoles qui favorisent la régénération de l'écosystème et la conservation de la biodiversité [3]. Parallèlement, ce travail explore les cadres de gestion participative et les initiatives d'engagement communautaire, indispensables pour favoriser une gestion locale efficace et progresser dans les objectifs de conservation de l'écosystème arganier [4]. En outre, il examine les stratégies axées sur la valorisation économique et le développement durable, mettant particulièrement l'accent sur la culture et la transformation de l'huile d'argan, un produit précieux avec une demande mondiale et un potentiel de soutien aux économies locales [5].En décrivant les défis et les opportunités futurs, cet article souligne l'impératif d'adopter une approche intégrée qui harmonise la préservation de l'environnement, le bien-être sociétal et la vitalité économique. Essentiellement, il vise à mettre en lumière des voies innovantes qui mènent à la résilience et à la durabilité de l'écosystème arganier, ouvrant ainsi la voie à sa prospérité durable.

MATERIEL ET METHODES

Des études sur l'arganier et l'extraction de l'huile d'argan sont menées dans des régions clés du Maroc, notamment à Aoulouz dans la région de Sous-Massa et à Midelt dans la région de Drâa-Tafilalet [6]. Ces deux zones sont renommées pour leur importance dans la production et la transformation de l'argan, symbolisant des centres majeurs de recherche et d'innovation dans le domaine [7]. Aoulouz, située dans la région de Sous-Massa, est célèbre pour ses vastes forêts d'arganiers et son rôle pivot dans la production d'huile d'argan [8]. Les recherches menées à Aoulouz portent souvent sur les techniques de culture, la biodiversité de l'écosystème arganier et les pratiques d'extraction d'huile [9]. De même, Midelt, au cœur de la région de Drâa-Tafilalet, est un point focal pour les activités liées à l'arganier et à l'huile d'argan [10]. Dans la région de Midelt, des initiatives de gestion participative et d'engagement communautaire sont mises en œuvre pour préserver l'écosystème arganier. Ces efforts impliquent activement les membres de la communauté locale dans la prise de décisions concernant la conservation et la gestion durable des ressources naturelles. Des programmes de sensibilisation sont organisés pour éduquer les habitants sur l'importance de la préservation de l'arganier et sur les pratiques agricoles durables. De plus, des forums et des réunions sont organisés pour encourager la participation active des résidents dans la planification et la mise en œuvre de projets de conservation. Ces initiatives visent à renforcer les liens entre la communauté locale et l'écosystème arganier, favorisant ainsi une gestion plus efficace et une meilleure protection de cet environnement précieux.

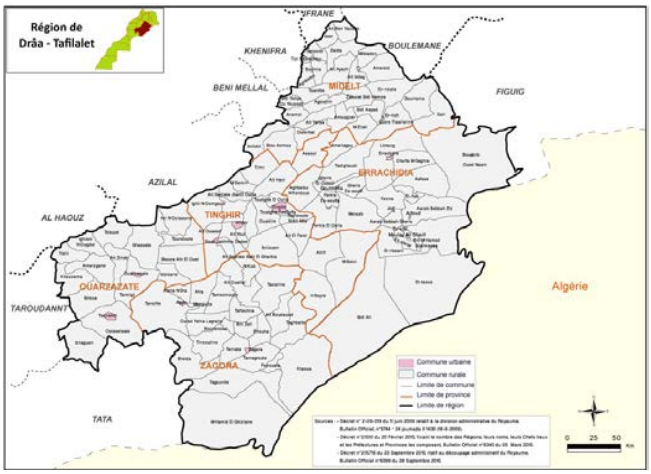


Figure 1. Présentation de la région Draa-Tafilalet [11].

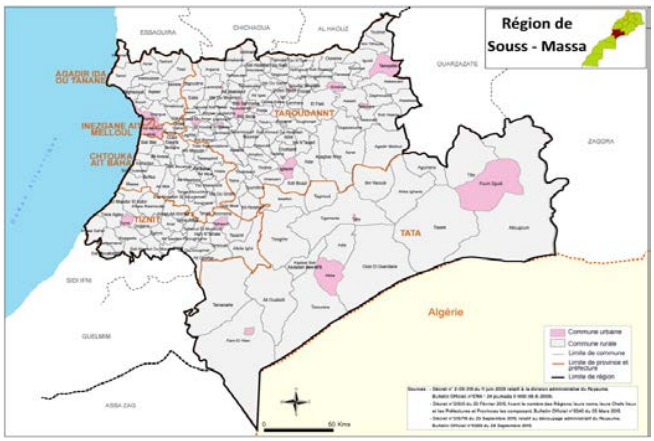


Figure 2. Présentation de la région Souss Massa [12].

Ainsi ces études explorent fréquemment les aspects écologiques, socio-économiques et technologiques de la production d'huile d'argan, mettant en lumière l'importance de la région dans la recherche et le développement de pratiques durables liées à l'arganier [13]. Ainsi, la concentration des études dans ces deux régions souligne l'importance de Sous-Massa et de Drâa-Tafilalet en tant que centres de recherche et d'innovation dans la préservation et la valorisation de l'arganier au Maroc.

Quant à l'approche méthodologique de l'étude pour répondre à la problématique de la préservation et de la gestion durable de l'écosystème arganier, notre démarche de recherche suit une méthodologie rigoureuse, articulée autour de plusieurs étapes essentielles.

Premièrement l'identification de la problématique et formulation de la question de recherche ; Nous débutons par une analyse approfondie des défis majeurs auxquels est confronté l'écosystème arganier, notamment la déforestation, la dégradation des terres et les pressions économiques, mettant ainsi en lumière l'urgence de trouver des solutions durables. En conséquence, notre question de recherche centrale se concentre sur la manière de concilier la préservation de cet écosystème unique avec le bien-être des communautés locales, en prenant en compte les dimensions environnementales, sociales et économiques. Deuxièmement une revue de la littérature approfondie est entreprise pour examiner les travaux antérieurs sur l'écosystème arganier, son importance écologique, culturelle et économique, ainsi que les stratégies de gestion et de préservation existantes. Cette étape nous permet de situer notre recherche dans le contexte existant et de construire sur les connaissances préalables.

Ainsi pour la collecte des données nous adoptons une approche méthodologique mixte, combinant des entretiens semi-structurés, des observations sur le terrain et des analyses documentaires. Ces méthodes nous permettent de recueillir des données riches et variées auprès des acteurs locaux, des experts en conservation, des agriculteurs et des décideurs politiques, afin de comprendre les réalités locales et les besoins spécifiques. Nous analysons par la suite les pratiques agricoles durables, en mettant l'accent sur les méthodes de culture de l'arganier favorisant la régénération de l'écosystème. De plus, nous examinons en détail les initiatives de gestion participative et d'engagement communautaire visant à impliquer activement les populations locales dans la conservation et la gestion durable des ressources naturelles avec une évaluation des stratégies de valorisation économique de l'arganier, telles que le développement de chaînes de valeur pour l'huile d'argan, et leur impact sur les moyens de subsistance des communautés locales. Cette analyse nous permet de comprendre comment les aspects économiques peuvent être intégrés à une approche globale de gestion durable.

RESULTATS

Une vue d'ensemble des défis majeurs auxquels est confronté l'écosystème arganier est fournie, mettant en lumière la complexité des enjeux environnementaux, économiques et sociaux qui menacent sa durabilité à long terme. La culture de l'arganier au Maroc, s'étendant sur une vaste superficie de 830 000 hectares, est clairement identifiée comme une ressource vitale, jouant un rôle crucial tant sur le plan économique que culturel dans la région [14]. Cependant, cet écosystème est confronté à une série de défis majeurs qui menacent sa durabilité à

long terme. Les changements climatiques, notamment la réduction des précipitations et l'augmentation des températures, exercent une pression considérable sur la santé des arganiers et la disponibilité de l'eau [15]. Parallèlement, la déforestation, la surexploitation des terres et les pressions démographiques accroissent la pression sur les ressources naturelles, compromettant ainsi l'équilibre écologique de l'écosystème arganier [16].

L'utilisation de drone était réalisée dans la région de Taroudant pour avoir une vue d'ensemble comme c'est indiqué dans la figure 3.



(a)



(b)

Figure 3. Imagerie par drone dans la région de Taroudant

Ainsi l'utilisation de contrôle satellitaire voit le jour dans la région de Draa des initiatives sont en cours pour contrôler le pourcentage de l'eau dans les arbres. Et pour faire face au manque d'information chez les agriculteurs en matière de l'importance d'intégration de la technologie pour face aux changement climatique et pour améliorer le système via la satisfaction aux normes internationaux à savoir global GAP et label éco. Une initiative des jeunes du domaine vue le jour dans AIT AIACH située dans la région Draa Tafilalet qui a réunis 4 coopératives chacune contient entre 150 et 300 agriculteurs qui disposes 5000 hectares pour créer une fédération.

L'exploration des technologies de surveillance écologique telles que les drones et les images satellite a permis de fournir une vue d'ensemble des défis majeurs auxquels est confronté l'écosystème arganier. Ces outils ont été utilisés pour cartographier et surveiller les changements dans l'écosystème, notamment en identifiant les zones à haut risque et en surveillant la croissance des arbres. Deuxièmement, l'analyse des pratiques agricoles durables a mis en lumière l'importance des méthodes de culture de l'arganier qui favorisent la régénération de l'écosystème. En comprenant ces pratiques, il est possible de promouvoir des approches agricoles respectueuses de l'environnement et socialement inclusives. Troisièmement, l'examen des initiatives de gestion participative et de l'engagement communautaire a souligné l'importance de la collaboration entre les parties prenantes locales pour favoriser une gestion efficace et durable de l'écosystème arganier. Ces initiatives ont permis d'impliquer activement les populations locales dans la conservation et la gestion des ressources naturelles. Quatrièmement, l'analyse des stratégies de valorisation économique et de développement durable a montré comment la promotion des produits dérivés de l'arganier, tels que l'huile d'argan, peut contribuer à améliorer les moyens de subsistance des communautés locales tout en renforçant leur résilience économique. Enfin, l'identification des défis et des opportunités futurs a souligné l'importance d'une approche intégrée tenant compte des aspects environnementaux, sociaux et économiques pour assurer la durabilité à long terme de l'écosystème arganier. Cette approche holistique met en évidence la nécessité de solutions innovantes et de partenariats synergiques pour relever les défis évolutifs auxquels est confronté cet écosystème précieux.

En résumé, les résultats obtenus fournissent un aperçu complet des défis et des opportunités pour la préservation et la gestion durable de l'écosystème arganier, en mettant en évidence l'importance cruciale de chaque volet pour une approche intégrée et holistique

de la conservation.

DISCUSSION

Face à ces défis, des initiatives innovantes voient le jour pour promouvoir une gestion durable de la forêt d'arganiers. Les organisations locales et les institutions gouvernementales collaborent pour mettre en œuvre des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement et socialement inclusives [17]. Des programmes de sensibilisation et de formation renforcent les capacités des agriculteurs locaux en matière de gestion des ressources naturelles et de préservation de la biodiversité [18], notamment par le biais de la création d'une fédération dans la région de Draa Tafilalt qui vise de créer un cahier de charge pour tous les coopératives et avoir un programme d'irrigation global et bien détaillé pour supprimer toute ambiguïté en matière de technologie et pour assurer le développement du domaine grâce à l'implantation des certifications et la satisfaction au normes internationaux.

L'intégration de technologies de pointe, telles que l'utilisation de drones équipés de capteurs multispectraux, offre de nouvelles opportunités pour surveiller et gérer efficacement l'écosystème arganier [19]. L'analyse des données collectées par les drones, combinée à des techniques d'intelligence artificielle, permet d'identifier les zones à haut risque, de surveiller la croissance des arbres et de détecter les maladies précoces [20]. Ces avancées technologiques contribuent à une gestion proactive de la forêt d'arganiers et à une utilisation plus efficace des ressources disponibles c'est pour cela la société ZYDEV et en train de développer l'utilisation de drone pour le mettre plus en plus intelligent nous suggérons le couplage du drone avec les applications intelligents tel que AGRIO et les études sont toujours en cours dans la région de Souss Massa .

En parallèle, des initiatives de valorisation économique et sociale de l'arganier sont en cours. La promotion des produits dérivés de l'arganier, tels que l'huile d'argan, sur les marchés nationaux et internationaux contribue à améliorer les moyens de subsistance des communautés locales et renforce leur résilience économique [15]. Les programmes de certification et d'étiquetage visent à garantir la qualité et l'authenticité des produits de l'arganier, renforçant ainsi leur attrait sur les marchés internationaux. La préservation de la forêt d'arganiers nécessite une approche intégrée comme indiqué dans le diagramme ci-dessus, combinant des pratiques agricoles durables, des initiatives de conservation de la biodiversité et des avancées technologiques innovantes. L'engagement des parties prenantes locales, soutenu par les politiques gouvernementales et les partenariats internationaux, est essentiel pour assurer la viabilité à long terme de cet écosystème unique et précieux.

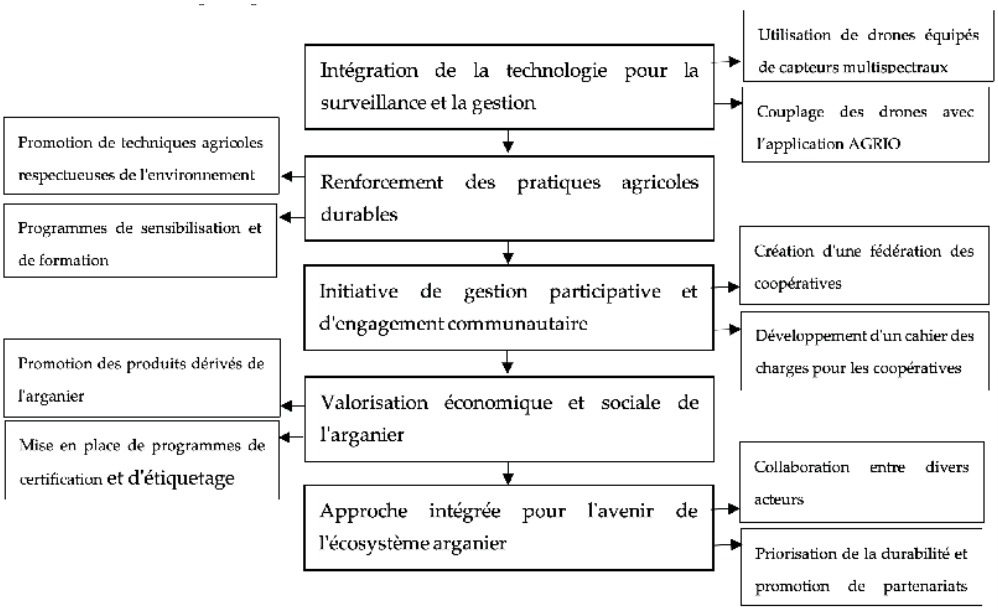


Figure 4. Diagramme proposant une stratégie intégrée pour la préservation de l'écosystème arganier

Comme c'est indiqué dans la figure 4 ; L'écosystème arganier, joyau naturel et culturel du Maroc, est aujourd'hui confronté à une série de défis pressants qui menacent sa pérennité. Parmi ces défis figurent la déforestation, la dégradation des terres et les pressions économiques croissantes, qui mettent en péril l'équilibre fragile de cet écosystème unique. Face à ces enjeux, une approche intégrée et novatrice s'impose pour préserver

l'écosystème arganier et garantir son avenir. Cette approche repose sur plusieurs piliers interconnectés. Tout d'abord, l'utilisation de drones équipés de capteurs multispectraux offre une solution technologique avancée pour surveiller l'écosystème. En identifiant les zones à haut risque, surveillant la croissance des arbres et détectant les maladies précoces, ces drones permettent une gestion proactive et éclairée de la forêt d'arganiers.

Parallèlement, le renforcement des pratiques agricoles durables est crucial. En promouvant des techniques respectueuses de l'environnement qui favorisent la régénération de l'écosystème, on contribue à préserver la biodiversité et à assurer la durabilité à long terme de la culture de l'arganier. L'engagement communautaire et la gestion participative jouent également un rôle central dans cette stratégie. En créant une fédération des coopératives et en établissant des normes de gestion communes, les communautés locales s'unissent pour protéger et gérer efficacement leurs ressources naturelles.

Sur le plan économique et social, la valorisation des produits dérivés de l'arganier offre des perspectives de développement durable. En promouvant ces produits sur les marchés nationaux et internationaux et en garantissant leur qualité grâce à des programmes de certification, on contribue à améliorer les moyens de subsistance des populations locales tout en préservant leur patrimoine naturel.

Enfin, la collaboration entre les différents acteurs impliqués, des communautés locales aux partenaires internationaux, est essentielle pour assurer le succès de cette approche intégrée. En unissant leurs efforts et leurs ressources, ils peuvent œuvrer ensemble à la préservation et à la prospérité continue de l'écosystème arganier, garantissant ainsi sa valeur pour les générations futures.

En adoptant cette approche globale, qui combine technologies avancées, pratiques agricoles durables, engagement communautaire et valorisation économique, nous pouvons relever les défis actuels et tracer des voies durables vers l'avenir de cette ressource précieuse, assurant ainsi sa préservation et sa prospérité continue.

CONCLUSIONS

En conclusion, l'écosystème de l'arganier au Maroc représente une ressource vitale et unique, englobant des aspects écologiques, économiques et culturels. Cependant, il fait face à des défis multiples allant des impacts du changement climatique aux pratiques de gestion des terres non durables. Les efforts collaboratifs de divers acteurs, notamment les communautés locales, les organismes gouvernementaux et les partenaires internationaux, sont primordiaux pour assurer la durabilité à long terme de la forêt d'arganiers. Des solutions innovantes, telles que l'intégration de la technologie, les approches de gestion participative et les chaînes de valeur durables, offrent des voies prometteuses pour atténuer les menaces et renforcer la résilience. L'utilisation de techniques avancées comme la technologie des drones et la télédétection facilite la surveillance et la gestion efficaces des ressources de l'arganier, permettant des interventions opportunes et une prise de décision éclairée. De plus, la valorisation économique des produits dérivés de l'arganier profite non seulement aux moyens de subsistance locaux, mais encourage également les efforts de conservation. En promouvant des pratiques durables et une distribution équitable des avantages, elle favorise une approche équilibrée du développement tout en préservant l'intégrité de l'écosystème de l'arganier. En essence, une approche holistique et inclusive qui intègre la conservation de l'environnement, le développement socio-économique et la préservation culturelle est essentielle pour assurer l'avenir de l'écosystème de l'arganier. En priorisant la durabilité et en favorisant des partenariats synergiques, nous pouvons maintenir la valeur intrinsèque de la forêt d'arganiers pour les générations à venir, assurant sa prospérité et sa résilience continues face aux défis évolutifs.

Remerciements : Mes profonds remerciements aux propriétaires des unités de trituration d'huile d'argan qui m'ont fourni toutes les informations et les données nécessaires, ainsi qu'à l'ingénieur de la société ZYDEV qui m'a ouvert la porte pour discuter de la possibilité d'intégrer l'intelligence artificielle au drone.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bani-Aameur, F., Fatemi, F. Z., El Atki, Y., Tahri, M., & Mansouri, F. (2019). Status of the argan forest in Morocco: Biodi-versity, conservation, and socio-economic development. Biodiversity and Conservation, 28(3), 581-601.

2. Bouazza, M., El Abbassi, A., Karrouch, A., Hafidi, M., & Wahbi, S. (2020). Sustainable management of the argan tree: Assessment and perspectives. Environmental Science and Pollution Research, 27(17), 21250-21261.

3. El Maataoui, M., Adnane, M., Sbaï, K., Kailouli, K.,

& Sriti, J. (2018). Application of remote sensing and GIS techniques for the monitoring and management of argan tree (*Argania spinosa*) stands in southwestern Morocco. Moroccan Journal of Chemistry, 6(1), 118-126.

4. Hachicha, M., Bouhtoury, F., El Abbassi, A., & Hafidi, M. (2021). Valorization of argan oil by-products: challenges and opportunities. Environmental Chemistry Letters, 19(2), 957-975.

5. Sbai, K., Tahiri, A., & Tychon, B. (2017). Assessing and modeling soil erosion risk in an argan forest (Morocco) using remote sensing and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 189(9), 463.

6. Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008). Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of *Argania spinosa* (L.) Skeels. Journal of ethnopharmacology, 118(3), 479-482.

7. Ait Haddou, A., Nejjar, M. S., & Jazouli, A. E. (2017). Assessment of argan tree distribution using satellite images in the western of the Anti-Atlas (Morocco). International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, 6(1), 2249-9925.

8. El Monfalouti, H., Guillaume, D., Denhez, C., & Charrouf, Z. (2010). Therapeutic potential of argan oil: a review. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 62(12), 1669-1675.

9. El Mousadik, A., & Peltier, J. P. (2011). A new method of extraction of argan oil by pressing and solubilization with or-ganic solvent. Journal of oleo science, 60(5), 235-240.

10. Zidane, A., El Mousadik, A., El Kharrassi, Y., Benito, P. B., & Filali-Maltouf, A. (2021). Sustainable management practic-es of the argan forest (*Argania spinosa*) and socio-economic development in the Tiznit region, Morocco. Environmental Science and Pollution Research, 28(27), 35390-35405.

11. Ministry of the Interior. (2015). General Directorate of Local Authorities. Monograph of Draa Tafilalet 5.

12. Ministry of the Interior. (2015). General Directorate of Local Authorities. Monograph of Souss Massa 4.

13. Hassani, F., El Harti, A., Lhaloui, S., El Mousadik, A., & Filali-Maltouf, A. (2019). Assessment of argan tree distribution using remote sensing and GIS techniques: A case study of the Souss-Massa region, Morocco. Environmental Monitoring and Assessment, 191(9), 1-14.

14. Boukhobza, M., Benkaddour, A., & Haddane, A. (2021). Mapping argan forest expansion and regression in southwest-ern Morocco using Landsat imagery. Land Degradation & Development, 32(2), 641-654.

15. Bouayad, A., Zahidi, A., & Agoujil, S. (2020). Conservation and valorization of the argan tree in Morocco: an overview. Agroforestry Systems, 94(5), 1761-1771.

16. Hassani, F., Lhaloui, S., El Harti, A., El Mousadik, A., & Filali-Maltouf, A. (2021). Monitoring of argan tree distribution using remote sensing techniques: A case study of the Tindouf region, Morocco. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 23, 100537.

17. Benmoussa, H., Halouani, S., & El Mousadik, A. (2020). Participatory management of argan tree stands in the Aït M'hamed forest (Morocco): Actors, strategies and challenges. Forest Policy and Economics, 113, 102130.

18. Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008). Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of *Argania spinosa* (L.) Skeels. Journal of ethnopharmacology, 118(3), 479-482.

19. El Monfalouti, H., Guillaume, D., Denhez, C., & Charrouf, Z. (2010). Therapeutic potential of argan oil: a review. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 62(12), 1669-1675.

20. Ait Haddou, A., Nejjar, M. S., & Jazouli, A. E. (2017). Assessment of argan tree distribution using satellite images in the western of the Anti-Atlas (Morocco). International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS, 6(1), 2249-9925.

Contribution à l'étude des groupes trophiques d'arthropodes liés à l'écosystème Arganier dans la région du Souss

Abdelhadi AJERRAR [1,2,*], Mina ZAAFRANI [2], Redouan QESSAOUI [1], Hilal BAHADOU [1], Abdelmalek Mahroug[1, 3], Ahmed BOUAMAIR[1,3], Salahddine CHAFIKI[1,4], Naima AIT AABD[1], Abdelghani TAHIRI[1], Bouchra CHEBLI[2], El Hassan MAYAD[3], Rachid BOUHARROUD[1].

[1] *Research Unit of Integrated Crop Production, Regional Center of Agronomic Research of Agadir, Morocco;*

[2] *Biotechnology and Environmental Engineering Unit, National School of Applied Sciences, Ibn Zohr University, Morocco;*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences - Agadir, Ibn Zohr University, BP 8106, 80000 Agadir, Morocco;*

[4] *AgroBioSciences Department (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Ben Guerir, Morocco.*

[*] *Correspondance : ajirrar@gmail.com;*

Mots clés
Arganier, Coccinellidea, Herbivores, Hyménoptères, Insectes, Parasitoïdes, Pollinisateurs.

RÉSUMÉ

La diversité, la distribution spatiotemporelle et les fonctions des communautés d'arthropodes dans la réserve biosphère de l'Arganier, au centre-ouest du Maroc, sont moins étudiés. L'objectif principal de ce travail est d'étudier la diversité des arthropodes et leur classification en groupes trophiques. Les arthropodes ont été échantillonnés d'une façon saisonnière à l'aide des pièges pitfall et des pièges jaunes englués dans quatre sites. Les arthropodes identifiés dans les deux niveaux étudiés (sol et feuillage) ont été classés e groupes trophiques. En total, six groupes trophiques ont été identifiés (dont : détritivores, scavangers, parasitoïdes, prédateurs, herbivores et pollinisateurs). Leur abondance taxonomique est influencée par les variations saisonnières. Au niveau terrestre, les prédateurs et les détritivores présentent une abondance plus élevée. Pour les insectes frondicole, l'abondance des herbivores a été hautement significative pendant toutes les saisons. L'écosystème d'arganier héberge une structure complexe de groupes trophiques, comprenant des régulateurs de ravageurs (prédateurs et parasitoïdes) et des pollinisateurs.

Keywords
Argan, Coccinellidea, Herbivores, Hymenoptera, Insects, parasitoids, Pollinators.

ABSTRACT

Contribution to the study of trophic groups of arthropods linked to the Argan ecosystem in the Souss region

Diversity, spatiotemporal patterns, and the function of arthropod communities in the Arganeraie Biosphere Reserve of the central west of Morocco are poorly understood. The main objective of this work was to study arthropods' diversity and their classification into trophic guilds. Arthropods were seasonally sampled using pitfall traps and sticky yellow traps at the four study sites. Identified arthropods from the two studied levels (ground and foliage) were classified into different trophic guilds. Overall, six trophic guilds have been reported (including Detritivores, Scavengers, Parasitoids, Predators, Herbivores, and Pollinators). Their abundance was influenced by seasonal variation. At the terrestrial level, both predators and detritivores show a higher abundance. At the foliage level, Herbivores' abundance was highly significant compared to the other trophic guilds throughout all sampling seasons. Argan trees host a complex structure of functional groups, including pest regulating (predators and parasitoids) and pollinators.

INTRODUCTION

Argania spinosa (Argan) est l'un des arbres forestiers endémique les plus importants du centre-ouest du Maroc couvrant plus de 800 000 Ha [1] et bien adapte au climat aride et semi-aride de la région. Les travaux de recherche en entomologie réalisés à l'écosystème de l'arganier [2, 3, 4, 5] montrent une diversité importante des arthropodes. Ces derniers fonctionnent dans les différents niveaux des réseaux trophiques, tout en assurant plusieurs services écosystémiques. Selon Seastedt & Crossley [6], les arthropodes transfèrent des nutriments dans les écosystèmes terrestres par diverses interactions (avec les plantes et les microbes) et influencent ainsi les quantités de matières organiques vivantes et mortes. Ils jouent également un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols [7,8]. Parmi les services écosystémiques fournis par ces arthropodes à l'échèle de l'écosystème d'arganier on note principalement une importante contribution à la pollinisation entomophile des fleurs d'arganier [9] et la régulation des ravageurs [10]. Malgré l'importance des groupes trophiques dans le bon fonctionnement des écosystèmes terrestres, ces groupes trophiques sont moins investigués dans l'écosystème d'arganier dans la région du Souss. L'objectif principal de cette étude est d'identifier les groupes trophiques des insectes frondicoles et les arthropodes terrestre associés à l'écosystème de l'arganier dans la région du Souss ainsi que l'impact des variations saisonnières sur leur abondance.

MATERIAL AND METHODES

Les sites d'étude

Quatre sites d'arganiers dans la région du Souss ont été étudiés. Trois sites (Tameri, Aoulouz et Argana) appartenant au domaine forestier, tandis que le quatrième site qui se situe à Belfaa est une parcelle d'arganiculture (Figure 1). Le premier site est situé à Tameri (30.70672N, -9.76643W) dans la province d'Agadir. Le deuxième site est situé à Aoulouz (30.62352N, -8.14542W) dans la province de Taroudant. Le troisième site est situé à Argana (30.7519869N, -9.1529756W), qui se situe au nord-ouest de la province de Taroudant. Le quatrième site est un verger d'Arganier qui se trouve dans le domaine expérimentale Melk Zhar de l'INRA à Belfaa (30.0434N, -9.55635W). Le verger a été planté en 2010 dans le cadre d'une expérimentation de domestication de l'arganier. Les quatre sites appartiennent au bioclimat méditerranéen aride avec des précipitations inférieures à 300 mm/an [11]. Aoulouz, Argana et Belfaa ont un hiver froid et un été très chaud. Cependant Tameri qui est très proche de l'océan Atlantique se caractérise par un climat doux en Hiver et en Eté.

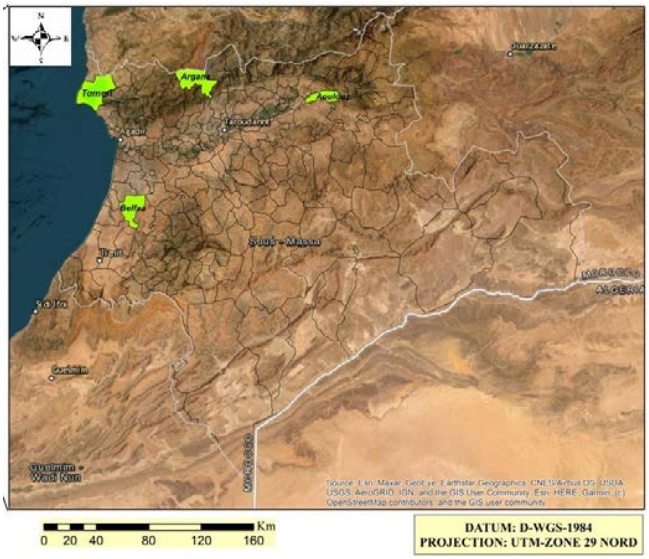


Figure 1 : Localisation des sites d'étude

Méthodes d'échantillonnage

Deux méthodes d'échantillonnage ont été utilisées. Dans chaque site, dix arbres d'arganier ont été sélectionnés. Pour l'échantillonnage des insectes frondicole, dans chaque arbre, un piège jaune englue mesurant 25 cm sur 10 cm (IPM Russell) a été installé à une hauteur de 1,5 à 2 m du sol du côté sud-est de l'arbre à l'abri du vent dominant [12]. Pour l'échantillonnage des arthropodes terrestres, des pièges pitfall ont été utilisés (7 cm de diamètre, 9 cm de profondeur) [13]. Cinq pièges ont été installés dans la rhizosphère du chaque arganier. Les pièges ont été récupérés après 24 heures et transférés au laboratoire pour le comptage et l'identification des spécimens. Cette dernière étape à été réalisée jusqu'au rang d'espèce/morphoespèces à l'aide d'un stéréomicroscope et de plusieurs clés d'identification [14, 15, 16, 17]. Par la suite les arthropodes et les insectes identifiés ont été attribués à des groupes trophiques. L'analyses statistique a été réalisées par test ANOVA a un seul facteur ($p < 0,05$) à l'aide du logiciel Statistica (version 6, StatSoft, USA). Le test Tukey à 95 % d'intervalle de confiance a été utilisé pour comparer les valeurs moyennes si des différences significatives ont été trouvées.

RÉSULTATS

3.1. Composition et structure de l'entomofaune d'arganier

Pour les arthropodes terrestre, l'échantillonnage saisonnière dans les quatre sites d'étude a permet de collecter plus de 15000 arthropodes représentés par

161 morpho-espèces, 20 ordres et 52 familles. Les arthropodes capturés sont dominés par les insectes qui représentent une abondance relative de 90% (figure 2b). De plus, les insectes constitués la classe la plus diversifiée par 122 morpho-espèces, suivis par les Arachnides (33 morpho-espèces). Les Coléoptères et les Hyménoptères sont les deux ordres d'insectes les plus diversifiés. Alors que les hyménoptères sont l'ordre le plus abondant.

Au niveau frondicole, plus de 5000 individus ont été capturés dans les quatre sites étudiés. Ils sont représentés par 241 morpho-espèces et appartenant à sept ordres et 61 familles. L'analyse des données montre une différence de l'abondance relative des ordres. les Diptères et les Hémiptères sont les deux ordres le plus abondants tout en représentant 45,08 % et 39,44 % respectivement. Les Hyménoptères occupent la troisième place par une abondance relative de 9,86 %.

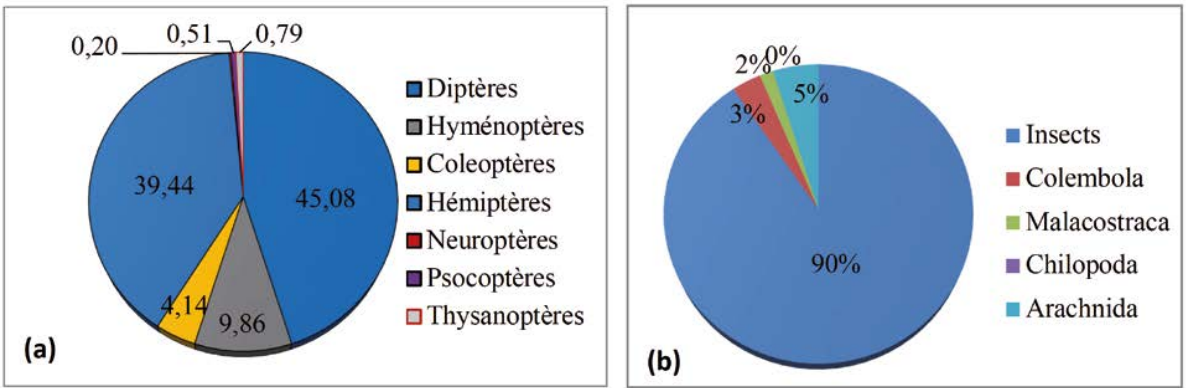


Figure 2 : Abondance relative des différents ordres des insectes frondicoles (a) et les classes constituants les arthropodes terrestre (b).

Le classement des arthropodes terrestre et les insectes frondicole en groupes trophiques à permet d'identifier six groupes. Trois groupes ; Herbivores, prédateurs et les detritivores sont commun pour les deux niveaux échantillonnés (sol et frondaison) alors que les scavengers sont spécifiquement identifiés au niveau terrestre. Les parasitoïdes et les pollinisateurs sont uniquement répertoriés au niveau de la frondaison.

3.2. Insectes frondicole

L'analyse statistique montre des variations significatives de l'abondance moyenne enregistrée pour les cinq groupes trophiques durant chaque saison d'échantillonnage (Tab. 1). L'abondance moyenne des herbivores a été hautement significative par rapport aux autres groupes pendants toutes les saisons d'échantillonnage, cette abondance attient son maximum pendant le printemps. En Hiver, une abondance moyenne élevée a été enregistrée pour les herbivores suivi par les prédateurs. En Printemps, à l'exception des prédateurs, une augmentation importante de l'abondance a été enregistrée pour les autres groupes. Par contre, une diminution importante de l'abondance a été enregistrée pour tous les groupes trophiques pendant l'Eté. En Automne, une légère augmentation a été enregistrée pour les pollinisateurs et les herbivores. Cependant, l'abondance des prédateurs a été considérablement augmentée.

Tableau 1: Abondance moyenne des groupes trophiques en fonction des saisons.

	Arthropodes terrestre				Insectes frondicole			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Herbivores	4,9± 3,08^{a}	8,4± 3,08^{a}	4,3±1,96^{a}	1,1±0,84^{a}	48,89±17,70^{b}	142,5±36,4^{b}	28,2±6,36^{c}	49±17,3^{c}
Prédateurs	13,1±3,68^{b}	28,3±6,56^{b}	31±7,4^{b}	12,5±2,9^{b}	13,17±3,7^{a}	10,3±3,6^{a}	2,4±1,44^{ab}	19,7±11,58^{b}
Détritivores	22,6±5,28^{c}	24,2±10,2^{b}	29,2±18,08^{b}	22,6±5,28^{c}	(0,99±1,76)^{a}	17,2±5,12^{a}	1,2±1,52^{a}	0
Parasitoides					2,58±1,6^{a}	15,6±4,72^{a}	7,1±3,12^{b}	1,7±0,96^{a}
Scavengers	2,4±1,36^{a}	3,7±1,3^{a}	9±3,4^{a}	1,2±0,84^{a}				
Pollinisateurs					5,19±3,98^{a}	24,6±4,88^{a}	4±1,40^{ab}	7,4±5,16^{ab}

3.3. Arthropodes terrestres

A l'exception des détritivores dont l'abondance n'a pas été influencée par la saisonnalité, l'abondance relative des autres groupes trophiques montre une variation significative en fonction des saisons. Par conséquent, une variation de l'abondance des prédateurs, des herbivores et des scavengers entre les saisons a été enregistrée. Pour les prédateurs, une forte abondance a été observée en Printemps et en Eté, alors que, pour les herbivores et les scavengers, une forte abondance a été enregistrée respectivement en Printemps et en Eté. L'analyse statistique a montré une différence significative entre l'abondance des quatre groupes trophiques. Une abondance hautement significative de détritivores par rapport aux autres groupes trophiques a été enregistrée en Hiver et en Automne. Durant le Printemps et l'Eté, l'abondance des prédateurs et des détritivores a été nettement supérieure à celle des herbivores et des scavengers. Cependant, aucune différence n'a été enregistrée entre les prédateurs et les détritivores.

DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent une grande richesse taxonomique des arthropodes terrestres et des insectes frondicole dans l'écosystème de l'arganier dans la région du Souss. Cette grande richesse taxonomique enregistrée peut s'expliquer par la stabilité de l'écosystème de l'arganeraie en tant que forêt ancienne [18], elle pourrait être attribuée également à l'arganier qui joue un rôle clé dans cet écosystème en tant qu'arbre dominant offrant un microhabitat favorable [18]. La structure de la communauté d'arthropodes terrestres rapportée dans cette étude est similaire à celles rapportées dans différents écosystèmes de la région méditerranéenne qui se caractérisent par la dominance des insectes [19,20]. Alors que la structure de la communauté des insectes frondicole rapportée dans la présente étude est différente de la structure de l'entomofaune frondicole associé à l'arganier dans la région d'Essaouira [21]. Cette différence peut s'expliquer par la différence de la méthode d'extraction des insectes utilisée dans les deux études. L'abondance des groupes trophiques répertoriés dans cette montre une influence de la saisonnalité. Le pic d'abondance des groupes trophiques est enregistré pendant le Printemps, cette saison caractérisée par les conditions climatiques favorables, par la floraison de l'arganier [22], et l'abondance des ressources végétales [23].

CONCLUSIONS

Cette étude révèle une diversité importante des arthropodes terrestre et des insectes frondicole de l'arganier. Cette diversité se traduit par le nombre élevé des groupes trophiques. Au niveau terrestre, l'abondance élevée des détritivores et des prédateurs assure certainement un bon fonctionnement de la dégradation de la matière, le recyclage des nutriments et un meilleur contrôle des insectes nuisibles. Au niveau de frondaison, malgré une abondance importante des herbivores, aucun ravageur d'une grande importance agronomique de l'arganier n'a pas été enregistré.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Msanda, F., Mayad, E.H. & Furze, J.N. Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Moroc-co's Arganeraie Biosphere Reserve. Environ SciPollutRes 2021, Volume 28, p. 64156–64165. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11936-0

2. Smirnoff, W. Influence des traitements antiacridiens sur l'entomofaune de la vallée du Sous (Maroc). Bulletin de la Socié-té entomologique de France, 1958, Volume 63, no 7, p. 160-172.

3. Naamani, K. Etude de l'Entomofaune de l'Arganier (Arganiaspinosa (L). Skeels) et de la bio-écologie de son ravageur CeratitiscapitataWiedemann (Diptère: Tephritidae) dans la région d'Essaouira (Maroc). These de Doctorat. Département de Biologie, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech, 2004, p. 223.

4. EL Keroumi, A. E., Naamani, K., Soummane, H., & Dahbi, A. Seasonal dynamics of ant community structure in the Mo-roccan Argan Forest. J. Insect Sci,2012, Volume 12, no 1, p. 94.https://doi.org/10.1016/0038-0717(83)90097-4

5. Ajerrar A. Etude de la biodiversité des arthropodes à l'écosystème d'Arganier : évaluation, distribution et fonctionne-ment. PhD Dissertation, University IBN ZOHR, Morocco, 2021.

6. Seastedt, T. R., & Crossley Jr, D. A. Nutrients in forest litter treated with naphthalene and simulated throughfall: a field microcosm study. Soil Biol Biochem, 1983.Volume. 15, no 2, p. 159-165.https://doi.org/10.1016/0038-0717(83)90097-4

7 Culliney TW. Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. Agriculture2013, Volume 3, no 4, p. 629-659. https://doi.org/10.3390/agriculture3040629

8. El Keroumi A, Naamani K, Dahbi A, Luquec

I, Carvajal A, Cerda X, Boulay R. Effect of ant predation and abiotic factors on the mortality of medfly larvae, Ceratitis capitata, in the Argan forest of Western Morocco. Biocontrol Sci Technol 2010, Volume 20, no 7, p. 751-762.https://doi.org/10.1080/09583151003734651

9. Bagyaraj DJ, Nethravathi CJ, Nitin KS. Soil Biodiversity and Arthropods: Role in Soil Fertility. In: Chakravarthy A., Sridhara S. (eds) Economic and Ecological Significance of Arthropods in Diversified Ecosystems. Springer, Singapore. 2016, p. 17-51. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1524-3_2

10. Ajerrar A, Akroud H, Ait Aabd N, Qessaoui R, Amarraque A, Lahmyd H, Zaafrani M, Chebli B, Mayad El H, Bouhar-roud R. Pollination system and effective pollinators of *Argania spinosa* ((L.) Skeels). J. Saudi Soc. Agric. Sci 2020.Volume 19, no 6, p. 375-382. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.04.002

11. Mokhtari N, Mrabet R, Lebailly L, bock L. Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Ma-roc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires 2013,Volume 2: p. 50-66.

12. Calabuig A, Garcia-Marí F, Pekas A. Ants in citrus: impact on the abundance, species richness, diversity and community structure of predators and parasitoids. Agric Ecosyst Environ 2015, Volume. 213, p. 178-185. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.001

13. Assis, D.S., Dos Santos, I.A., Ramos, F.N., Barrios-Rojas, K.E., Majer, J.D., Vilela, E. F. Agricultural matrices affect groundAnt assemblage composition insideforest fragments. PLoS ONE 13 2018. Volume 13, no 5, p. e0197697. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197697

14. Unwin, D.M. A key to the families of British Diptera. Field Studies 1981. Volume 5, p. 513-553.

15. Goulet, H., Huber, J.T. Hymenoptera of the world: An identification guide to family. Research Branch Agriculture Can-ada, Ottawa 1993, pp 668.

16. Ebrahim, A.M., Salem, M.M. An illustrated key to the families of order Diptera as known to occur in Egypt. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences 2010. Volume 3, p. 57-79. https://doi.org/10.21608/eajbsa.2010.15210

17. Marshall, S.A., Kirk-Spriggs, A.H., Muller, B.S., Paiero, S.M., Yau, T., Jackson, M.D. (2017). Key to Diptera fami-lies-adults. Suricata 2017. Volume 4 no 1, p. 267-311.

18. Msanda, F., El Aboudi, A., Peltier, J.P. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine Cahiers. Agricultures 2005. Volume 14 no 4, p. 357–364.

19. Piñero, F.S., Tinaut, A., Aguirre-Segura, A., Miñano, J., Lencina, J.L., et al.. Terrestrial arthropod fauna of arid areas of SE Spain: Diversity, biogeography, and conservation. Journal of Arid Environments 2011. 75, p. 1321–1332. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.014.

20. Hadjoudj, M., Souttou, K., Doumandji, S. The diversity of arthropods community in dunes and a palm grove (Phoenix dactylifera) in the Touggourt region (Septentrionale Sahara). International Journal of Tropical Insect Science 2018. 38, p. 283–293. https://doi.org/10.1017/S1742758418000188.

21. Naamani, K. Etude de l'Entomofaune de l'Arganier (*Argania spinosa* (L), Skeels) et de la bio-écologie de son ravageur Ceratitis capitata Wiedemann (Diptère: Tephritidae) dans la région d'Essaouira (Maroc). PhD Dissertation, University Cadi Ayyad, Morocco, 2024.

22 .Bani-Aameur, F. Phenological phases of *Argania spinosa* (L., Skeels) flower. Forest Genetics 2000. Volume 7, p. 329-334.

23. Zahidi, A., Bani-Aameur, F., EL Mousadik, A. Seasonal change effects on phenology of *Argania spinosa* (L. Skeels) in the fields. Journal of Ecology and the Natural Environment 2013. Volume 5, p. 189-205. http://dx.doi.org/10.5897/JENE2013.0373

La domestication de l'arganier, une alternative stratégique face aux changements climatiques

Khadija Amhaouch [1*], Khalil Allali [2] , Aziz Fadlaoui [2]

[1] *Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*

[2] *Ecole Nationale d'Agriculture, Meknès, Maroc ; Institut National de la Recherche Agronomique Centre Régional de la Recherche Agronomique de MEKNES*

[*] *k.amhaouch@iav.ac.ma*

RÉSUMÉ

l'arganier est l'un des rares arbres au Maroc capable de résister à des températures allant jusqu'à 50°C. Il est un allié de choix face à la sécheresse, incarnant une alternative stratégique du développement social et économique, d'où l'importance de son expansion à des territoires hôtes à conditions édapho-climatiques similaires. L'objectif de cette étude est de montrer, l'importance de la domestication de cette espèce à différentes régions du Royaume soutenue par une incitation étatique via le fond de développement agricole, également son intérêt économique à faible besoins en eau. Pour se faire une analyse des dossiers de subvention d'arganier au niveau de la direction provinciale de l'agriculture de khémisset a été effectuée, appuyée par des entretiens avec les responsables du suivi des projets, ainsi que les bénéficiaires desdites subventions. Un calcul des besoins en eau avec une analyse comparative avec d'autres espèces a été réalisé. Les résultats montrent que la superficie plantée a atteint 180 ha, et que les besoins en eau d'irrigation des plants d'arganier de moins d'un an sont faibles par rapport aux autres espèces subventionnées, et qui avoisine 1084 m³/Ha, et donc l'arganier représente une alternative agroécologique à l'épreuve du changement climatique et mérite d'être soutenue.

Mots clés
Arganier; domestication; incitation étatique; fond de développement agricole; besoins en eau; Alternative stratégique; changements climatiques.

ABSTRACT

The subsidy of domestication of argan tree, a strategic alternative to climate change.

the argan tree is one of the few trees in Morocco capable of withstanding temperatures of up to 50°C. It is an ally of choice in the face of drought, embodying a strategic alternative of social and economic development, Hence the importance of its expansion to host territories with similar soil-climatic conditions.The objective of this study is to show, the importance of domestication of this species to different regions of the Kingdom supported by a state intervention via the agricultural development fund, also its economic interest with low water needs. To make an analysis of the files of subsidy of argan at the level of the provincial directorate of agriculture of khémisset was carried out, supported by interviews with those responsible for the monitoring of the projects, as well as the beneficiaries of said subsidies. A water requirement calculation with a comparative analysis with other species was performed. The results show that the planted area has reached 180 ha, and that the irrigation water needs of argan seedlings less than one year old are low compared to other subsidized species, and which is around 1084 m³/ Ha, and therefore the argan tree represents an agroecological alternative to the test of climate change and deserves to be supported.

Keywords
Argan tree; domestication; state incentive; agricultural development fund; water requirements; Strategic alternative; climate change.

INTRODUCTION

Le Maroc dispose d'une diversité biologique de grande importance écologique et économique, avec des écosystèmes endémiques, comme la forêt d'arganier, qui couvre une superficie d'environ 830.000 hectares, elle joue un rôle écologique important pour la lutte contre la désertification, en plus de son rôle socioéconomique en procurant un revenu pour des milliers de familles rurales. L'aire de production de l'Argane englobe la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie reconnue par l'UNESCO depuis le 8 décembre 1998 et qui comprend 234 communes rurales réparties entre 9 provinces, à savoir les provinces de Taroudant, d'Essaouira, de Tiznit, d'Agadir Ida Outanane, d'Inezgane Aït Melloul, de Chtouka Aït Baha, de Safi, de Chichaoua et de Guelmim [1].

Le chiffre d'affaires généré par la filière a nettement progressé, ayant triplé entre 2012 et 2019 en passant de 347 MDH à 1 139 MDH [2].

De par son importance sociale et économique l'arganier autant que marché en plein expansion, il présente une opportunité de production à faible cout de production, en absence de fourniture agro-chimique et faible besoin en eau, surtout dans une conjoncture de changements climatiques et manque de pluie.

Alors la promotion de l'investissement à travers des aides incitatives dans le cadre du fond de développement agricole de la filière d'arganier, présente une opportunité pour le développement et la préservation de cette richesse endémique.

En effet la subvention a favorisé l'expansion de l'arganier, donnant l'exemple d'un projet de 180 Hectare d'arganier au niveau de la commune Ain Jouhara, cercle de Tiflet province de khémisset.

La culture d'agranier bénéficie d'une subvention avec un taux de 80 % du prix d'acquisition des plants et 60 % pour le réseau d'irrigation et pour le Bassin de stockage d'eau (Tableau 1 et Tableau 2).

Tableau 1: Taux et plafonds de la subvention pour le cas de l'arganier

Objets	Taux de subvention	Plafond de la subvention (dh/ha)
Arganier en bour (densité minimale : 100 plants/ha)	80 % du prix d'acquisition des plants	6 000
Arganier en irrigué (densité minimale : 200 plants/ha		9 000

Source [3]

Tableau 2 : Taux et plafonds de la subvention par composante du Projet d'irrigation localisée réalisés par des agriculteurs exploitant une superficie de plus de 20 ha

Opération	Composante	Taux de subvention (en % du coût)	Plafond de la subvention en Dirham (DH)
Réseau	Puits et forages	60	400 Dh par mètre linéaire de profondeur
	Dispositif de pompage		3000 Dh par KW de puissance installée
	Station de tête		
	Conduites		5 700 Dh par hectare net équipé
	Gouteurs		7 200 Dh par hectare net équipé • 9 000 DH par hectare net équipé en gouteurs auto-régulants • 7 800 DH par hectare net équipé en gouteurs turbulents • 6 000 Dh par hectare net équipé en gaine
	Automatisme		
Bassin de stockage d'eau	Bassin de stockage d'eau		2 000 Dh par hectare net équipé 30 Dh par m3 du volume total du bassin

Source [4]

Alors, étant données l'importance socio-économique de l'arganier, il y a sans doute, un grand intérêt pour sa domestication dans différentes régions du royaume, dans ce qui suit, on va présenter des données relatives aux plantations en arganier au niveau de la province de khémisset, par la suite un calcul des besoins en eau d'irrigation des jeunes plantations de l'arganier par rapport d'autres cultures a été effectué.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de montrer l'intérêt de la domestication de l'arganier, et l'importance de son soutien, une démarche méthodologique a été adoptée. En premier lieu, une analyse des dossiers des demandes de subventions de l'arganier au niveau de la Province de khémisset a été réalisée. Elle a révélé l'existence d'un seul dossier d'une demande de subvention pour la réalisation de la plantation de l'arganier et de son équipement en système d'irrigation goutte à goutte au niveau du Douar Msellat, commune territoriale Ain Johra, cercle de Tiflet, province de khemisset. Les données collectées ont permis le calcul des besoins en eau des jeunes plantations d'arganier d'un an, en plus d'autres cultures arboricoles afin de faire une comparaison en termes de besoins en eau d'irrigation calculés via la formule (1), avec un suivi régulier durant l'année 2022.

Le Besoin brut (Bb) en eau d'irrigation est estimé selon la formule :

$$Bb = Kc \times ETo \times Kr/E \qquad (1)$$

Kc : Coefficient cultural ;

ETo : Evapotranspiration de référence ; mm/J

Kr : Coefficient de réduction dépendant du taux de couverture du sol par la culture ;

Ea : Efficience d'application de l'eau à la parcelle.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Superficie en arganier au niveau de la province de khémisset

Les entretiens réalisés ont permis de montrer que grâce, à la subvention à travers le fond de développement agricole, l'attractivité à travers un taux de 80% , en plus de soutien de l'équipement en réseau d'irrigation goutte à goutte et les bassins de stockage d'eau, l'investisseur a pu choisir de planter l'arganier, en plus sa résistance à la forte chaleur, qui caractérise la zone.

Ceci a permis d'atteindre et réussir une superficie de 180 Ha d'arganier en valorisant un terrain qui été en jachère.

3.2. Calcul des Besoins en eau

Le calcul des besoins en eau de l'arganier durant la première année, a nécessité un suivi régulier, durant toute l'année 2022.

Le besoin brut (Bb) en eau d'irrigation : estimé

$$Bb = Kc \times ETo \times Kr/E \qquad (1)$$

POUR 3.01mm/j pour arganier -ZONNE Khemissette-tiflet

Comme le monte le tableau 3, les besoins en eau sont calculés chaque mois, et ils dépondent des pluie efficace, et de l'évapotranspiration, et l'age de la plante, avec un pic en mois de Juin, Juillet et Aout.

dans notre cas, ou les jeunes plantation d'arganier necessite des apports pour se fixer et démarrer, mais restent minimes par rapport, aux jeunes plantation des autres plantations arboricoles.

Tableau 3. Calcul des ressources et besoin en eau pour les plants de l'arganier

Tableau de bilan													
Désignation		Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	total annuelle
jours/Mois		30	31	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	
Pluie Efficace (mm/mois)		18,40	38,90	63,00	69,70	58,60	68,20	62,20	67,00	43,10	20,00	4,00	4,00	
Et_0 journalier (mm)		4,90	3,20	2,00	1,00	1,50	2,00	2,70	3,20	4,20	5,30	6,73	6,30	
Et_0 mensuel (mm)		147,00	99,20	60,00	31,00	46,50	58,00	83,70	96,00	130,20	159,00	208,63	195,30	
Et_0 mensuel (m^3/ha)		1470	992	600	310	465	580	837	960	1302	1590	2086	1953	
AGRANIER	Kc	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,45	0,55	0,60	0,60	0,60	
	Kr	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
	Super.(ha)	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	45,74	
	Efficience 90%	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
	ETM	1,37	0,45	0,28	0,14	0,21	0,28	0,57	1,01	1,62	2,23	2,83	2,65	
	Be Net (mm/j)	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	1,56	2,70	2,52	
	Be bruts (mm/j)	**0,84**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,25**	**1,73**	**3,00**	**2,80**	
	Be Bruts (m3/ha/j)	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	17,3	30,0	28,0	
	Be Mensuel (m3/ha/j)	252,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	78,1	519,8	929,2	867,0	
	Be Brut Total	11566,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3571,08	23773,34	42497,56	39652,38	121060,86
Total des Besoins Bruts (en m^3)		**11566,5**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**3571,1**	**23773,3**	**42497,6**	**39652,4**	**121060,9**
Ressources en eau		FORAGE												
	FORAGE N°-4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	FORAGE N°-6	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	FORAGE N°-14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
Volume Disponible m3/h		45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	
Nombre d'heur de fontionement		8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	17,6	22,0	22,0	
Débits Journalière		386	0	0	0	0	0	0	0	115	792	990	990	
Volume Disponible m3/Mois (*)		11567	0	0	0	0	0	0	0	3571	23773	30690	30690	100291
BILAN RESSOURCES-BESOINS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-11808	-8962	-20770

3.4. analyse comparative des besoins en eau des principales cultures arboricoles (jeunes plantations)

Le calcul des besoins en eau des principales cultures arboricole au niveau de la zone d'étude, à revelé que, l'arganier présente les plus faibles besoins en eau d'irrigation avec 1083.6 m^3 à l'hectare, suivi par la vigne avec des besoins de 3514.2 m^3/Ha, alors que les agrumes, le grenadier et le pêcher présentent les besoins en eau les plus élevés, qui depassent les 5000 m^3/Ha.

Culture	Besoins en eau annuel en
Agrumes	5639,1
Olivier	4152,2
Grenadier	5753,0
Vigne	3514,5
Pêcher	5713,2
Arganier	1083,6
Caroubier	4018,3

D'où l'interêt economique de l'arganier et sa domestication à differentes region du pays, non seulement les faibles besoins en eau d'irrigation, mais également sa forte resistance aux fortes chaleur, et l'absence d'agrofourniture.

CONCLUSION

La domestication de l'arganier, au niveau de différentes régions du royaume, présente un intérêt incontournable. En plus de son importance autant que espèce endémique, l'arganier est devenu une alternative stratégique, face aux changements climatiques.

Le calcul des besoins en eau d'irrigation, a montré que l'arganier est moins exigent en eau avec des besoins de l'ordre de 1083 m^3/Ha durant la première année, par rapport aux autres cultures arboricoles, dont les besoins en eau dépassent les 5000 m^3 à l'hectare. Alors l'encouragement et le soutien de la domestication de l'arganier présente une réelle opportunité pour un développement sociale et économique durable, assurant une production de haute valeur ajoutée et économe en eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Benchekroun, F., & Buttoud, G. (1989). L'arganeraie dans l'économie rurale du sud-ouest marocain. Forêt méditerra-néenne, 11(2), 127-136.

2. Site du ministère de l'Agriculture, de la Pêche maritime, du Développement rural et des Eaux et Forêts Available online https://www.agriculture.gov.ma/fr/filiere/arganier (accessed on 14 Mars 2024)

3. Livret FDA version 2019. Available online : https://www.agriculture.gov.ma/themes/min_agri/assets/pdfs/Livret%20FDA%20-%202019.pdf (accessed on 14 Mars 2024)

4. Livret FDA version 2019. Available online : https://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/2023-05/Book%20SIAM-Fonds%20de%20d%C3%A9veloppement%20agricole%20VF-web.pdf (accessed on 14 Mars 2024)

Les plantes adventices associées à l'écosystème d'Arganeraie du Souss : Cas de la région de Taroudant (Imoulass)

Ahmed Bouamair[1,2*], Redouan Qessaoui[1] , Jamal Halam[1], Abdelhadi Ajerrar[1], Naima Ait Aabd[1], Abdelghani Tahiri[1], Abdelaziz Mimouni[1], Mohamed Alouani[2], Rachid Bouharroud[1*]

[1] *Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, Morocco.*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie et de Valorisation des Ressources Naturelles, Ibn Zohr University, Morocco*

[*] *Correspondance : a.bouamair@gmail.com*

Mots clés
Arganier, Mauvaises herbes, Biodiversité, Abondance, Richesse spécifique.

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était d'analyser la flore adventice associée à l'arganiculture d'Imoulass dans la région de Taroudant. Le matériel de recherche était des inventaires floristiques effectués, enregistrés et analysés du verger d'arganiers, de la forêt d'arganiers limitrophe et d'une zone tampon intermédiaire. Sur la base de l'inventaire du matériel collecté, la composition des espèces inventoriées ont été déterminés pour la flore adventice.

Un total de 61 espèces et 54 genres enregistrées appartenant à 17 familles botaniques composées essentiellement de la famille des Poaceae de la famille des Asteracae, des Fabaceae et des Brassicaceae,. Le nombre d'espèces d'adventice recensées étaient plus élevés dans la forêt d'arganier que pour ceux du verger de jeunes plants d'arganiers, cette plus grande biodiversité de la flore témoigne un riche sol forestier naturel sans traitements herbicides par rapport à celui de verger altéré.

Keywords
Argan tree, Weeds, Biodiversity, Abundance, Species richness.

ABSTRACT

Weeds Associated with the Arganeraie Ecosystem of Souss : Case of the Taroudant Region (Imoulass).

This study investigated the diversity of weeds within argan (*Argania spinosa*) cultivation systems (Arganiculture) in Imoulass (Tarroudant), Morocco. Weed communities were compared across three zones: established argan forest, young argan orchard, and a buffer zone acting as a transition area between the two. Floristic inventories documented a total of 61 weed species from 17 plant families, with Poaceae, Asteraceae, Fabaceae, and Brassicaceae being the most abundant. Notably, weed diversity was significantly higher in the natural argan forest compared to the young orchard. This suggests that herbicide use and orchard management practices likely contribute to a decline in plant biodiversity within argan cultivation systems.

INTRODUCTION

La Reserve de biosphère d'argan a connue ses dernières décennies des mutations très importantes. La succession de phases de sécheresse due aux changements climatique et aux différentes pressions anthropiques représentent les réels défis pour cet écosystème.

La mise en place de programmes d'arganiculture représente un aspect de résilience pour cet environnement, leurs réussites passe étroitement par la maitrise de l'itinéraire technique de la culture, de la gestion des maladies, des ravageurs et un monitoring des mauvaises herbes qui leur sont associées.

Les plantes adventices représentent des contraintes environnementales en concurrent les autres cultures pour l'eau et les éléments nutritifs avec un effet

direct négatif sur elles [1,2,3,4] . Une dominance de ces cultures conduit également à une forte pression concurrentielle pour les sources, y compris l'espace et la lumière [3,4], ou entravent la récolte par bourrage de machine ou contaminent le sol par stockage de graines des cultures [5].

Au-delà des seuils critiques de population, les mauvaises herbes peuvent réduire considérablement le rendement et la qualité des cultures. Par ailleurs, le développement de la filière de l'arganier consiste en la production de plants de qualité, qui s'adapteraient aux conditions environnementales sévères et seraient aptes à résister aux différentes types de stress abiotiques et biotiques dont les mauvaises herbes constitue un des facteurs limitant de la croissance des plants d'arganier. Dans ce contexte, une connaissance approfondie de plantes adventices associées à l'arganier constitue un des outils essentiels pour le développement de l'arganiculture ainsi une réussite des projets visant le développement de ce secteur.

Notre étude, contribuera à une meilleure connaissance de la flore associée à l'arganeraie, dans ce sens nous cherchons à répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la composition floristique de la végétation adventice des vergers de jeunes plants d'arganier nouvellement plantés dans la région de Tarroudant localité Imoulass et celles de la forêt avoisinante?

- Quelles sont les espèces les plus fréquentes et les plus gênantes ?

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site d'étude :

La localité d'Imoulass se situe à la région du Souss Massa, dans une zone monticole du grand Atlas au Nord-est de la province de Taroudant.

Le site concerné est une zone vulnérable dédiée à la reforestation de jeunes plants d'arganier dans le cadre du projet de développement d'arganiculture dans les environnements dégradés (DARED) pour palier à la dégradation de l'écosystème Arganeraie de cet environnement. Le climat de type aride avec un sol de type sable limoneux et le site concerné n'a subit aucun désherbage chimique ou mécanique.

Echantillonnage et identification :

Notre méthode d'échantillonnage consiste au prélèvement d'échantillons des adventices au niveau des cuvettes de jeunes plants d'arganier et sous les arbres de la forêt limitrophe a cette zone et dans la zone intermédiaire entre le vergers d'argan et les arbres d'arganiers avec trois relevés pour chaque type. L'échantillonnage a été réalisé au cours de l'année 2021 pendant la saisonne du Printemps. Les adventices récoltées sont répertoriés, conditionnées et transportées au laboratoire pour identification.

Chaque espèce adventice est quantifiée par son nombre d'individus, et sa représentation en pourcentage. Pour la détermination des espèces nous avons adoptés le Manuel de détermination des plantes vasculaires [6] en s'appuyant sur le livre sur les mauvaises herbes du Souss [7] et également sur d'autre bases de données telles que. La base de données African Plant Database, (Belles fleurs de l'Atlas marocain, Eflora du Maghreb, Royal botanic gardens et Biodiversité végétale du sud-ouest marocain [,8,9,10,11,12].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'inventaire a permis de recenser un total de 61 espèces, reparties en 54 genres et 17 familles botaniques (Table 1). Les familles les plus dominantes pour la flore inventoriée sont par ordre d'importance: les Poaceae (23,3%), les Asteraceae (14,6%), les Caryo-phyllaceae (13,9%), les Fabaceae (12,94%), les Plantaginaceae avec les lamiacea (6,5%) et les Brassicaceae (5,54%). (Figure 1)

Tableau 1 : Liste des familles botanique associées au site Imoulass

Familles botaniques	
Amaranthaceae	Liliaceae
Apiaceae	Orobanchaceae
Asteraceae	Plantaginaceae
Boragenaceae	Poaceae
Brassicaceae	Polygonaceae
Caryophyllaceae	Resedaceae
Cucurbitaceae	Rhamnaceae
Fabaceae	Rubiaceae
Lamiaceae	

Les Boraginaceae, les Liliaceae, les Cucurbitaceae et les Resedaceae sont les familles les plus minoritaires (inférieur à 0,5%).

La richesse spécifique et générique la plus importante est représentée par la famille des Poaceae (11 espèces), Asteraceae (10 espèces), Fabaceae (7 espèces) et Brassicaceae (5 espèces). Le cortège floristique de toute la zone est dominé par les espèces suivantes : *Lupinus angustifolius* L., *Cladanthus arabicus* (L.) Cass., *Eryngium ilicifolium* Lam.et *Rubia peregrina*

L. *Orobanche ramosa* (L.) *ssp mutelii* (F.W. Schultz.) Coutinho, *Atriplex prostrata* Boucher ex DC et *Reseda lutea* L. sont présent uniquement dans les cuvettes des jeunes plants de verger d'arganier, cela peut être du à une contamination par apport de substrats ou le travail du sol des jeunes plants. (Figure 1) La forêt limitrophe d'arganiers est représentée par la quasi-totalité des espèces avec une présence accentuée de *Spergula ar-vensis* L. localisée (Figure 2), alors que La faible présence de la flore dans la zone tampon est surement due probablement à son exposition et à une saison de sécheresse accentuée. (Figure 3). La richesse et la diversité constatée dans la forêt peut s'expliqué par l'ombrage offert par les arbres d'arganier qui constitue un microclimat pour la pullulation des adventices, tandis que la faible représentation d'adventice dans le verger est probablement due au travail du sol des cuvettes des jeunes plants par la main d'œuvre ouvrière.

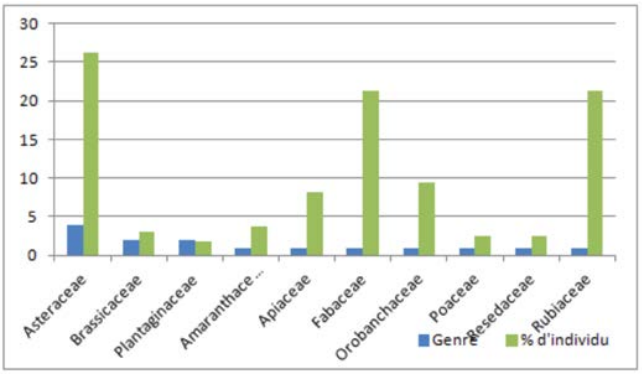


Figure 1 : Diversité générique dans le verger d'arganier Année 2021

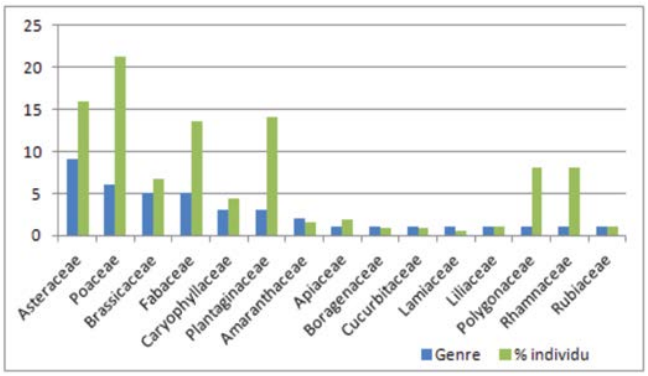


Figure 2 : Diversité générique dans la forêt limitrophe Année 2021

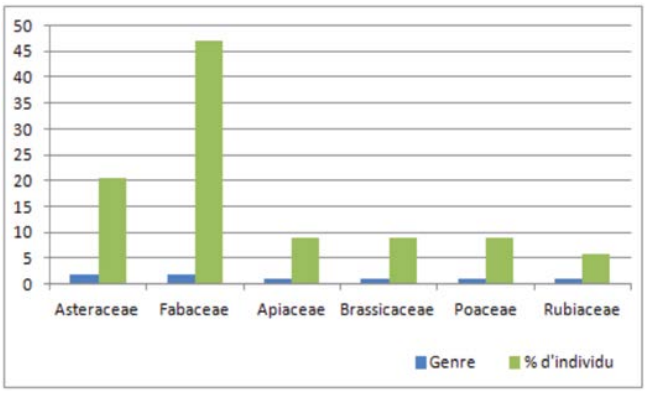


Figure 3 : Diversité générique dans la zone tampon Année 2021

CONCLUSIONS

La biodiversité des adventices dans la forêt est plus importante que celle constaté dans le verger d'argan. La composition spécifique des espèces adventives est modifiée dans le verger par le travail du sol et l'apport d'intrant dans les cuvettes des jeunes plants.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Caussanel J.P. & Barralis G. (1973) Les phénomènes de concurrence entre végétaux. C.R. 4e Coli. Intern. Ecol. Biol. Mauvaises Herbes. Columa, Marseille, 202238.

2. Glauninger J. & Holzner W. (1982) Interference between weeds and crops: a review of litterature In: Biology and Ecology of Weeds (W. Holzner & M. Numata, eds) W. Junk, La Haye, pp. 149-159

3. Perry, L. G., C. Neuhauser et S. M. Galatowitsch. 2003. Contrôle fondateur et coexistence dans un modèle simple de compéti-tion asymétrique pour la lumière. Journal of Theoretical Biology 22: 425–436.

4. Weiner, J. 1990. Concurrence asymétrique dans les populations végétales. Trends in Ecology and Evolution 5: 360–364.

5. Gazoyer M. Aubinau M. Bougler J. Ney B. & Roger-estrade J., 2002. Larousse agricole. Ed. La Rousse, Canada, p23.

6. Fennane, M., Ibn Tattou, M., & El Oualidi, J. (2014). Flore pratique du Maroc: Manuel de détermination des plantes vasculaires, vol. 3. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Botanique, 40, 793.

7. Boulet, C., Bouhache, M., Taleb A. & Wahbi M. (1991) Les Mauvaises Herbes du Souss. Actes Editions, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, 295 pages.

8. African Plant Database (version 3.4.0). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria, "accès [05, 2021]", de < http://africanplantdatabase.ch>.

9. https://efloramaghreb.org/

10. http://atlas-sahara.org/index.html

11. https://www.atlasbota.com/

12. https://powo.science.kew.org/

13. https://www.teline.fr/

Assessment of spatiotemporal dynamics of water erosion in the Arganeraie Biosphere Reserve during a 30-year period (1993-2023) using RUSLE, GEE and satellite imagery : case study of Ksob watershed

Youssef Boussalim [1,*] and, Youssef Dallahi [1]

[1] *Laboratory of Plant Biotechnology and Physiology, Center of Plant and Microbial Biotechnology, biodiversity and Environment, Faculty of Science, Mohammed V University in Rabat, Rabat 10000, Morocco.*

[*] *Correspondance : youssef.boussalim@um5r.ac.ma ;*

Keywords
ABR, Ksob, water erosion, spatiotemporal dynamics, RUSLE, and GEE.

ABSTRACT

Water erosion is a widespread problem in Morocco's arid and semi-arid regions. The Arganeraie Biosphere Reserve (ABR) is located in a region that is prone to this hydric and environmental process because to its climate, lithology, and topography. The goal of this research is to evaluate the dynamics of soil loss (SL) in the ABR and identify locations that are vulnerable to water erosion. A thorough investigation was conducted in the Ksob watershed, located in the northern portion of the ABR. The methodology utilized consists of integrating the many parameters regulating water erosion using the RUSLE model into the Google Earth Engine platform (GEE). To monitor the spatiotemporal dynamics of SL between 1993 and 2023, two dynamic parameters in the model were varied: rainfall erosivity (R) and the effect of vegetation cover (C). The findings indicate that, on average, 87% of the Ksob watershed is prone to intense to severe erosion. Furthermore, the watershed exhibits a considerable spatial-temporal variability in SL with a significant decrease in erosion rate from 1993 to 2023 ($P<0.05$). The yearly average of SL ranged from 57 t/ha in 2019 to 115 t/ha in 1996. This variability is mainly explained by the fluctuation of the R component, which demonstrated substantial correlation with SL ($R2=0.86$).

Mots-clès :
RBA, Ksob, dynamique spatio-temporelle, RUSLE, et GEE. .

RÉSUMÉ

Evaluation de la dynamique spatio-temporelle de l'érosion hydrique dans la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie sur la période 1993-2023 en utilisant le modèle RUSLE, GEE et l'imagerie satellitaire : cas du bassin versant du Ksob

L'érosion hydrique est un problème très répandu dans les régions arides et semiarides du Maroc. La Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA) est située dans une région sujette à ce processus hydrique et environnemental en raison de son climat, de sa lithologie et de sa topographie. L'objectif de cette étude est d'évaluer la dynamique des pertes en sol (SL) dans la RBA et d'identifier les endroits vulnérables à l'érosion hydrique. La présente étude a été menée dans le bassin versant du Ksob, situé dans la partie nord de la RBA. La méthodologie utilisée consiste à intégrer les nombreux paramètres régulant l'érosion hydrique à l'aide du modèle RUSLE dans la plateforme Google Earth Engine (GEE). Pour suivre la dynamique spatio-temporelle de SL entre 1993 et 2023, deux paramètres dynamiques du modèle ont été variées : l'érosivité des pluies (R) et l'effet du couvert végétal (C). Les résultats indiquent qu'en moyenne, 87% du

bassin versant du Ksob est sujet à une érosion intense à sévère. En outre, le bassin versant présente une variabilité spatio-temporelle importante de SL avec une diminution significative du taux d'érosion de 1993 à 2023 (P<0,05). La moyenne annuelle de SL varie de 57 t/ha en 2019 à 115 t/ha en 1996. Cette variabilité s'explique principalement par la fluctuation du facteur R, qui a montré une forte corrélation avec SL (R2=0,86).

INTRODUCTION

Water erosion is a natural occurrence that involves several phases, beginning with the uprooting of soil particles caused by the erosive impact of rainfall and ending with their depositing in a deposition zone [1]. However, it is exacerbated by human activities such as overgrazing, excessive fuelwood collection, and poor agricultural techniques [2]. At the watershed level, soil loss (SL) caused by water erosion reduce soil fertility, particularly upstream, while also silting up hydro-agricultural facilities, particularly downstream [3]. Indeed, understanding the phenomenon's spatiotemporal dynamics and calculating SL are critical stages for minimizing its impact at the watershed level.

Soil loss estimation frequently employs empirical methods. The universal soil loss equation [4], particularly in its improved version by Renard et al. [5], is one of the most extensively used approaches worldwide [1]. Despite the criticisms expressed and dis-cussed regarding its application in various environmental contexts [6], the RUSLE model remains very useful for estimating SL based on an area's specific characteristics, including climatic, edaphic, topographic, and soil protection (vegetation and anti-erosion practices). Thus, spatial modeling using RUSLE has a significant advantage over other methods because it employs a simple formula and minimal input parameters [7].

The RUSLE model is frequently used in conjunction with a Geographic Information System (GIS) and satellite data obtained through remote sensing. However, utilizing typical RUSLE implementation methods, it is still time-consuming to analyze water erosion dynamics on a monthly or annual scale over a lengthy period of time. Fur-thermore, Google, Carnegie Mellon University, and the United States Geological Survey developed the Google Earth Engine platform (GEE) in 2010 to facilitate the acquisition, analysis, and processing of massive remote sensing data, allowing for the assessment and monitoring of the dynamics of natural phenomena on a finer spatiotemporal scale [8].

UNESCO declared the Argan (*Argania spinosa*) zone in west-central Morocco as a terrestrial environment of world importance, naming it the Arganeraie Biosphere Reserve (ABR) [9]. Because of its geographical location between the High Atlas and Anti Atlas mountain ranges, it has an accidental relief and a low-density vegetation cover dominated by the Argan tree; these characteristics make it a vulnerable zone to water erosion [10, 11]. To assess the dynamics of water erosion in this location, we used the Ksob watershed as a case study. This watershed is located in the High Atlas, an area recognized for its vulnerability to erosion [12], which is caused by rough topography and bare soils exposed to strong erosive action from rainfall [13]. Therefore, the purpose of this study is to examine the spatiotemporal dynamics of SL in the Ksob watershed on an annual scale during a 30-year period (1993-2023) using the RUSLE model and accounting for the dynamic nature of rainfall erosivity and vegetation cover.

MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area

Within the Moroccan High Atlas, the Ksob watershed spans an area of 1746 square kilometers (174637 hectares) and is situated in the western part. Administratively, it is located in the south of the Marrakech-Safi region. Essaouira province owns roughly 80% of the territory, while Chichaoua owns the other 20%. Topographically, the watershed features an altitude gradient that rises from downstream to upstream, with elevations varying from 45 to 1694 meters (m) above sea level. The climate is Mediterranean arid to semi-arid, with a strong oceanic impact; the average annual rainfall range from 256 to 432 millimeters (mm), and the average annual temperature is between 14 and 19 degrees Celsius (°C). Hydrographically, the watershed has one main output : Oued Ksob, that has two significant streams: Oued Igrounzar and Oued Zelten (figure 1). The confluence occurs immediately upstream of the Zerrar Gorge (29 kilometers from the Atlantic Ocean). The Zerrar dam, erected in 2013, limits floods in the Essaouira area. The Ksob watershed supports a range of ecosystems, including forests dominated by the Argan tree *(Argania spinosa)* and Thuja (*Tetraclinis articulata*).

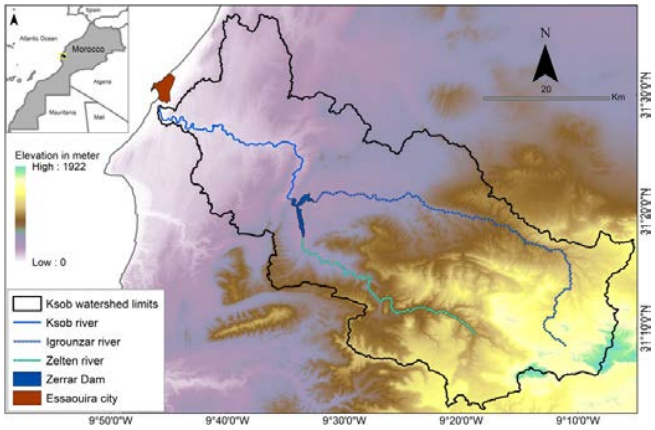


Figure 1. Geographical location and DEM of Ksob watershed.

2.2. Data and analysis

The revised universal soil loss equation, or RUSLE model [5], was used to evaluate SL on an annual basis from 1993 to 2023 in order to track the spatiotemporal dynamics of water erosion in the Ksob watershed. This equation is a multiplicative function of five param-eters that influence water erosion: rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope steepness and length (LS), the effect of vegetation cover (C), and the effect of anti-erosion practices (P). The equations for computing the various RUSLE factors are provided in Appendix A.

The GEE platform was used to carry out the computational tasks. The R factor was cal-culated using CHIRPS data [14], the C factor with Landsat 5, 7, and 8, the K factor using USDA surface soil texture data [15], and the LS factor with a digital elevation model (DEM). The K and LS factors are considered static variables, whereas R and C are dynamic variables. The spatial modeling resulted in the classification of SL into categories (Table 1). To explain the interannual variability of SL, the annual averages of SL and the R and C components were compared using the Spearman's correlation. Furthermore, to evaluate the trend of SL and dynamic factors in the watershed, the nonparametric Mann-Kendall test was used [16, 17].

Table 1. SL classification used in the study.

SL category	SL values in tonnes/hectare (t/ha)	Code
Slight	<10	1
Moderate	Between 10 and 20	2
High	Between 20 and 30	3
Very high	Between 30 and 40	4
Severe	>40	5

RESULTS

The findings indicate that the Ksob watershed has a substantial spatiotemporal variability in SL from 1993 to 2023. Figure 2 represents the spatial distribution of SL categories for each year. All of the maps demonstrate that the categories of high, very high, and severe erosion (SL greater than 20 t/ha) occupy the majority of the watershed, compared to the categories of moderate and slight erosion (SL less than 20 t/ha). In fact, on average, the Ksob watershed has severe water erosion across 47% of its surface area. The very high and high categories account for 21% and 19%, respectively, while the moderate and slight categories constitute 9 and 4% (figure 3). In summary, these findings reveal that, on average, 87% of the Ksob watershed experiences intense to severe erosion.

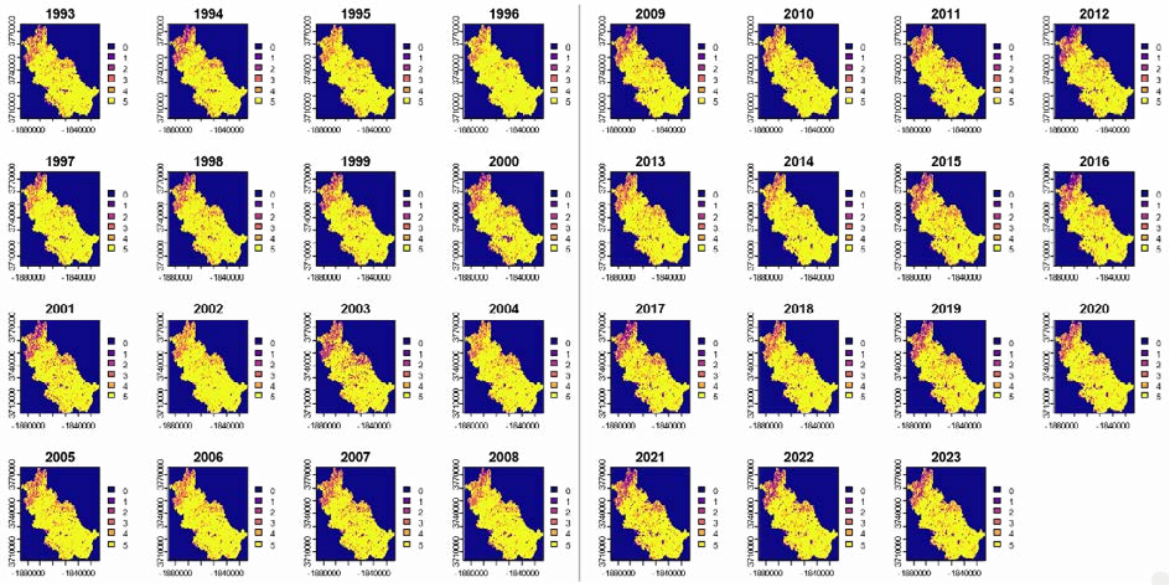


Figure 2. Spatial distribution of SL categories in Ksob watershed from 1993 to 2023 (codes : 0. Outside watershed area ; 1. Slight water erosion (WE) ; 2. Moderate WE ; 3. High WE ; 4. Very high WE ; 5. Severe WE.

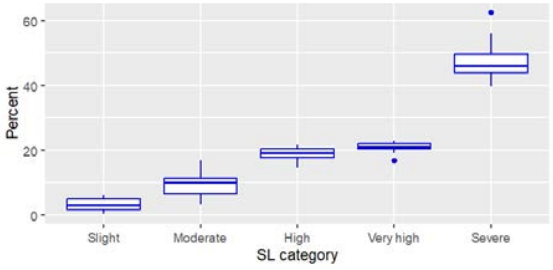
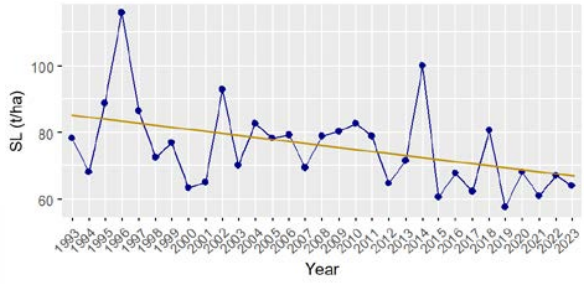
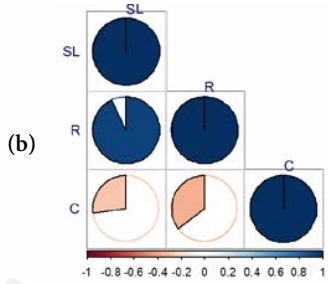


Figure 3. Boxplots representing the proportion of each SL category for the studied period.

The SL in the Ksob watershed varies greatly depending on the year and fluctuations in R and C variables. The average SL ranged between 57 t/ha in 2019 and 115 t/ha in 1996 (Figure 4, a). The distribution of SL yearly averages is as follows: first quartile 66 t/ha, median 72 t/ha, mean 75 t/ha, and third quartile 80 t/ha. Our findings further demonstrate that interannual variations in SL average follow a declining trend from 1993 to 2023 (figure 4, a). Mann Kendall test shows that this trend is significant at alpha (α) equal to 0.05 (P= 0.013). The interannual variability of SL is mainly explained by variations in erosivity factor (R). This component demonstrated substantial relationship with SL, with correlation coefficient of 0.93 (R2=0.86) (figure 4, b). Vegetation cover factor (C) have a lower association with SL showing a correlation coefficient of -0.27 (R2=0.07) (figure 4, b). The temporal fluctuations of R factor are characterized by a decrease trend (figure 5, a) and C factor, by an increase trend (figure 5, b). At the same level of confidence (α=0.05), the Mann Kendall test shows that the decrease in annual mean of R factor is significant (P= 0.048) but the increase in annual mean of C factor is non-significant (P= 0.383).

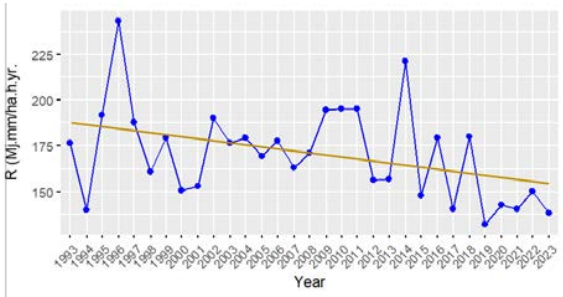


(a)

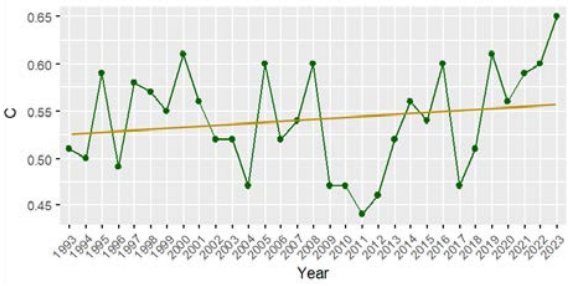


(b)

Figure 4. (a) Evolution of annual mean of SL from 1993 to 2023; (b) Correlation between SL, R and C.



(a)



(b)

Figure 5. Evolution of annual mean of R factor (a) and C factor (b) from 1993 to 2023.

DISCUSSION

The Ksob watershed experiences strong water erosion, with an average SL of 75 t/ha/year. This result indicates a very high level of erosion in the Moroccan context [18]. However, the watershed is located in the High Atlas zone, where annual SL estimates range from the first quartile of roughly 10 t/ha/year to the third quartile of around 300 t/ha/year [19]. According to the same source, this region has the highest SL figures when compared to the Middle Atlas, the Rif, the Anti Atlas, the Western Meseta, and the Eastern Meseta. In the Haut Souss watershed (western High Atlas), for instance, Bouimajjane et al. [12] discovered an average of 57 t/ha/year. Ouadjane et al. [20] estimated a relatively high annual average of 255 t/ha/year in the Agoudal watershed upstream of the Imilchil valley (Central High Atlas). Similarly, Bouaida et al. [21] discovered a far higher average SL of 347 t/ha/year in the Zat watershed, part of the Tensift Basin.

The Ksob watershed experienced a significant decrease in water erosion from 1993 to 2023. This is mainly due to variations in the R factor. This decrease is due to reduced rainfall in the area. In general, less yearly rainfall causes reduced climatic erosivity and, as a result, lower R-factor values. In the Ksob watershed, the average R is significantly

decreased from 1993 to 2023. In the other hand, vegetation cover reduction, represented by increase in the average C factor, is not significant on the same period. This increase in C values should increase the average annual SL. However, in addition to the insignificance of the increase in C mean between 1993 and 2023, this factor has less control over SL than R factor. The coefficients of determination obtained reveal that the R component has a stronger influence on the interannual variability of SL (R2=0.86) ; vegetation cover has a lower effect (R2=0.07). Other investigations have demonstrated same results. For example, Wang and Hu [7] discovered in a Chinese watershed that rainfall erosivity and plant cover were the two key factors determining the spatiotemporal dynamics of SL. Furthermore, annual fluctuations in rainfall erosivity (R) were discovered to have a higher influence on water erosion and associated SL than vegetation cover dynamics. This result has also been observed on a monthly scale. Polykretis et al. [22] discovered in a Greek region that monthly variations in R factor are the primary driver of SL variability, rather than vegetation cover dynamics, which frequently follow a sluggish pattern.

Our findings show that the Ksob watershed, which has a high potential of Argan stands, is at high danger of water erosion. The figures we found indicate a high amount of erosion, which the soils in the area may not be able to tolerate in the medium and long run. Anti-erosion measures are needed, especially upstream, to maintain the basin's ecosys-tems and limit the possibility of silting up the Zerrar dam.

Acknowledgements : This work was carried out with the support of the CNRST as part of the "PhD-ASsociate Scolarship - PASS" program. Also, we express our gratitude to Madam El Imadi Imane, a professor at the Faculty of sciences Ben M'Sick, University Hassan II of Casablanca, for her edits and improvements to the paper's language.

Appendix A : RUSLE implementation

To calculate the rainfall erosivity factor (R), the following equation was used [23] :

$$R = 79 + 0.363 \times P \quad (1)$$

Where P is the average annual rainfall in mm. The unit of R is Mega-joul.millimeters/hectare.hour. year.

To calculate the topographical factor (LS), the following equation was used [24] :

$$LS = (L / 22.13)m + (0.056 + 0.045 \times S + 0.0065 \times S^2) \quad (2)$$

Where S is the slope steepness in % ; L is the slope length in meters (m). It corresponds to the value of flow accumulation multiplied by the spatial resolution of the DEM ; "m" is a constant. Its value varies according to the slope of the terrain. We have considered a value of m=0.5 for the entire surface of the basin, since most of it has slopes greater than 5%.

To calculate the vegetation cover factor (C), the following equation was used [25] :

$$C = e^{-(\alpha \times NDVI / (\beta - NDVI))} \quad (3)$$

Where α and β are unitless parameters; α = 2 and β = 1. NDVI is the normalized difference vegetation index :

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (4)$$

NIR is the infrared band, while R is the red band, which correspond to bands 5 and 4 for Landsat 8 (bands 4 and 3 for Landsat 5 and 7).

For NDVI, Landsat 7 data are only available from 2000 to 2017. For the period 1993-1999, we used Landsat 5 data and for 2018-2023, Landsat 8 data. As there is a difference between reflectance values for the same pixel at the same time between Landsat 5, 7 and 8 [26], we corrected NDVI values from Landsat 5 and 8 by establishing a linear relationship between Landsat 7 and 5 (model 1) and between Landsat 7 and 8 (model 2) in order to have a more accurate assessment of the temporal variation of the C-factor in the watershed. The models were established by pixel-to-pixel linear regression, choosing arbitrarily years when data were available for both components (2008 for model 1 and 2015 for model 2). Models 1 and 2 showed R2 of 0.89 and 0.69 respectively. The equation of model 1 is presented as follows:

$$NDVI_L5 = 0.5512353 \times NDVI_L7 + 0.0908559 \quad (5)$$

The equation of model 2 is expressed as follows:

$$NDVI_L7 = 0.82268513 \times NDVI_L8 + 0.00891902 \quad (6)$$

The soil erodibility factor (K) was calculated using Stone and Hillborn's correspondence table [27], multiplying the average K for each textural class by a conversion factor of 0.1317 [28]. This conversion is used to calculate K values in tonnes.hectare.hour/ hectare.megajoul.millimeters.

Because anti-erosion techniques were not in place, the P factor was arbitrarily assigned a value of one to the whole surface of the watershed.

REFERENCES

1. Benavidez, R.; Jackson, B.; Maxwell, D.; Norton, K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimate. Hydrology and Earth System Sciences 2018, 22, 6059-6086.

2. Boussalim, Y.; Rahine, N.; Badri, W.; Fougrach, H.; Rachdi, B. Modelling of soil water erosion in Oued Cherrat watershed (Morocco) by applying the Universel Soil Loss Equation (USLE). Research and Science Today 2022, 2(24), 203-222.

3. Khemiri, K.; Jebari, S. Évaluation de l'érosion hydrique dans des bassins versants de la zone semi-aride tunisienne avec les modèles RUSLE et MUSLE couplés à un Système d'information géographique. Cah. Agric. 2021, 30 (7), 1-11.

4. Wischmeier, W.; Smith, D. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide To Conservation Planning. Agriculture Handbooks, USA, 1978; pp. 58.

5. Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K.; Yoder D.C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universel Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbooks, USA, 1997; pp. 385.

6. Sadiki, A. Estimation de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope 137Cs et de la susceptibilité magnétique. Thèse de Doctorat, Doctorat en sciences et techniques, Université Mohammed Premier Faculté des Sciences, Oujda Maroc, 2005.

7. Wang, H.; Hu, Z. Dynamic Changes of Soil Erosion in the Taohe River Basin Using the RUSLE Model and Google Earth En-gine. Water 2020, 12 (5), 1-15.

8. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine : Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens. Environ. 2017, 202, 18–27.

9. Ezaidi, S.; Aydda, A.; Kabbachi, B.; Althuwaynee, O.F.; Ezaidi, A.; Ait Haddou, M.; Idoumskine, I.; Thorpe, J.; Park, H.J.; Kim, S.W. Multi-temporal Landsat-derived NDVI for vegetation cover degradation for the period 1984-2018 in part of the Ar-ganeraie Biosphere Reserve (Morocco). Remote Sens. Appl. Soc. Environ. 2022, 27.

10. Arar, A.; Chenchouni, H. Une approche « simple » basée sur la géomatique pour évaluer le risque d'érosion hydrique dans les zones de montagne. Arab J Geosci. 2014, 7, 1–12.

11. Chakhchar, A.; Ben Salah, I.; El Kharrassi, Y.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C.; Lamaoui, M.Agro-Fruit-Forest Systems Based on Argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results. Frontiers in Plant Science. 2022, 12, 1-13.

12. Bou-imajjane, L.; Belfoul, M.A.; Stokes, M.; Elalaoui, A.; Labbaci, A.; El Ayady, H.; Ez-zaouy, Y. Adaptation of the revised universal soil loss equation (RUSLE) to soil loss modeling in a semi-arid watershed: a case study from western high atlas, Morocco. Model. Earth Syst. Environ. 2022, 8, 4775–4792.

13. Elaloui, A.; Marrakchi, C.; Fekri, A.; Maimouni, S.; Aradi, M . USLE-based assessment of soil erosion by water in the water-shed upstream Tessaoute (Central High Atlas, Morocco). Model. Earth Syst. Environ. 2017, 3, 873–885.

14. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring ex-tremes. Sci. Data. 2015, 2 (150066), 1-21.

15. Hengl, T. Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m, V0.2. 2018. https://doi.org/10.5281/zenodo.2525817

16. Mann, H. B. Nonparametric tests against trend. Econometrica. 1945, 13, 245–259.

17. Kendall, M. G. Rank Correlation Methods. New York, NY: Oxford University Press, 1975.

18. Sadiki, A.; Bouhlassa, S.; Saïdati., J.; Auajjar, A.; Faleh & Macaire, J.J. Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre. 2004, 26, 69-79.

19. Lamane, H.; Moussadek, R.; Baghdad, B.; Mouhir, L.; Briak, H.; Laghlimi, M.; Zouahri, A. Soil water erosion assessment in Morocco through modeling and fingerprinting applications: A review. Heliyon. 2022, 8, 1-10.

20 .Ouadjane, Y.; Ait Yacine, E.; Benzougagh, B.; Nassiri, L.; Ibijbijen, J. Evaluation Des Risques D'érosion Hydrique Et Carto-graphie Des Zones Vulnérables Par La Méthode RUSLE Couplée Aux SIG Et À La Télédétection Dans Le Bassin Versant d'Agoudal En Amont De La Vallée d'Imilchil (Haut Atlas Central, Maroc). European Scientific Journal. 2021. 17 (21), 66-91.

21. Bouaida, J.; Witam, O.; Ibnoussina, M. Interest of Remote Sensing and GIS in the Study of Water Erosion: Case of the Zat Wa-tershed (High Atlas, Morocco). In Innovations in Smart Cities Applications, Ben Ahmed, M., Boudhir, A.A., Santos, D., Dio-nisio, R., Benaya, N., Eds.; Springer, Netherlands. 2023, Volume 6. SCA 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 629. Springer, Cham.

22. Polykretis, C.; Alexakis, D.D.; Grillakis, M.G.; Manoudakis, S. Assessment of Intra-Annual and Inter-Annual Variabilities of Soil Erosion in Crete Island (Greece) by Incorporating the Dynamic "Nature" of R and C-Factors in RUSLE Modeling. Re-mote Sensing. 2020; 12(15).

23. Singh, G.; Chandra, S.; Babu, R. Soil loss and prediction research in India. Central Soil and Water Conservation Research Training Institute. 1981. Bulletin No.T-12/D9

24. Bou-imajjane, L.; Belfoul, M.A. Soil Loss Assessment in Western High Atlas of Morocco : Beni Mohand Watershed Study Case. Applied and Environmental Soil Science. 2020, 1-15.

25. Kouli, M.; Soupios, P.; Vallianatos, F. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environ Geol. 2009, 57, 483–497.

26 . Che, X.; Zhang, H.K.; Liu, J. Making Landsat 5, 7 and 8 reflectance consistent using MODIS nadir-BRDF adjusted reflectance as reference. Remote Sensing of Environment, 2021, 226,112517.

27. Stone, R.P.; Hillborn, D. Universal Soil Loss Equation, Ontario, Canada, Ontario Ministry of Agriculture and Food and Ru-ral Affairs (OMAFRA). 2000.

28. Foster, G.R.; Mccool, D.K.; Renard, K.G.; Moldenhanerw, C. Conversion of the universal soil loss equa-tion to SI metric units. Journal of Soil and Water Con-servation. 1981, 36(6), 355–359.

Contribution à l'évaluation de l'impact du changement climatique sur la végétation du Parc National du Souss-Massa et sa zone tampon

Youssef dallahi [1*] et Abdelaziz Bouziani [2]

[1] *Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat*

[2] *Expert indépendant*

[*] *Correspondance : youssef.dallahi@fsr.um5.ac.ma*

RÉSUMÉ

La présente étude porte sur l'étude de la biodiversité floristique et la dynamique de la végétation de la partie Nord du Parc National du Souss-Massa (PNSM) et sa zone tampon. La méthodologie utilisée consiste en la réalisation des relevés floristiques sur le terrain et la cartographie des groupements végétaux à l'aide de la télédétection spatiale. Les résultats de cette étude ont révélé la présence de 241 taxons, répartis en 183 genres et 58 familles. Ces taxons cohabitent dans le temps et l'espace pour former 13 groupements végétaux, relevant de cinq associations végétales distinctes. Par ailleurs, l'étude de la dynamique des groupements végétaux a permis de mettre en lumière des changements quantitatifs et qualitatifs régressifs, directement influencés par des aléas climatiques et non climatiques.

Mots-clés :
végétation ; groupements végétaux ; dynamique ; Changement climatique ; PNSM.

ABSTRACT

Contribution to the assessment of the impact of climate change on the vegetation of Souss-Massa National Park and its buffer zone.

This study aims to analyze the floristic biodiversity and vegetation dynamics in the northern part of Souss-Massa National Park (SMNP) and its buffer zone. The methodology used entails conducting floristic surveys in the field and mapping plant communities using spatial remote sensing. The results of this study revealed the presence of 241 taxa, distributed across 183 genera and 58 families. These taxa coexist in time and space to form 13 plant communities, belonging to five distinct vegetation associations. Moreover, the examination of vegetation dynamics highlighted quantitative and qualitative regressive changes, directly influenced by climatic and non-climatic drivers.

Keywords
vegetation; plant communities; dynamics; climate change; SMNP.

INTRODUCTION

Crée en 1991 sur une superficie de 33 800 ha du cordon dunaire du littoral océanique situé entre l'Oued Souss au nord et la ville de Tiznit au sud, le Parc National de Souss-Massa (PNSM) se distingue par la beauté de ses paysages et surtout par la diversité et la richesse de ses habitats abritant une variété d'espèces végétales et animales, dont certaines sont remarquables, endémiques ou rares.

L'objectif principal derrière la création du parc réside dans la conservation et la restauration des habitats et des espèces, ainsi que la recherche scientifique, en particulier dans les Zones de Conservation des Ressources Naturelles (ZCRN), qui correspondent aux trois réserves intégrales : les réserves de faune réintroduite de Rokein et Arrouais, ainsi que la réserve de Massa. Ces zones abritent les ressources naturelles les plus intéressantes et les plus fragiles [1]. Cependant, malgré les efforts de protection et de conservation, plusieurs écosystèmes du parc sont sévèrement détériorés [3].

En effet, en plus du changement climatique, la pression anthropique sur les ressources naturelles a atteint des seuils de rupture d'équilibre [3]. Cette pression se manifeste essentiellement par le défrichement, le surpâturage et l'utilisation des techniques agricoles inadaptées. Ces pratiques ont eu des impacts très négatifs sur les écosystèmes qui se manifestent essentiellement par la dégradation de la végétation autochtone, la disparition d'espèces et d'habitats naturels, la dégradation des sols arables par l'érosion éolienne (ensablement) et la destruction des paysages. D'autre part, l'ouverture du PNSM sur l'océan le rend objet d'une grande convoitise de la part des investisseurs et des promoteurs touristiques.

Ainsi, en raison des changements affectant les écosystèmes du parc, une bonne connaissance de leur état actuel est nécessaire pour saisir et comprendre l'évolution et la dynamique qui opèrent dans le milieu naturel afin de proposer des actions propices pour une restauration écologique du Parc.

Ainsi cette étude se fixe comme objectifs :

- Caractériser la végétation et les groupements végétaux de la Partie Nord du PNSM, ainsi que leurs dynamiques ;

- Cartographier d'une façon dynamique les groupements végétaux afin de mettre en évidence les différents changements constatés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude

Le Parc national du Souss Massa (PNSM), s'étendant sur une superficie de 33 800 hectares, est un espace éco-biologique crée en 1991, situé le long d'un littoral s'étirant sur 65 kilomètres entre l'embouchure de l'oued Souss (Agadir) au nord et Sidi Moussa d'Aglou (Tiznit) au sud. Sur le plan administratif, le parc chevauche les provinces d'Inezgane Ait Melloul (4 540 hectares), de Chtouka Ait Baha (21 010 hectares) et de Tiznit (8 250 hectares). Il se caractérise par plusieurs habitats, notamment des steppes, des falaises, des dunes côtières et des zones humides d'une grande importance pour l'hivernage de nombreux oiseaux migrateurs de la région paléarctique occidentale. En termes de richesse floristique et faunistique, le parc abrite plus de 300 espèces végétales, 30 espèces de mammifères, 35 espèces de reptiles et 250 espèces d'oiseaux, dont la plus importante population sauvage d'ibis chauve au monde a trouvé refuge.

Méthodologie

Dans l'objectif d'évaluer l'impact du changement climatique sur les groupements végétaux et la végétation du PNSM, 2 approches sont utilisées :

-La méthode phytosociologique classique, dite sigmatiste, qui a été développée par Braun-Blanquet.

-La méthode cartographie, en utilisant la classification supervisée des imageraies satellitaires.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats de l'inventaire floristique

Le dépouillement et l'analyse des données issues des relevés floristiques réalisés sur le terrain et la bibliographie disponible nous ont permis d'élaborer un catalogue qui renferme 241 taxons, ce qui représente environ 6 % de la flore marocaine ([5]. La flore de la zone d'étude, bien que très variée dans sa composition systématique, reste bien dominée par des éléments méditerranéens. Le nombre total des familles s'élève à 58, ce qui représente 37,4 % des 155 familles de la flore vasculaire du Maroc [5].

L'analyse de la diversité relative des familles inventoriées montre la dominance de la famille des Asteraceae qui renferme 39 espèces, soit 16 % du total des espèces de la zone d'étude suivie des Poaceae avec 37 espèces, soit 15%.

Le nombre total des genres du Parc et de sa zone tampon est de 183, ce qui représente 18,6 % des 981 genres que compte la flore du Maroc [5]. Les genres les plus représentés dans la zone sont Euphorbia (7 espèces), Plantago (6 espèces), Salsola (4 espèces), etc.

2. Identification des habitats du Parc et de sa zone tampon

Pour caractériser les grands habitats du Parc et de sa zone tampon, on s'est basée sur la typologie proposée par Fennane [4] pour l'ensemble du Maroc, qui s'inspire de la typologie EUNIS utilisée sur le continent européen. Cette typologie nous a permis de mettre en évidence les habitats naturel ou semi-naturel suivant (Figure 1):

-Formations ligneuses : forêts, matorrals et steppes ligneuses ;

- Formations herbacées : les ermes ;

-Paysages artificialisés : reboisements forestiers résineux, vergers et terres agricoles ;

- Milieux anthropisés : habitations rurales ;

- Zones humides : représentées par les rives et estuaires d'Oued Souss et par des dépressions internes.

3. Résultats de l'identification des groupements végétaux

L'étude de la végétation est basée sur la méthode phytosociologique dite sigmatiste nous a permis de

mettre en évidence les groupements végétaux suivant (Figure 2) :

- Groupement à *Argania spinosa*
- Groupement à *Retama monosperma*
- Groupement à *Retama monosperma et Helianthemum confertum*
- Groupement à *Helianthemum confertum*
- Groupement à *Ononis natrix*
- Groupement à *Centaurea aspera*
- Groupement à *Launaea arborescens et Cenchrus* ciliaris
- Groupements de dégradation à thérophytes
- Groupement à Traganum moquinii
- Groupement à *Polycarpaea nivea*
- Groupement à *Bubonium imbricatum et Frankenia laevis*
- Groupement à *Chrysanthemum carinatum*
- Groupements des zones humides

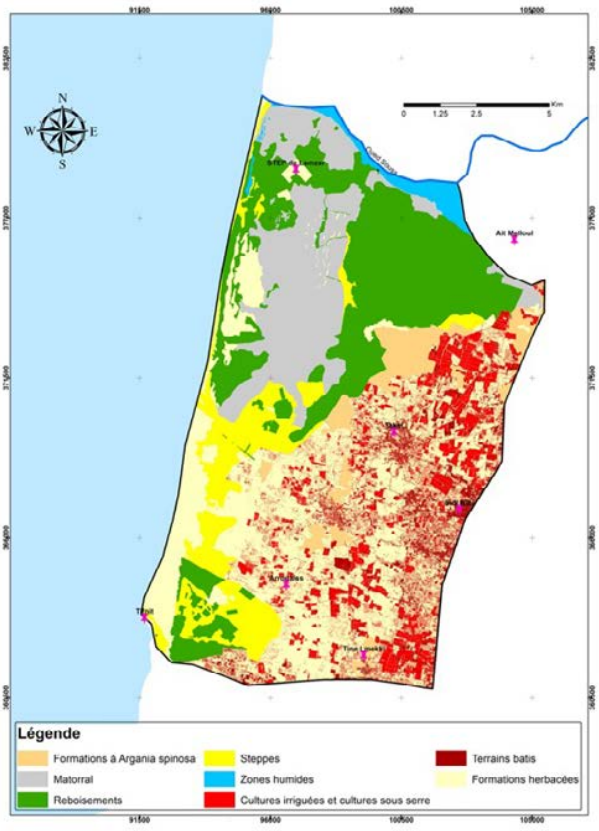


Figure 1. Carte des habitats

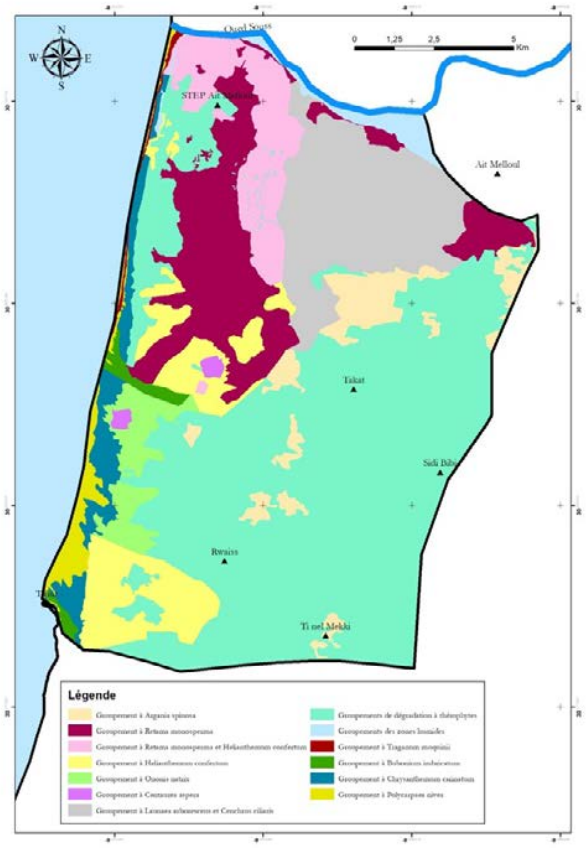


Figure 2. Carte des groupements végétaux

4. Séries et associations végétales

Dans les groupements des zones terrestres, on distingue deux séries ; l'une climatique, l'autre spéciale des dunes, qui se partagent le territoire du Parc et de sa zone tampon, en dehors des zones humides :

-La série inframéditerranéenne à *Argania spinosa* et Euphorbia echinus, occupant une frange assez large du littoral atlantique. Au niveau du Parc et de sa zone tampon, elle est re-présentée par cinq associations végétales suivantes :

- *Euphorbio echini-Arganietum spinosae* Barbéro, Benabid, Quézel, Rivas-Martinez et Santos 1982 ;
- *Retamo monospermae-Helianthemetum australis* Benabid, Machrouh & Schoenen-berger 1994;
- *Ononido angustissimae-Helianthemetum australis* Peltier 1982;
- *Diplotaxo catholicae-Ononidetum tournefortii* Benabid, Machrouh, Schoenenberger 1994;
- *Bromo rigidi-Sclerosciadetum nodiflorae* Peltier, 1982.

- La série inframéditerranéenne à Traganum moquinii et Rhus albida reste liée au cordon dunaire du littoral dont la largeur de la bande n'excède guère 500 m. On distingue trois associations :

- *Tragano moquini-Limonietum mucronati* Benabid, Machrouh & Schoenenberger 1994;

- *Bubonio imbricati-frankenietum velutinae* Benabid, Machrouh & Schoenenberger 1994;

- *Chrysanthemo carinati-Senecietum gallici* Peltier, 1982.

5.Résultats de l'étude diachronique des associations végétales

L'étude diachronique des associations végétales, basée sur la comparaison de la composition et de la superficie de chaque association végétale en 2002 et en 2022, en utilisant les résultats de la classification supervisées des images satellitaires (Tableau 1 et Figure 3) a révélé que la végétation potentielle de la zone d'étude a été fortement perturbée, notamment les associations climaciques à fortes valeurs de conservation comme *Bubonio imbricati-frankenietum velutinae et Retamo monospermae-Helianthemetum australis et Euphorbio echini-Arganietum spinosae.*

Tableau 1. Les variations en termes de superficie des associations végétales entre 2002 et 2022

Association végétale	Sup-2002 (ha)	Sup-2022 (ha)	Total variation	Taux de variation %
Bromo rigidi-Sclerosciadetum nodiflorae	7704	7684	-20	-0,3
Bubonio imbricati-frankenietum velutinae	431	153	-278	-181,7
Chrysanthemo carinati-Senecietum gallici	550	895	345	38,5
Diplotaxo catholicae-Ononidetum tournefortii	172	935	763	81,6
Euphorbio echini-Arganietum spinosae	877	797	-80	-10,0
Groupements des zones humides	306	306	0	0,0
Ononido angustissimae-Helianthemetum australis	3446	4167	721	17,3
Retamo monospermae-Helianthemetum australis	4630	3179	-1451	-45,6
Tragano moquini-Limonietum mucronati	49	49	0	0,8

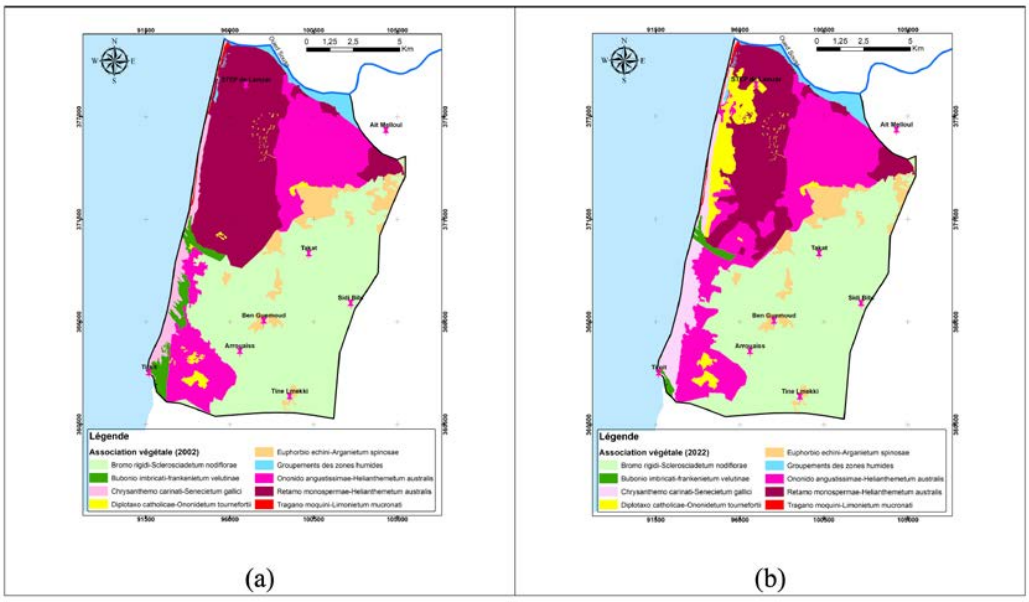


Figure 3. Carte des associations végétales : (a) 2002 ; (b) 2022

CONCLUSIONS

L'étude de la végétation et de la dynamique des groupements végétaux constitue une approche globale et intégrée pour appréhender l'état actuel des écosystèmes naturels du PNSM en vue d'instaurer une restauration écologique afin de faire face aux divers aléas climatiques et non climatiques. Ainsi, l'analyse de la végétation et des groupements végétaux dans la partie Nord du PNSM a révélé une importante diversité floristique, comprenant 241 taxons répartis en 183 genres et 58 familles. Ces taxons coexistent dans le temps et l'espace pour former 13 groupements végétaux, relevant de cinq associations végétales distinctes. Par ailleurs, l'étude de la dynamique de ces groupements a mis en évidence les changements quantitatifs et qualitatifs régressifs, résultant directement des aléas climatiques et non climatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AEFCS. Plan Directeur des Aires Protégées du Maroc. 1-5. Rapport inedit. Adm Eaux et forêts et Cons. sols. BECOM-SECA, 1995.

2. Benabid, A.; Machrouh, A. ; Schoenenberger, A.. La végétation potentielle du parc national de Souss-Massa. 69p. Coopération technique Maroco-Allemande, projet GTZ N°, 199492.2097.1

3. Benabid, A. Flore et écosystèmes du Maroc. Evaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, paris, 2000, 360p.

4. Fennane, M. Esquisse des bases d'une typologie des habitats au Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, 2006 Secti n Science de la vie, 28, 1-5.

5. Fennane M. et Ibn Tattou M. . Statistiques et commentaires sur l'inventaire actuel de la flore vasculaire du Maroc, Bulletin de l'Institut Scientifique 2012, Rabat, section Sciences de la Vie, n°34 (1) : 1-9.

Etude phyto-écologique multidimensionnelle des Arganeraies du centre-Ouest Marocain

Sara ELGADI [1,*], Abderraouf El ANTARI [2], Hamza ZINE [3] , Ahmed OUHAMMOU [1]

[1]*Laboratoire des Biotechnologies Microbiennes, Agroscience et Environnement affilié à l'unité 4 de CNRST, Herbier Régional MARK, Département de Biologie, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech.*

[2] *Laboratoire de Technologie Agro.Alimentaire et Qualité, Unité de Recherche Amélioration des Plantes et de Qualité. Au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).*

[3] *Institut de géologie et d'exploitation minière durable (GSMI), Université polytechnique Mohammad VI (UM6P).*

[*] *sarah.elgadi@gmail.com ; ouhammou@gmail.com*

RÉSUMÉ

La zone du centre-Ouest Marocain est considérée comme un hotspot régional en raison de ses caractéristiques abiotiques et biotiques mettant en évidence ses originalités. Ces dernières résultant de l'impact des conditions géographiques, climatiques et bioclimatiques particulières reflétant ainsi la diversité de la flore et la végétation révélée par la richesse, la diversité, le taux de l'endémisme et les espèces rares et menacées. Dans ce biotope, l'arganier constitue l'élément le plus remarquable par ses services écosystémiques. Une caractérisation de la zone d'étude, avec une focalisation sur les analyses floristique et phyto-écologique des groupements végétaux individualisés a été réalisée au sein des 7 provinces et régions du Maroc Centro-occidental. Ces analyses multidimensionnelles ont permis de caractériser les 83 points relevés par leurs modalités des variables géographiques, bioclimatiques et leurs groupements végétaux, en se basant essentiellement sur la fréquence des espèces de la flore pérenne. Les résultats de l'analyse, étalée sur 40 années d'observation (1980-2020), des données thermiques de la zone d'étude varient entre -0,6°C et 11,7 °C pour les températures minimales et entre 25°C et 41°C pour les températures maximales. Dans cette étude, 131 espèces de plantes vasculaires réparties en 99 genres et 36 familles. Un ensemble de 17 espèces sont endémiques dont 9 sont marocaines et 4 espèces sont menacées, de catégorie vulnérable, ont été inventoriées.

Mots clés
Argania spinosa; paramètres écologiques; marqueur biologique; prédiction de l'origine géographique ; climat ; SIG.

ABSTRACT

Multidimensional Phyto-Ecological Study of the Argan Forests of Central-Western Mo-rocco.

The Central-Western Moroccan region is considered a regional hotspot due to its abiotic and biotic characteristics, highlighting its unique features. These result from the impact of particular geographical, climatic, and bioclimatic conditions, thus reflecting the diversity of flora and vegetation revealed by the richness, diversity, endemism rate, and the presence of rare and threatened species. In this biotope, the argan tree is the most remarkable element due to its ecosystem services. A characterization of the study area, focusing on the floristic and phyto-ecological analyses of the individualized plant communities,

Keywords
Argania spinosa; ecological parameters; biological marker; prediction of geographical origin; climate; GIS.

was conducted within the 7 provinces and regions of Central-Western Morocco. These multidimensional analyses allowed the characterization of the 83 surveyed points by their geographical, bioclimatic variables, and their plant communities, primarily based on the frequency of perennial flora species. The results of the analysis, spanning 40 years of observation (1980-2020), of the thermal data of the study area range between -0.6°C and 11.7°C for minimum temperatures and between 25°C and 41°C for maximum temperatures. In this study, 131 vascular plant species distributed across 99 genera and 36 families were identified. A total of 17 species are endemic, of which 9 are Moroccan, and 4 species are threatened, classified as vulnerable.

INTRODUCTION

La zone du Centre-Ouest présente une importance capitale par ses caractéristiques abiotiques et biotiques. Elle est ainsi considérée comme une zone de refuge au sein du hotspot méditerranéen et un carrefour biogéographique où viennent se rencontrer des éléments phytogéographiques variés [1]. Elle montre une originalité naturelle inédite au sein du Maroc [2]. Cette originalité s'établit au point de vue (i) climatique, exprimé par un hiver tempéré, chaud à très chaud et un été chaud mais à influence océanique entretenant une humidité atmosphérique qui compense en partie la rareté des précipitations et en atténuant ainsi l'impact de la période sèche, (ii) type d'étage de végétation par l'individualisation du spécifique étage Inframéditerranéen au sens de Benabid (1976) [3], (iii) floristique révélé par la richesse, la diversité de la flore représentée par des éléments méditerranéens, sahariens, tropicaux, macaronésiens et par un important lot d'espèces de plantes endémiques, rares et menacées [4-8] . L'arganeraie couvre une superficie de plus 830 000 ha [9,10], essentiellement encartée dans la plaine du Souss, Anti-Atlas et la région d'Essaouira et dont une grande partie appartenant à la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA) créée en 1998 et visant sa gestion et sa conservation durables de la surexploitation dont elle est assujettie [11].

La zone du Centre-Ouest fait partie des sites les plus explorés du Maroc. Historiquement, les premières investigations sur la flore et la végétation, reportées par Peltier (1982) [1], ont débuté au XIXe siècle. Elles s'étaient renforcées au XXe siècle par les travaux de biogéographes et botanistes nationaux et étrangers. Plus récemment, ces investigations ont continué sur des aspects de valorisation et conservation de l'écosystème Arganier, sous les auspices de l'ONDZOA. L'organisation du Congrès international annuel sur la recherche abordant cette essence multi-usage a contribué à sa valorisation scientifique. La mise en place de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA), et d'aires protégées représentées par des Sites d'Intérêt Biologique et Ecologique (SIBE) et le parc national (Sous Massa) ont donné un regain d'intérêts à cette zone du Maroc Centro-occidental. La concrétisation de ces démarches et efforts ont conduit, depuis l'année 2021, les Nations Unis à désigner le 10 mai de chaque année, la Journée Internationale de l'Arganier. Ce qui est une fierté nationale et une reconnaissance internationale de l'Arganier et de son Ecosystème.

L'objectif de cette étude est de présenter la zone du Centre-Ouest marocain par un aperçu physiographique, climatique, bioclimatique et par ses diversités floristiques et végétales afin de permettre l'actualisation des données les concernant. Il vise d'approcher la certification et la caractérisation de l'huile d'argane, réputée pour ses qualités diététiques et cosmétiques, par ses origines géographiques, écologiques et botaniques dont la connaissance et la valorisation sont tant attendues par les gestionnaires et les usagers pour sa valorisation durable. Un ensemble de 83 points relevés représentatifs des arganeraies échantillonnées dans le cadre de la présente étude sont étudiés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude se situe au Centre-Ouest du Maroc, précisément entre les latitudes 29°08' Nord et 32°02' Nord et les longitudes 08°00' Ouest et 10°09' Ouest. Au point de vue administratif, six provinces et régions occupent le territoire de la zone d'investigation. Il s'agit, du Nord au Sud, de Safi, Essaouira, Agadir, Taroudant, Tiznit, Sidi Ifni et la région des Ida Outanane et de Guelmim à Bouizakerne (Figure1).

2.2. Données climatiques

Les données climatiques des 83 points relevés analysés dans cette étude ont été téléchargées et traitées à partir du site https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ (Consulté en janvier 2021) pour une série

de 40 ans, de 1980 à 2020. Les données obtenues ont subi, par la suite, une correction par Multiplicative Scatter Correction (MSC) en se basant sur les données climatiques effectives collectées à partir des données de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift, et de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) et des références en la matière Peltier (1982) [1] et Ouhammou (2005) [12].

2.3. Analyse phyto-écologique

Afin de mettre en évidence toutes les composantes physiques et floristiques d'une manière simple et rapide à saisir sur le terrain, les relevés ont été réalisés sur une surface homogène équivalente à l'aire minimale de 200 à 400 m² au sens de Guinochet (1973) [13] durant les missions de terrain en 2017, 2018 et 2019. L'abondance et la dominance sont exprimées par l'échelle de Blanquet (1979) [14]. Les noms des espèces retenus ont été actualisés selon la nomenclature actualisée (APG IV) et ont été classées dans leur famille systématique respective et complétées par les statuts de l'endémisme et des catégories de menaces des catégories de l'UICN. Les noms des espèces ont été abrégées en adoptant la règle d'abréviation, en prenant les deux premières lettres du nom du genre et celles de l'espèce ; par exemple : Ar.sp pour *Argania spinosa.*

2.4 Analyse statistique

Pour faciliter leur intégration dans le tableau final à analyser, ces espèces ont été présentées selon leurs fréquences dans l'ensemble des points relevés de chaque province. Deux approches méthodologiques multidimensionnelles ont été successivement entreprises (1) la classification hiérarchique associée à la carte thermique (heatmap) afin de déterminer les espèces caractéristiques des groupements végétaux de chaque zone (2) l'Analyse Factorielle des Composantes (AFC) permettant de dégager les liaisons entre les groupements et les conditions physiographiques et climatiques.

RÉSULTATS

La classification hiérarchique associée à la carte thermique (Figure 2) a permis de renseigner les espèces caractéristiques des groupements végétaux de chacune des 7 provinces – région. Cette analyse a été complétée par le rapprochement de ces groupements à travers l'étude des unités phytosociologiques qui leur étaient at-tachées. Dans la partie de l'analyse phyto-écologique, l'utilisation de l'AFC (Figure 3) a abouti à approcher les conditions physiographiques, climatiques et bioclima-tiques des groupements végétaux individualisés dans les 7 provinces et région étudiées.

Le plan factoriel formé par les deux premiers axes représente 59,86 % de l'inertie totale avec une prédominance de l'axe 1 (38,33%) et l'existence de l'effet Guttman. À la suite de cette disposition, l'axe factoriel 1 est prépondérant. Il correspondrait à la continentalité qui oppose clairement les zones littorales des zones continentales. Cependant, l'axe 2 (21,53%) manifeste une double signification, les variations des bioclimats et d'humidité relative de l'air.

Dans un esprit de synthèse globale, l'analyse des conditions écologiques, basées essentiellement sur l'altitude, les grands traits du climat et les types de bioclimats a porté sur les types de climat littoral, mixte littoral à semi-continental, semi conti-nental et continental individualisés dans cette étude.

- **Climat littoral**

Elle est représentée par les points relevés réalisés dans les Provinces Safi et Agadir. Altitudinalement, ils occupent les plaines ne dépassant pas 200m. Sur le plan écologique, les précipitations varient de 200mm à 400mm et à humidité relative de l'air arrivant à 65%. Les températures maximales intéressent les tranches 25°C - 30°C et 30°C -35°C, les températures minimales comprennent les variantes chaudes (7°C-10°C) à très chaudes (m>10°C). Le bioclimat induit se rapporte au semi-aride chaud à très chaud. Au point de vue floristique, cette zone est caractérisée, dans la strate arbustive, par *Searsia pentaphylla (Se.pe), Withania frutescens (Wi.fr),* et par *Retama monosperma (Re.mo).* La strate des buissons ou ligneux bas est représentée par *Chamaerops humilis (Ch.hu), Chamaecytisus albidus (Ch.al), Ballota hirsuta (Ba.hi).*

- **Climat mixte littoral à semi-continental**

La région en question ici englobe les points relevés faisant partie des provenances d'Essaouira et de Sidi Ifni. Altitudinalement, ils s'individualisent essentiellement dans la tranche 300 m à 700 m mais l'altitude des points relevés de Sidi Ifni est plus basse, variant de 0m - à 300 m. A Essaouira, les précipitations sont plus élevées, de l'ordre de 200-300 mm, mais plus faibles à Sidi Ifni marquée par la tranche 100 mm à 200 mm et l'humidité relative de l'air variant de 50% à plus de 65% à Sidi Ifni et de 60% à 65% à Essaouira, sous l'effet de l'océanité élevée, surtout dans la zone littorale. Les températures maximales couvrent la tranche 25°C à 35°C à Sidi Ifni et 30°C à 35°C à Essaouira, quant aux températures minimales, elles intéressent les tranches 7°C-10°C et supérieure à 10°C, dans les deux provinces. Pour les biocli-mats, Sidi Ifni occupe l'aride chaud et le semi-aride chaud à très chaud, alors qu'à Essaouira, le bioclimat est de type semi-aride tempéré, chaud à très chaud, en liaison avec sa situation plus

septentrionale par rapport à Sidi Ifni.

Pour les types de formation végétale, il s'agit d'une arganeraie dominée, à Essaouira, par la strate buissonnante représentée par *Asparagus albus L. (As.al), La-vandula multifida L. (La.mu) et Thymus broussonetii (Th.br),* d'un nanophanéro-phyte, *Lycium intricatum (Ly.in)* et d'une liane, *Ephedra altissima (Ep.al).* Quant à Sidi Ifni, la dominance d'espèces d'Euphorbes cactoides est remarquable, représentées par des espèces macaronésiennes, cas *de Kleinia anteuphorbium (Kl. an)*, et d'espèces saharo-occidentales atlantiques dont *Euphorbia officinarum* subsp. *Officinarum (Eu. of), Euphorbia officinarum subsp. Echinus (Eu.ec)* et *Euphorbia regis-jubae (Eu.re).*

• Climat à dominance semi-continentale

Sont inclus dans ce type de bioclimat, les points relevés répartis dans la région d'Ida Outanane au Nord-Est de la zone Centro-occidentale et la province de Tiznit au Sud de cette zone. Les altitudes les plus fréquentes sont observées dans la tranche 700 m -1400 m, en relation avec les hauts reliefs du Haut Atlas Occidental et dans la tranche 300 m -900 m à Tiznit. Pour les précipitations, la tranche 100 mm – 200 mm est quasi dominante à Tiznit ; mais à Ida Outanane, elles se concentrent essentiellement dans la tranche 200 mm – 300 mm, avec des points dans la tranche 100 mm – 200 mm, voire même supérieures à 400mm. Le taux de l'humidité relative de l'air est prévalu dans l'intervalle 45% - 50% ; au niveau de ces deux provinces. Au sujet de l'élément climatique thermique, la température maximale intéresse essentiellement la tranche 35°C – 40°C dans les deux provenances et la température minimale, la tranche 3°C - 5°C à Tiznit et 5°C - 7°C à Ida Outanane. Le bioclimat est de type aride doux essentiellement à Tiznit et de type aride frais à tempéré et semi-aride frais à tempéré à Ida Outanane.

Au point de vue de la végétation, il s'agit d'une arganeraie marquée par des espèces xérothermophiles, cas de *Launaea arborescens (La.ar)*, *Haloxylon scoparium (Ha. sc)* et *Withania adpressa (Wi.ad)* à Tiznit. Cette espèce d'origine saharienne arrive ici à sa latitude optimale. À Ida Outanane se présente une arganeraie plus ou moins méxo-thermophile représentée par l'olivier marocain, *Olea europaea subsp. Maroccana (Ol.ma), Ceratonia siliqua (Ce.si),* la liane *Periploca angustifolia (Pe.an)* et *Globularia alypum (Gl.al),* espèce héliophile des clairières.

• Climat continental

Le climat continental est représenté par les points relevés réalisés dans la province de Taradount. Au point de vue altitudinale, ces points s'étalent de 300 m à 1400 m. Les précipitations sont concentrées dans la tranche 200 m à 300m. L'humidité relative de l'air enregistre un faible taux 39% à 45%. Les températures maximales couvrant la tranche 35°C et 40°C et minimales allant des températures négatives (m<0°C), et des variantes fraiche (0°C à 3°C) et douces (3°C à 5°C). Les bioclimats étudiés dans cette zone s'encartent dans l'Aride froid, frais et doux.

Les espèces caractéristiques relevées dans cette province à *Acacia gummifera (Ac.gu), Launaea arborescens (La.ar), Salvia aegyptiaca (Sa.ae), Ziziphus lotus (Zi.lo) et Pistacia atlantica (Pi.at),* représentant un cortège de plantes xérophiles.

3.2. Figures, Tableaux et schémas

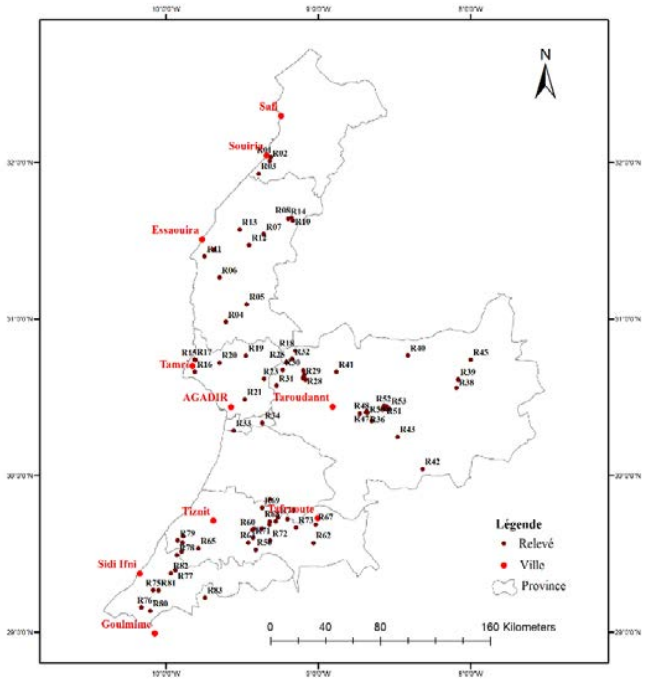


Figure 1. Présentation géographique du Centre-Ouest du Maroc.

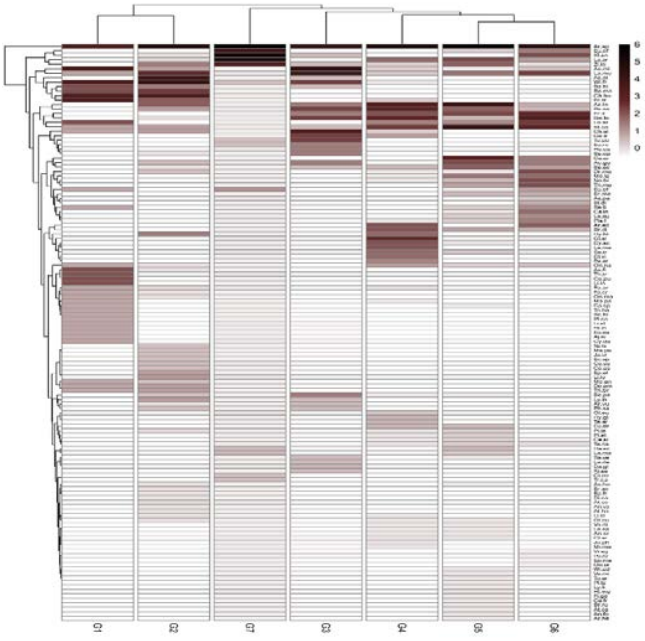


Figure 2. Classification hiérarchique combinée à la carte thermique des distances eucli-diennes à partir des fréquences de la composition floristique de chaque province (G1 : Safi, G2 : Essaouira, G3 : Agadir, G4 : Agadir Ida-Outanane, G5 : Taroudant, G6 : Tiznit et G7 : Sidi Ifni).

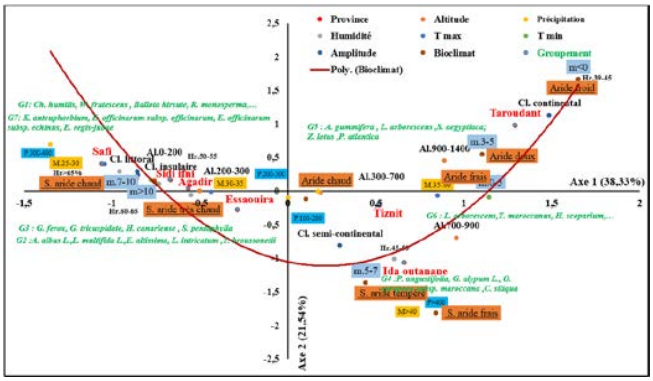


Figure 3 Ordination des provinces - région et des groupements végétaux des arganeraies en fonction des modalités physiques, climatiques et bioclimatiques. Plan factoriel 1-2 de l'Analyse Factorielle des Composantes.

DISCUSSION

Les relations étroites entre les facteurs abiotiques et le cortège floristique que présente l'écosystème de l'arganier sont confirmées par plusieurs auteurs [1, 3, 8, 9, 14]. En outre, plusieurs auteurs ont mentionné l'influence des facteurs abiotiques sur la composition chimique de l'huile d'argane cosmétique et alimentaire. Hilali et al., (2020) [16] ont indiqué que l'effet du génotype n'est pas le seul responsable de la composition chimique de l'huile d'argane ; l'origine et les conditions climatiques ont également un effet sur sa composition chimique. De même, Ait Aabd et al., [17] et Kharbach et al., [18] ont signalé que les niveaux d'acide oléique (C18:1) ont augmenté avec des précipitations élevées et ceux de l'acide linoléique (C18:2) avec l'altitude. La variabilité globale de la composition en acides gras de l'huile d'argane peut être attribuée à divers facteurs, notamment l'origine géographique et le climat [19-21]. La présence d'un groupement végétal spécifique à un milieu est conditionnée par les paramètres géographiques et pédoclimatiques locaux ce qui peut révéler l'existence d'une relation évidente entre les compositions floristique et chimique des huiles d'argane.

CONCLUSIONS

Cette étude présente une analyse phyto-écologique multidimensionnelle des types d'arganeraies étudiées. Cette analyse a permis le diagnostic de la flore pérenne caractéristique exprimée en fréquence dans chaque zone de prélèvement. A cet effet, nous avons déterminé les groupements végétaux et la mise en valeur des relations entre les paramètres abiotiques et la répartition des plantes vasculaires associées de l'arganier. En fait, l'origine géographique a une action directe sur les paramètres climatiques et par conséquent sur la végétation. Les résultats de ce chapitre ont permis la détermination des marqueurs biologiques des types d'arganeraie de chaque province. D'autres travaux sont actuellement en cours pour mettre en lumière les liens entre la composition floristique et chimique des huiles d'argane.

Remerciements : Nous remercions l'ANDZOA, la GIZ, l'INRA et la FSSM pour leur soutien technique, financier et logistique consacré à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Peltier J.P. La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc). Thèse de doctorat és-sciences. Université scientifique et médicale de Grenoble, 201p. (1982).

2. Benabid, A., & Melhaoui, Y. Écosystèmes naturels à Arganier (*Argania spinosa*). Patrimoine national et universel : Bio-écologie, phytosociologie, phytodynamique et ethnobotanique. Actes du premier congrès international de l'arganier, 39-47. (15-17 Dec. 2011).

3. Benabid A. Etude écologique, phytosociologique et sylvopastorale de la tétraclinaie de l'Amsittène. Thèse de 3ème cycle, Université Aix-Marseille III, 155 p. (1976).

4. Blanquet B et Maire R. Etudes sur la Végétation et la Flore Marocaines. Comptes-Rendus des Herborisations de la So-ciété Botanique de France, Session du Maroc. Mémoires de la société des sciences naturelles du Maroc. N° VIII. (1924). 256p.

5. Benabid A. et Fennane M. Connaissances sur la végétation du Maroc : Pbytogéographie, phytosociologie et séries de vé-gétation. L.azaroa (1994). 14 : 21-97

6 .Géhu J.M. et Biondi E. Apport à la connaissance de la végétation du littoral marocain sud-occidental : Les communautés végétales psammophiles des dunes et placages sableux du Maroc macaronésien. Bulletin de la société botanique du Centre Ouest. Nouvelle série, Tome 27. (1996). 179 – 214.

7. Fennane M. & Ibn Tattou M., Catalogue des plantes vasculaires rares, menacées ou endémiques du Maroc. Bocconea 8, (1998), 243p.

8. Médail F. et Quézel P.. The phytogeographical significance of S.W. Morocco compared to the Canary Islands. Plant Ecology (1999) 140: 221-244.

9. Msanda, F.; El Aboudi, A.; Peltier, J.-P. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Agriculture (2005), 14, 357–364

10. Naggar M. La gestion durable de l'arganeraie et les enjeux de lutte contre la désertification. Revue Espace Géop-graphique et Société Marocaine . (2018), N° 22. 81-91.

11. Msanda, F., Mayad, E.H. & Furze, J.N. Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Moroc-co's Arganeraie Biosphere Reserve. Environ Sci Pollut Res 28, (2021). 64156–64165 https://doi.org/10.1007/s11356-020-11936-0.

12. Ouhammou A. Flore et végétation du Parc National de Toubkal (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc) : typologie, écologie et conservation. doctorat d'état; Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia. (2005). 315 p.

13. Guinochet, M., & Vilmorin, R. D. (1973). Flore de France.

14. Blanquet B et Maire R. Etudes sur la Végétation et la Flore Marocaines. Comptes-Rendus des Herborisations de la So-ciété Botanique de France, Session du Maroc. Mémoires de la société des sciences naturelles du Maroc. (1924). N° VIII. 256p.

15. Barbéro M., Benabid A., Quézel P., Rivas-Martinez S. & Santos A. Contribution à l'étude des Acacio-Arganetalia au Maroc sud-occidental. Documents phytosociologiques. (1982). V.N.S. VI. Camerino. 311-338.

16. Hilali M, Kartah BE, El Monfalouti H. Evaluation of the chemical composition of argan (*Argania spinosa* L.) oil ac-cording to its extraction method, origin of production and altitude. JWPR, (2020). 10(3): 111–118. https://doi.org/10.36380/scil.2020.ojafr15.

17. Ait Aabd N, El Asbahani A, El Alem Y, El Finti A, Msanda F, El Mousadik A. Variation in oil content and fatty acid composition in preselected argan trees with morphological characters and geographical localization. Mediterr J Nutr Metab. (2013). 6 (3): 217–225. https://doi.org/10.1007/s12349-013-0134-2.

18. Kharbach, M., Kamal, R., Bousrabat, M., Alaoui Mansouri, M., Barra, I., Alaoui, K., Cherrah, Y., Vander Heyden, Y., & Bouklouze, A. Characterization and classification of PGI Moroccan Argan oils based on their FTIR fingerprints and chemical composition. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, (2017). 162(February), 182–190. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.02.003

19. Aithammou R, Harrouni C, Aboudlou L, et al. Effect of clones, year of harvest and geographical origin of fruits on qual-ity and chemical composition of argan oil. Food Chem (2019) 297: 124749. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.024.

20. Elgadi, S., Ouhammou, A., Zine, H., Maata, N., Aitlhaj, A., El Allali, H., & El Antari, A. Discrimination of Geographical Origin of Unroasted Kernels Argan Oil (*Argania spinosa* (L.) Skeels) Using Tocopherols and Chemometrics. Journal of Food Quality, (2021). https://doi.org/10.1155/2021/8884860

21. Elgadi, S.; Ouhammou, A.; Taous, F.; Zine, H.; Papazoglou, E.G.; Elghali, T.; Amenzou, N.; El Allali, H.; Aitlhaj, A.; El Antari, A. Combination of Stable Isotopes and Fatty Acid Composition for Geographical Origin Discrimination of One Argan Oil Vintage. Foods (2021), 10, 1274. https://doi.org/10.3390/foods10061274.

Performances de la population locale caprine de l'arganeraie d'Agadir pour une mise en place d'un schéma de sélection

Houda El kheyyat [1,*] , Saïd El madidi [2]

[1] *Biometrie et Bio-ressources. Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr-Agadir- Maroc.*

[2] *Biometrie et Bio-ressources. Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Res-sources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr-Agadir- Maroc.*

** elkheyyathouda9@gmail.com ; s.elmadidi@uiz.ac.ma*

Mots clés
arganeraie ; chèvre locale ; croissance ; paramètres de reproduction ; schéma de sélection.

RÉSUMÉ

La chèvre représente une tradition en matière d'élevage et de consommation chez les populations rurales de l'arganeraie d'Agadir. La production de viande caprine est une source importante de revenus pour la population de cette région. La présente étude a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance du caprin local de l'arganeraie d'Agadir et de proposer des orientations pour la mise en place d'un schéma de sélection adapté au contexte de l'élevage caprin de race locale en extensif. Le cheptel caprin est hétérogène et composé principalement de 3 races locales : Atlas (Noire), Barcha et Ghazalia avec respectivement 57,40%, 22,30% et 8,37%. Les paramètres de reproduction et de croissance sont relativement faibles. Les taux d'avortement et de mortalité global sont élevés. Les performances enregistrées sont insuffisantes quand on considère la demande croissante en viande caprine dans la région et au niveau national, mais peuvent être améliorées par la sélection des individus ayant des bonnes performances. On peut conclure que la réalisation du programme de sélection est nécessaire puisqu'elle préserve mieux la diversité des races locales et qui vise à améliorer la durabilité et la rentabilité économique des élevages caprins à base de race locale.

ABSTRACT

Performance of the local goat population of the argan grove of Agadir for the implemen-tation of a selection scheme.

Keywords
argan grove ; local goat ; growth ; reproduction parameters ; selection scheme.

The goat represents a tradition of breeding and consumption among the rural populations of the argan grove of Agadir. Goat meat production is an important source of income for the region's population. The present study aims to contribute to a better knowledge of the local goat of the argan grove of Agadir and to propose guidelines for the implementation of a selection scheme adapted to the context of extensive local goat breeding. The goat herd is heterogeneous and mainly composed of 3 local breeds : Atlas (Black), Barcha and Ghazalia with 57.40%, 22.30% and 8.37% respectively. Reproduction and growth parameters are relatively low. Abortion and overall mortality rates are high. The performances recorded are insufficient when we consider the growing demand for goat meat in the region and nationally, but can be improved by selecting individuals

with good performances. It can be concluded that the im-plementation of the selection program is necessary as it better preserves the diversity of local breeds and aims to improve the sustainability and economic profitability of goat farms based on local breeds.

INTRODUCTION

La chèvre revêt une importance capitale pour les nombreuses fonctions qu'elle remplit et elle constitue un facteur de développement économique et social, notamment dans les zones rurales [1]. Au Maroc, l'élevage caprin se chiffre 5,731 millions de têtes [8]. Les caprins de l'Arganeraie de la région du Souss Massa représentent 16% de l'ensemble des caprins au niveau national [3]. Le cheptel caprin est constitué d'un petit nombre de races ou de populations locales souvent hétérogènes, mais bien adaptées aux conditions de leur habitat [4], l'hétérogénéité est notamment due au brassage aléatoire entre animaux sur parcours et un manque de programme de sélection [5]. Cependant, d'après FAO [6], 30 % des races d'élevage sont menacées d'extinction et environ six races disparaissent chaque mois, ainsi les ressources génétiques non enregistrées sont perdues avant même que leurs caractéristiques n'aient été étudiées et leur potentiel évalué [7]. Au Maroc, l'élevage caprin est peu développé et peu étudié, les populations caprines sont encore génétiquement non améliorées [9]. La connaissance du potentiel de production de nos populations caprines est insuffisante tant au niveau de leurs caractéristiques que de leurs performances et la productivité des caprins varie selon les régions, le type d'élevage et la race [10]. Notre étude s'est fixée pour objectif de caractériser la population locale caprine de l'arganeraie d'Agadir à travers l'étude de ses caractéristiques morpho-biométriques, de ses performances de reproduction et de croissance en vue de proposer des orientations pour la mise en place d'un programme de sélection adapté au contexte de l'élevage caprin de race locale en extensif.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude a été menée dans la commune Amskroud de la province d'Agadir appartient au bassin de souss, auprès de 35 éleveurs répartis dans 9 villages. Les paramètres de reproduction (prolificité, fertilité, fécondité taux d'avortement, taux de mortalité) ont été évalués par l'enregistrement du nombre de chèvres mises en reproduction, celles ayant mis bas et le nombre de chevreaux nés. L'étude a porté sur un effectif de 2151 chèvres. Les caractères morpho-biométriques ont été étudiés sur 344 caprins de races locales (318 femelles et 26 mâles). Au total, 9 variables quantitatives ont été utilisées : hauteur au garrot (HG) (cm), longueur du corps (LC) (cm), profondeur du thorax (PT) (cm), tour de poitrine (TP) (cm), largeur du bassin (LB) (cm), longueur des oreilles (LO) (cm), longueur des cornes (LCo) (cm), hauteur au sacrum (HS) (cm), le poids vif (PV) (kg). Afin d'évaluer et mieux connaître la population locale en termes de morphologie et de production (en viande), 9 indices biométriques ont été calculés : indice de gracilité sous sternale (IGs), indice auriculaire thorax (IAT), indice corporelle (IC), indice hauteur (IH), indice de la profondeur relative du thorax (IPRT), indice de proportionnalité (IPRO), indice des oreilles (IO), ratio corporel (RC) et développement thoracique (DT). Les indices biométriques ont été déterminés tels que décrits par [11, 12, 13] (Tableau 1)

Tableau 1: Calcul des indices biométriques

Indice	Calcul	Définition
Indice de gracilité sous-sternale (IGs)	IGs = (HG - PT) / PT	- IGs proche de 1,5 : longipédie. - IGs proche de 1 : brévipédie.
Indice auriculaire thorax (IAT)	IAT = LO / PT	-
Indice de hauteur (IH)	HG / LC	-
Indice corporel (IC)	LC / TP	- L'animal est longiligne si IC > 0,90. - L'animal est médioligne si IC entre 0,86 et 0,88. - L'animal est bréviligne si IC < 0,85.
Indice des oreilles (IO)	LO x 100 / HG	-
Indice de proportionnalité (IPRO)	LC x 100 / HG	- Si IPRO < 1,00 : la forme du corps est rectangulaire, ce qui est une caractéristique du type de viande. - Si IPRO > 1,00 : la forme du corps est carrée, qui est une caractéristique du type laitier.
Indice de la profondeur relative du thorax (IPRT)	PT x 100 / HG	- L'animal est près de terre si IPRT < 0,50. - L'animal est haut sur pattes si IPRT > 0,60. L'animal est légèrement près de terre si 0,50 < IPRT < 0,60.
Ratio corporel (RC)	HG / HS	- L'animal est descendu vers la croupe si RC > 1,05. - La ligne dorsale est droite si 0,95 > RC < 1,05. - L'animal est descendu à partir du garrot si RC < 0,95.
Développement thoracique (DT)	TP / HG	L'animal a un développement thoracique important si DT > 1,2.

L'étude des performances de croissance a concerné un effectif de 341 têtes (162 chevreaux et 179 chevrettes). Le contrôle de l'évolution de la croissance des chevreaux de la naissance jusqu'au sevrage est représenté par le poids vif et le gain moyen quotidien. Les caractères de croissance étudiés : le poids à la naissance, poids à 10jours, poids à 30jours et poids à 70jours. Les

poids aux âges-types ont été calculés par interpolation linéaire entre les pesées. Les gains moyens quotidiens (GMQ) de comparaison exprimés en gramme par jour réalisés entre naissance et 10jours, 10 et 30jours et entre 30 et 70jours. Les facteurs de variations étudiés sont : la taille de la portée, le sexe du chevreau, la saison de naissance, l'âge de la mère, le rang de mise bas et la race de la mère. Les données recueillies ont été saisies sur le logiciel Excel, après traitées par les méthodes d'analyse statistique des-criptive, les moyennes et les écarts-types au logiciel SPSS (version 20.0). Les analyses univariées et multivariées ont été effectuées à l'aide du système d'analyse statistique (SAS 9.4, 2014) et de SPSS version 24 (IBM SPSS 2016). Pour le contrôle de croissance, les données recueillies ont été saisies sur le logiciel Excel. Tous les chevreaux enregistrés ont été classés en quatre saisons (hiver, automne, printemps et été). Les naissances enregistrées ont également été classées en fonction de leur sexe. Le modèle GLM (General Linear Model) utilisé est le suivant : Yijk = m + Ai + Bj + Ck + eijk. Où les symboles de ce modèle sont : Yijk : les valeurs mesurées des Races (i), de la saison de mise bas (j) et du sexe (k), m : Moyenne des valeurs totales observées, Ai : Effet des Races (i = 4), Bj : Effet de la saison de mise bas (j = hiver, printemps, été et automne), Ck : Effet du sexe (mâles et femelles) et eijk : l'erreur résiduelle. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 9.3 (SAS Institute Inc. 2010). Les effets directs des différents facteurs sur les poids à différents âges ont été obtenus par une analyse ANOVA utilisant le PROCGLM.

RÉSULTATS

3.1. Paramètres de reproduction

Les paramètres de reproduction ont été évalués par l'enregistrement du nombre de chèvres mises en reproduction, celles ayant mis bas et le nombre de chevreaux nés.

Le tableau 2 rassemble les données sur les paramètres de repproduction. Les taux de prolificité, de fértilité vraie et apparente, de fécondité de la population locale de la commune sont faibles avec respectivement : 108,25% ; 78,24% ; 69,83% ; 75,59% et restent en dessous de ceux observés chez les caprins en conditions favorables.

Les avortements sont présents chez 65,71% des éleveurs avec un taux d'avortement de 28,42%. Les avortements se produisent à différents stades.

Le taux de mortalité global est très élevé (30,7%), chez les chèvres de plus de 2 ans et chez les jeunes de plus d'un an, il est égal à 15,17% et 9,36% respectivement. La mortalité élevée est observée en octobre pour la majorité des exploitations.

Tableau 2: Paramètres de reproduction du cheptel caprin de la commune Amskroud

Paramètres de reproduction	Pourcentage (%)
Taux de prolificité	108,25
Taux de fertilité vraie	78,24
Taux de fertilité apparente	69,83
Taux de fécondité	75,59
Taux d'avortement	28,42
Taux de mortalité des naissances	0
Taux de mortalité des jeunes < 1an	3,4
Taux de mortalité des jeunes > 1an	9,36
Taux de mortalité des femelles > 2ans	15,17
Taux de mortalité des mâles > 2ans	2,75

3.2. Caractérisation biométrique de la population locale caprine

Le cheptel caprin est hétérogène et composé principalement de 3 races locales : Atlas (Noire), Barcha et Ghazalia avec respectivement 57,40%, 22,30% et 8,37%.



Figure 1: Bouc Atlas



Figure 2: Chèvre Barcha



Figure 3: Bouc Ghazalia

Les moyennes arithmétiques des caractères morphologiques des chèvres par race sont présentées dans le tableau 3. Les mensurations corporelles suggèrent que les 3 races sont de petite taille. Leurs mesures sont similaires pour les trois races, avec un léger avantage pour la race Ghazalia pour la longueur des oreilles (LO) (14,1±1,6), le poids vif (PV) (19,1±4,5), le tour de poitrine (TP) (70,2±8,0) et la largeur du bassin (LB) (13,3±1,7). La moyenne la plus élevée pour la longueur des cornes (LCo) est enregistrée pour la race Atlas (17,3±6,3) tandis que la moyenne la plus élevée pour longueur du corps (LC) est observée chez la race Barcha (56,3±4,9).

Tableau 3 : *Moyennes ajustées ± écart-types et coefficients de variation (%) des caractères morphologiques quantitatifs par races et sexes*

SV	LC	HG	TP	LB	HS	PT	LO	LCo	PV
A	55,7 ± 4,9	63,1 ± 4,3	67,7 ± 6,4	12,6 ± 1,40	63,9 ± 4,3	26,7 ± 2,5	13,7 ± 1,7	17,3 ± 6,3	17,0 ± 4,4
	8,7	6,8	9,4	11,1	6,7	9,4	12,1	36,7	25,8
B	56,3 ± 4,9	63,1 ± 3,8	68,4 ± 6,6	12,8 ± 1,7	63,8± 3,8	26,6 ± 2,6	13,8 ± 1,5	16,6 ± 5,2	17,3 ± 4,0
	8,7	6,0	9,6	12,4	6,2	9,8	11,1	31,2	22,9
G	56,1 ± 6,1	63,2 ± 4,2	70,2 ± 8,0	13,3 ± 1,7	63,8± 4,7	26,9 ± 3,0	14,1 ± 1,6	16,1 ± 4,1	19,1 ± 4,5
	11,3	6,9	11,5	12,7	7,4	11,6	12,8	27,1	23,6
F	55,9 ± 5,1	62,9 ± 4,0	68,2 ± 6,9	12,8 ± 1,6	64,2± 4,1	26,6 ± 2,6	13,9 ± 1,6	16,1 ± 4,4	17,5 ± 4,3
M	56,4 ± 5,3	65,2 ± 5,3	68,5 ± 6,7	12,3 ± 1,3	68,1± 6,6	27,6 ± 3,2	13,4 ± 1,2	26,6 ± 9,4	18,2 ± 4,6

A : Atlas (Noire), B: Barcha, G: Ghazalia, F : femelle et M : Mâle, SV : source de variation, LC (cm) : longueur du corps, HG (cm) : hauteur au garrot, TP (cm) : tour de poitrine, LB (cm) : largeur du bassin, HS (cm): hauteur au sacrum, PT (cm): profondeur du thorax, LO (cm): longueur des oreilles, LCo (cm): lon-gueur des cornes, PV (kg): poids vif

Afin d'évaluer la variation au sein de la population caprine dans la zone d'étude, des indices biométriques ont été calculés à partir des traits morphométriques et sont présentés dans le tableau 4.

Les moyennes de l'indice de gracilité sous sternale (IGs) sont respectivement de 1,38±0,19; 1,39±0,17; 1,36±0,22 chez Atlas, Barcha et Ghazalia respectivement. Les valeurs moyennes de IGs chez les trois races sont variables et montrent une difference de taille et de conformation, ce qui indique une grande variabilité individuelle au sein de la population. Cet indice varie selon les localités. Indice de proportionnalité (IPRO) < 1 (presque similaire chez les deux races Barcha et Ghazalia (0,89) et (0,88) chez la race Atlas) ce qui es tune caractéristique du type viande. Indice corporel (IC) < 0,85 (0,83 chez Atlas et Barcha, 0,81 chez Ghazalia), ce qui indique que les chèvres sont majoritairement brévilignes. Indice auriculaire thorax (IAT) moyen est de 0,52 chez les deux races Atlas et Barcha et 0,53 chez la race Ghazalia. Indice de la profondeur relative du thorax (IPRT) est faible (42,35 (Atlas); 42,05 (Barcha); 42,69 (Ghazalia)), ce qui suggère qu'elles sont caracté-risées par de courtes pattes et que leur corps est proche du sol [13]. Indice hauteur (IH) chez les trois races étaient (1,14; 1,13 et 1,13) Atlas, Barcha et Ghazalia respectivement, ce qui suggère que ces races peuvent être classées comme endomorphes puisque la longueur du corps est inférieure à la hauteur du garrot. Indice des oreilles (IO) est de 21,88 (Atlas), 21,91 (Barcha) et 22,46 (Ghazalia). Ratio corporel (RC) chez les trois races étaient 0,99. Ces résultats sont intermédiaires 0,95 < RC < 1,2 (1,07 (Atlas), 1,08 (Barcha) et 1,11 (Ghazalia)), les caprins ont un développement thoracique moins important. Ils avaient une petite structure morphologique.

La plupart des indices biométriques ont montré une variation entre les races caprines de la zone d'étude.

Tableau 4 : *Indices biométriques calculés chez trois races de chèvres élevées dans la zone d'étude*

Race	Atlas				Barcha				Ghazalia				Total			
Indice	Moy	E.T	Var	C.V	Moy	E.T	Var	C.V	Moy	E.T	Var	C.V	Moy	E.T	Var	C.V
IGs	1,38	0,19	0,034	0,13	1,39	0,17	0,029	0,12	1,36	0,21	0,048	0,16	1,38	0,19	0,035	0,14
IAT	0,52	0,06	0,004	0,12	0,52	0,06	0,004	0,12	0,53	0,06	0,004	0,12	0,52	0,06	0,004	0,12
IC	0,83	0,08	0,006	0,09	0,83	0,07	0,005	0,09	0,81	0,1	0,010	0,12	0,82	0,08	0,007	0,1
IH	1,14	0,09	0,008	0,01	1,13	0,09	0,008	0,08	1,13	0,11	0,012	0,095	1,13	0,09	0,009	0,08
IPRT	42,43	3,25	10,58	0,01	42,05	2,96	8,73	0,07	42,7	3,86	14,90	0,090	42,33	3,31	10,94	0,08
IPRO	88,43	6,87	47,14	0,08	89,25	7,21	51,93	0,08	89,0	8,34	69,60	0,094	88,80	7,31	53,42	0,08
IO	21,88	2,87	8,24	0,13	21,91	2,39	5,96	0,11	22,46	2,76	7,63	0,12	22,01	2,71	7,37	0,12
RC	0,99	0,04	0,002	0,04	0,99	0,04	0,002	0,04	0,99	0,04	0,002	0,04	0,99	0,04	0,002	0,04
DT	1,07	0,09	0,008	0,08	1,09	0,09	0,01	0,09	1,11	0,11	0,01	0,10	1,09	0,01	0,01	0,09

Moy : Moyenne, E.T : Ecart-type, Var : Variance, C.V : Coefficient de variation
IGs : Indice de gracilité sous-sternale, IAT : Indice auriculaire thorax, IC : Indice du corps, IH : Indice de hauteur, IPRT : Indice de la profondeur relative du thorax, IPRO : Indice de proportionnalité, IO : Indice des oreilles ; RC : Ratio corporel ; DT : Développement thoracique

3.3. Performances de croissance

3.3.1. Variables de croissance

Les paramètres statistiques des variables de croissance étudiés sont présentés dans le tableau 5. Le poids à la naissance, le poids à 10 jours, le poids à 30 jours et le poids à 70 jours variaient respectivement de 1,43 à 2,76, 1,4 à 3,88, 2,05 à 5,41 et 2,87 à 9,55 kg. Les gains moyens quotidiens, GMQ 1 (0-30) et GMQ 2 (30-70) ont varié entre 20,8 à 108,97 et 21,3 à 128,72g respectivement. Pour les poids à l'âge type, les estimations du coefficient de variation (CV) varient de 16,21% à 23,17%, alors que pour le gain moyen quotidien, nous avons observé que les coefficients de variation sont plus élevés et sont égaux à 41,90% et 48,36% pour GMQ 1 (0-30) et GMQ 2 (30-70) respectivement.

Tableau 5 : *Statistiques descriptives des caractères mesurés (traits de croissance)*

Paramètres	N	Moy	Min	Max	E.T	CV (%)
PN (Kg)	341	1,98	1,43	2,76	0,32	16,21
P10j (Kg)	341	2,61	1,4	3,88	0,47	17,95
P30j (Kg)	331	3,75	2,05	5,41	0,74	19,81
P70j (Kg)	318	5,45	2,87	9,55	1,26	23,17
GMQ1 (g)	331	63,38	20,8	108,97	6,68	41,90
GMQ2 (g)	318	43,99	21,3	128,72	4,26	48,36

N : nombre, Moy : moyenne, Min : valeur minimale, Max : valeur maximale, E.T : Ecart-type, CV (%) : coefficient de variation, PN : poids à la naissance, P10j : poids à 10 jours, P30j : poids à 30 jours, P70j : poids à 70 jours, GMQ1 : Gain Moyen Quotidien (0-30 jours) et GMQ2 : Gain Moyen Quotidien (30-70 jours).

3.3.2. Facteurs de variation des performances de croissance

3.3.2.1. Influence de la race

L'analyse de la variance a montré un effet significatif pour P10j, P30j et un effet hautement significatif pour GMQ (0-30) et GMQ (30-70) (Tableau 6).

Tableau 6 : *Résultats de l'ANOVA (GLM)*

Facteurs	Ddl	PN	P10j	P30j	P70j	GMQ 1	GMQ 2
Race	3	0,78	3,02*	3,16*	1,16	4,58**	3,98**
SN	3	6,48***	6,60***	6,51***	8,25***	5,39**	7,46***
Sexe	1	3,51*	8,75**	4,69*	2,95	2,70	0,65
Erreur	333	-	-	-	-	-	-
Total	341	-	-	-	-	-	-

PN : poids à la naissance, P10j : poids à 10 jours, P30j : poids à 30 jours, P70j : poids à 70 jours, GMQ 1 : Gain Moyen Quotidien (0-30 jours) et GMQ 2 : Gain Moyen Quotidien (30-70 jours), SN : saison de naissance. (, **, ***) Significatifs aux niveaux de 0,05, 0,01 et 0,001 respectivement.*

3.3.2.2. Influence du sexe

Le tableau 6 et le tableau 7 montrent que le sexe des chevreaux a un effet significatif sur le PN et le P30j. Un effet hautement significatif pour le P10j. Cependant, le sexe des chevreaux n'avait pas d'effet significatif sur le P70j, le GMQ (0-30) et le GMQ (30- 70). Les poids standard des mâles étaient significativement plus élevés que ceux des femelles pour tous les caractères de croissance mesurés.

Tableau 7 : *Influence du sexe sur les caractéristiques de croissance (Moyenne ± Ecart-type)*

Sexe	N	PN (kg)	P70j (kg)	GMQ (30-70) (g)
1. Males	162	2,03±0,90 a	5,53±1,19 a	73,53±6,72 a
2. Femelles	179	1,94±0,93 b	5,39±1,30 a	68,61±3,85 a

N : Nombre, PN : Poids à la naissance, P70j : poids à 70 jours, GMQ: Gain Moyen Quotidien.

Les moyennes suivies de la même lettre (s) ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5%.

3.3.2.3. Influence des différentes saisons de naissance

La saison de naissance montre un effet hautement significatif (P<0,01) pour tous les paramètres de croissance analysés (Tableau 8). Le tableau 10 montre que la saison de mise bas a eu une influence significative sur le PN, le P70j et le GMQ (30-70). Pour tous les paramètres de croissance, les chevreaux nés pendant la saison des pluies et la saison douce avaient une croissance plus élevée que ceux nés pendant la saison sèche et chaude.

Tableau 8 : *Influence de la saison sur les caractéristiques de croissance (Moyenne ± Ecart- type)*

Saisons	N	PN (kg)	P70j (kg)	GMQ (30-70) (g)
1. Automne	108	2,16 ± 0,30 a	5,83 ± 1,24 a	49,26 ± 5,14 a
2. Hiver	157	2,24 ± 0,33 a	5,43 ± 1,33 a	44,16 ± 3,48 ab
3. Printemps	45	1,98 ± 0,29 a	4,90 ± 1,08 b	36,62 ± 6,27 c
4. Eté	31	1,79 ± 0,30 b	4,87 ± 0,56 b	40,31 ± 3,89 bc

N : Nombre, PN : Poids à la naissance, P70j : poids à 70 jours, GMQ: Gain Moyen Quotidien.

Les moyennes suivies de la même lettre (s) ne sont pas significativement différentes au niveau de probabilité de 5%.

DISCUSSION

Le taux de prolificité de la population locale est de 108,25% (Tableau 2), ce taux est principalement influencé par plusieurs facteurs dont l'alimentation. Les résultats de prolificité obtenus chez les races locales dans d'autres régions du Maroc sont presque similaires et varient de 100 à 110% [14]. Le taux de fertilité réel de la population locale est faible avec 78,24%, tandis que la fertilité apparente est de 69,83% (Tableau 2). Ce taux est similaire à celui trouvé par Anjar et al, [15] au Maroc oriental (78%) et celui rapporté par Lafdaili [2] dans la région de Dakhla (79%). En revanche, elle est supérieure à celle obtenue par [16] dans les hauts plateaux de l'Est (74%) et faible par rapport à ceux rapportés par [17] dans le nord du Maroc et en Andalousie 93,1 % et 89,0 % respectivement. Le taux de fécondité observé est très bas (75,6 %). Les avortements sont retrouvés chez 65,71% des éleveurs enquêtés avec un taux d'avortement de 28,42% (Tableau 2). Les avortements se produisent à différents stades. Parmi les causes d'avortement le déséquilibre nutritionnel et les accidents au niveau du troupeau. Le taux de mortalité global est très élevé (30,7%), chez les chèvres > 2 ans et chez les chevreaux et chèvres > 1 an est égal à 15,17% et 9,36% respectivement (Tableau 2). Une forte mortalité est observée en octobre dans la majorité des élevages. Les causes de cette mortalité sont multiples, dans la plupart des cas résulte d'un régime alimentaire inadapté et le froid surtout pour les chevreaux et les chèvres. L'évaluation des performances des élevages caprins extensifs du Nord a montré des estimations variables du taux de mortalité moyen des jeunes égal à 16,2 % [18] et 27,12 % [17]. Selon une étude réalisée auprès de 70 éleveurs caprins de la commune rurale d'Aït Bazza dans le Moyen Atlas, un taux de mortalité est de 25,30 %, pouvant varier selon les éleveurs de 5 à 90 % [19]. Dans la région de Ouarzazate, les pertes caprines déclarées sont estimées à 16% et peuvent parfois atteindre plus de 30% [14]. Au Maroc, le taux de mortalité global est très élevé (plus de 35 %) par rapport au système d'élevage en Andalousie (7 %) ou au système d'élevage français (4 %) [20]. Ces taux de mortalité élevés sont généralement dus à des conditions d'élevage inadaptées et à une faible utilisation des services vétérinaires.

Les mensurations des trois races étudiées Atlas, Barcha et Ghazalia étaient de petite taille. Les valeurs des paramètres quantitatifs obtenues sur ces trois races étaient intermédiaires entre les valeurs rapportées par [21] et celles de [9] pour les mêmes races et d'autres races caprines marocaines. En utilisant les mesures morphologiques, certains indices biométriques ont été calculés. On constate que l'indice sous sternale (IGs) moyen de la population caprine est supérieure à celui des chèvres du Nord du Maroc (1,13 chez les mâles et 1,19 chez les femelles) [22]. Les caprins de Sud Est d'Algérie (1,21 chez les femelles et 1,18 chez les mâles) [23]. Inférieure à celui observé par [11] de deux sous-populations (chèvres de taille intermédiaire et grande taille) au Tchad (1,48 et 1,56 respectivement). Indice de proportionnalité (IPRO) de cette étude est < 1 (prédominance de la longueur du corps sur la hauteur du corps), indique que le corps de la race a tendance à être rectangulaire, ce qui est une caractéristique du type de viande. Ce résultat est conforme avec les chèvres du Nord du Maroc (0,96 chez les mâles et 0,93 chez les femelles) [22], par contre, inférieur à celui des chèvres AM de la même région (1,03) [24]. Indice corporel (IC) dans la présente étude IC < 0,85 d'où les animaux sont brévilignes. Contrairement à celui trouvé par [9] pour les mêmes races Atlas et Barcha (IC > 0,90 ; les animaux sont longilignes). IC des populations caprines dans AMZ et MA de sud Ethiopie sont classées comme médiolines (≥0,85 et ≤0,89) [24]. Alors que dans la région de Maradi la chèvre rousse se présente sous deux formats longiligne et bréviligne [25]. Indice auriculaire thorax (IAT)

moyen est de 0,52 chez les deux races Atlas et Barcha et 0,53 chez la race Ghazalia. Les valeurs chez les races Atlas et Barcha sont égaux à celui observé chez les chèvres du Nord Cameroun (0,52), par contre faibles à celui de deux sous-populations (chèvres de taille intermédiaire et grande taille) au Tchad (0,75) [11], alors qu'il est supérieur à celui du même chèvre (0,44) rapporté par [25]. Indice hauteur (IH) chez les trois races étaient (1,14 ; 1,13 et 1,13) Atlas, Barcha et Ghazalia respectivement. Ces valeurs sont supérieures par rapport aux résultats de [9] pour les mêmes races Atlas et Barcha (1,14 ; 1,13 vs <1) et celui de [26] pour les chèvres d'Algérie (IH est proche de 1). Indice des oreilles (IO) moyen est de 21,88 chez la race Atlas, 21,91 chez la race Barcha et 22,46 chez la race Ghazalia. On constate donc que les caprins de cette zone avaient des oreilles moyennement longues (pendantes). D'après [27], les oreilles pendantes représentent un mécanisme de défense contre les pics de la chaleur ; ce qui pourrait offrir des régions de refroidissement du sang avant son arrivée au cerveau qui reste la partie la plus protégée du corps. Ratio corporel (RC) moyen est compris entre 0,95 et 1,05 pour les trois races (0,99). Il est de même pour celui observé chez les chèvres d'Algérie (variant de 0,94 à 1,00 selon 4 régions : Souk Ahras, El-Tarf, Jijel et Guelma) [28]. Développement thoracique (DT) dans cette étude était < 1,2 pour les trois races (1,07 Atlas, 1,08 Barcha et 1,11 chez Ghazalia) respectivement. Le développement thoracique de ces races est moins important. Ces résultats se rapprochent de ceux de [29] qui ont rapporté une valeur de 1,08 pour les chèvres femelles du Central Highland dans le sud de Wollo ; faibles à celui observé chez les chèvres Kacang de Jambi Indonésie (1,32) [30]. Alors qu'il est significativement différent entre les 4 régions d'Algérie (Souk Ahras, El-Tarf, Jijel et Guelma variant de 1,00 et 1,20) [28]. Le sexe influence significativement sur toutes les mesures corporelles linéaires dans cette étude. Les mâles étaient significativement plus élevés que ceux des femelles pour tous les caractères mesurés sauf pour la largeur du bassin (LB) et la longueur des oreilles (LO). [9] ont déclaré des différences morphologiques significatives entre les moyennes de population des races Barcha et Atlas, avec un petit avantage pour cette dernière. Ces différences n'étaient pas attendues puisque les deux races présentaient des caractéristiques phénotypiques très similaires et étaient considérées pendant longtemps comme appartenant à la même population noire. Ces observations se rapprochent de celles de [31], alors que [32] ont trouvé que les différentes mensurations corporelles étaient en faveur des femelles. Par contre, ces résultats sont contraires à ceux de [33], [28] affirment que le sexe n'influence pas significativement le gain de poids ni les autres paramètres mesurés. [34] ont déclaré que l'influence du sexe sur le poids corporel et les traits morphométriques est probablement liée à l'action hormonale entre les sexes habituels qui conduit à des taux de croissance différentiels.

MISE EN PLACE D'UN SCHÉMA DE SÉLECTION

La production de viande caprine est une source importante de revenus pour la population de cette région. Cette production est basée exclusivement sur des races locales en raison de leur adaptation à des conditions climatiques défavorables et à l'élevage extensif. L'amélioration de la production nécessite une évaluation de la variabilité des caractères liés à la croissance des animaux et la sélection des chevreaux les plus performants. La mise en place d'un schéma de sélection nécessite des moyens humains et matériels

considérables:

- Renforcement du rôle des organisations professionnelles dans le développement de l'élevage caprin. Un cadre de partenariat pour le développement de la filière caprine dans la commune et l'incitation à l'investissement et de la formation et l'encadrement technique des éleveurs afin de déterminer les objectifs de l'amélioration génétique et donc une stratégie à suivre.
- Contrôle de performances par la collecte des mesures pour une meilleure efficacité de selection (la réponse à la selection): acquisition des caprins de races perfor-mantes.
- Optimiser les programmes de selection: éleveurs reproducteurs-sélectionneurs.
- Introduction de l'insémination artificielle, le transfert d'embryons et la su-per-ovulation au niveau de la zone et élevages particuliers avec un laboratoire de l'IA caprine Opérationnel (partenariat avec l'ANOC) améliorant la diffusion du progrès génétique.
- Améliorer les aptitudes laitières des mères afin d'améliorer les performances de croissance des chevreaux. Aussi sélectionner directement sur la croissance des chevreaux.

CONCLUSIONS

Les paramètres de reproduction et de croissance des troupeaux caprins enregistrés dans cette étude sont relativement faibles par rapport à celles observées dans d'autres races et dans des conditions plus favorables. L'amélioration des conditions techniques

d'élevage et la sélection d'individus plus efficaces pour les caractères de croissance sont essentielles pour améliorer la productivité dans cette région. L'étude des caractéristiques biométriques a montré une différence très significative et un haut degré d'hétérogénéité entre les races. Les indices morphométriques suggéraient la classification des chèvres de la zone d'étude en tant que chèvres de petite taille, bréviligne, endomorphe, un format morpho-biométrique adapté à la production de viande. L'analyse statistique des traits morphométriques contribuera à définir un standard morphologique de race de chèvre et à guider les programmes d'amélioration génétique. La réalisation du programme de sélection est nécessaire puisqu'elle préserve mieux la diversité des races locales et qui vise à améliorer la durabilité et la rentabilité économique des élevages caprins à base de race locale.

Remerciements : Ce travail a été réalisé avec la collaboration d'éleveurs de chèvres de la localité d'Amskroud à Agadir au Maroc. Nos sincères remerciements à tous les éleveurs de chèvres pour leur participation volontaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Hamdi Pacha Youcef. Ressources génétiques animales en Algérie, 11èmes Journées Internationales des Sciences Vétérinaires, 2013, p. 4.

2. Lafdaili, M.; Agdim, H.; Falaki, M.; Mounsif, M.; Mokhtari, N. et Keli, A. Conduite des élevages caprins dans le sud du Ma-roc: Cas de la région de Dakhla. In: Napoléon e M. (ed.), Ben Salem H. (ed.), Bouton n et J.P. (ed.), López-Francos A. (ed.), Ga-biña D. (ed.). The value chains of Mediterranean sheep and goat products. Organisation of the industry, marketing strategies, feeding and production systems. Zaragoza: CIHEAM, Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; N°. 115, 2016; pp. 453-458. http://om.ciheam.org/om/pdf/a115/00007314.pdf

3. ORMVA. Office Régional De Mise En Valeur Agricole de la region Souss Massa, Agadir. Maroc, 2015.

4. Boujenane, I. Eléments de réflexion sur l'amélioration génétique des caprins au Maroc. *L'éleveur, Spécial Caprin,* 16, 2008, pp. 58-60.

5. Benlekhal, A. L'élevage caprin: Acquis de recherche, stratégies et perspectives de développement, INRA, 1ère journée de re-cherches sur les ruminants, 2011.

6. FAO. Agricultural Statistics, Rome, Italy, 2005.

7. Mahammi, F. Z. Caractérisation phénotypique et moléculaire des populations de poules locales (Gallus gallus domesticus) de l'Ouest Algérien. Thèse. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf ». Algérie, 2015.

8.FAO. FAO stat 2020. Statistics data base (2020). FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). https://www.fao.org/faostat/en/#data.

9. Boujenane, I.; Derqaoui, L.; Nouamane, G. Morphological differentiation between two Moroccan goat breeds. *Journal of Live-stock Science and Technologies*, 4 (2), 2016, pp. 31-38. https://lst.uk.ac.ir/article_1515_0.html.

10. Amazougrene, S. Etude des performances zootechniques et caractérisation des populations et races caprines en région saha-rienne. I.N. R.A. 2007.

11. Bourzat, D.; Zafindrajaona Souvenir, P.; Lauvergne, J. J.; et Zeuh, V. Comparaison morpho-biométrique de chèvres au Nord Cameroun et au Tchad. *Revue Elev. Méd. Vét. Pavs trop*., 46(4), 1993, pp. 667-674.

12. Zeuh, V.; Lauvergne, J.J.; Bourzat, D.; Minvielle, F. Cartographie des ressources génétiques caprines du Tchad du Sud-Ouest. I. Hauteur au garrot (HG), profondeur de thorax (PT) et indice de gracilité sous-sternale (IGs). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux,* 50 (3), 1997, pp. 250-260.

13. Chacón, E.; Macedo, F.; Velázquez, F.; Rezende Paiva, S.; Pineda, E.; Mc Manus, C. Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. R. Bras. *Zootec.*, Vol. 40, N° 8, 2011, pp. 671-1679. www.sbz.org.br.

14. Ezzahiri, A.; El Maghraoui, A.; Benlekhal, M.; Ouchtou, M. Goat farming in the Ouarzazate region. *Proceeding of the seminar on goat breeding in Morocco*: Problems and Possibilities of Developmen, 1989. p. 31.

15. Anjar, A.; Mounsif, M.; Mokhtari, N.; Keli, A. Conduite des élevages des petits ruminants dans la zone centre-est du Maroc : cas de la commune rurale de Tissaf de la province de Boulemane. Options Méditerranéennes: Série A. Zaragoza: CIHEAM / INRAM / FAO, 2014, pp. 403-408. http://om.ciheam.org/ompdf/a108/00007658.pdf.

16. Amanoune A. Study of breeding systems and visible genetic profiles in goats in the Eastern highlands. Postgraduate thesis in agronomy. Option: Animal production. ENA Meknes. 2006.

17. Chentouf, M.; Molina, F.A.; Boulanouar, B.; Mesbahi, H.; Terradillos, A.; Caravaca, F.; Casas, C.; Bister, J. L. Characterization of semi-extensive goat production systems in Andalusia and northern Morocco: Comparative analysis. Alteração dos modos

de produção e evolução dos sistemas de produção de ovinos e caprinos no inicio do sec, 13 (XXI), 2008. https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Azevedo/publication/234163258.

18. Chentouf, M.; Ben Bati, M.; Zantar, S.; Boulanouar, B.; Bister, J. L. Evaluation of the performance of extensive goat farming in northern Morocco. In Technical- Economic Analysis of Sheep and Goat Production Systems: Methodology and Valorization for Development and Forecasting; Mena, Y., Castel JM, Morand Fehr P, Eds.; CIHEAM/FAO/Universidad de Sevilla: Zara-goza, Spain, 2006, pp. 87-93. http://webagris.inra.org.ma/doc/chenttouf00061.pdf.

19 .Nassif, F.; El Amiri, B.; Cohen, N. L'élevage caprin à viande au Maroc. Opportunités et perspectives (Cas du caprin d'Ait Bazza). *Transfert de technologie en agriculture*. Bulletin mensuel d'information et de liaison, N° 193, 2011, pp. 1-7.

20. Ruiz, FA.; Mena, Y.; Castel, J. M.; Guinamard, C.; Bossis, N.; Caramelle-Holtz, E.; Contun, M., Sitzia, M.; Fois N. Dairy goat grazing systems in mediterranean regions: A comparative analysis in Spain, France and Italy. *Small Ruminant Research*, 85(1), 2009, pp. 42-49. https://pubag.nal.usda.gov/catalog/763989.

21. Ibnelbachyr, M.; Boujenane, I.; Chikhi, A. Morphometric differentiation of Moroccan Draa indigenous breed based on multi-variate analysis. *Animal Genetic Resources (57)*, 2015, pp. 81–87. Doi: 10.1017/S2078633615000296. http://www.researchgate.net/profile/Jigma_Dorji/publication/282634701.

22. El Moutchou, N.; Gonzalez, A. M.; Chentouf, M.; Lairini, K.; Rodero, E. Morphological differentiation of Northern Morocco goat. *Journal of Livestock Science and Technologies,* 5(1), 2017. pp. 33-41. Doi: 10.22103/jlst.2017.1662. http//lst.uk.ac.ir.

23. Aissaoui, M.; Degnouche, K.; Boulakhrasse, Z.; Boukhalfa, H. Performances de croissance en pré-sevrage des chevreaux de la race Alpine élevés dans les conditions arides du Sud-Est Algérien. *Revue Agrobiologia 9(1)*, 2019, pp. 1439-1448.

24. Dereje, Dea; Aberra, Melesse; Yoseph, Mekasha. Application of Morphometric Traits and Body Indices in Assessing the Type and Function of Local Goats Reared in Two Districts of Gamo-Gofa Zone, South Ethiopia. *Eth. J. Anim. Prod. 19(1)*, 2019, pp. 73-90.

25 .Karimou, B.H. Caractérisation phénotypique et zootechnique de la chèvre rousse de Maradi. Thèse. Université Abdou Mou-mouni. Faculté d'Agronomie. Niamey. Niger, 2015.

26. Khelifi, Nadjet-Amina. Connaissance et caractérisation des populations caprines en Algérie. Thèse. Université Saad Dahlab de Blida 1. Algérie, 2015.

27. Najari, S.; Gaddour, O.; Abdennebi, M.; Ben Hammouda, M.; Khaldi, G. Caractérisation morphologique de la population caprine locale des régions arides tunisiennes. *Revue des régions arides.* N°17, 2006, pp. 23-41.

28. Sahi, S.; Afri-Bouzebda, F.; Bouzebda, Z.; Djaout, A. Étude des mensurations corporelles de caprins dans le Nord-Est algé-rien. *Livestock Research for Rural Development,* 30 (8), 2018.

29. Chiemela, P.N.; Banerjee, S.; Taye, M.; Egbu, C.F.; Ugbo, E.H.; Akpolu, E.S.; Umanah, I.J. Structural indices of Boer, Central highland and their F1 Crossbred goats reared at Ataye farm, Ethiopia. *Journal of Agriculture and Research* (2), 2016, pp. 1-19.

30. Depison, D.; Putra Widiya, P. B.; Gushairiyanto, G.; Alwi, Y.; Suryani, H. Morphometric characterization of Kacang goats raised in lowland and highland areas of Jambi Province, Indonesia. *Journal of advanced veterinary and animal research.* Vol 7, N° 04, 2020, pp. 734–743. http://bdvets.org/javar/

31. Traoré, A.; Tamboura, H.; Kaboré, A.; Yaméogo, N.; Bayala, B.; Zaré, I. Caractérisation morphologique des petits ruminants (ovins et caprins) de race locale "Mossi" au Burkina Faso. *Animal Genetic Resources Information.* 39, 2006, pp. 39-50.

32. Ojedapo, L O; Adedeji, T. A; Olayeni, T.B; Adedeji, O. S; Abdullah, A. R; Ojebiyi, O. O. Influence of age on body weight and some body linear measurements of extensively reared WAD Goats in derived savannah zone of Nigeria. *Journal of animal and veterinary advances,* 6 (1), 2007, pp. 114-117.

33. Kalenga, H. K.; Vandenput, S.; Antoine-Moussiaux, N.; Moula, N.; Kashala, J. C. K.; Farnir, F.; Leroy, P. Amélioration géné-tique caprine à Lubumbashi (RDC): 3. Analyse de la croissance de chevreaux hybrides F1 Boer x race locale. *Livestock Re-search for Rural Development* 27 (12), 2015.

34. Okpeku, M.; Yakubu, A.; Peters, S. O.; Ozoje, M. O.; Ikeobi, C. O. N.; Adebambo, O. A.; Imumorin, I. G. Application of multi-variate principal component analysis to morphological characterization of indigenous goats in Southern Nigeria. *Acta argi-culturae Slovenica,* 98/2, 2011, pp. 101–109. Doi: 10.2478/v10014-011-0026-4.

Conservation de l'écosystème arganeraie grâce à la transplantation d'arganiers adultes

Hamza El Ghazali[1], Noureddine Benoada Telmçani[2], Salma Daoud[3] et Chérif Harrouni[1*].

[1] *Département Paysage et Environnement, IAV Hassan II, Agadir ;*

[2] *Département Environnement et Ressources Naturelles, IAV Hassan II, Rabat ;*

[3] *Département de biologie, Université Ibn Zohr, Agadir ;*

**c.harrouni@iav.ac.ma*

RÉSUMÉ

Ce travail concerne la transplantation d'arganiers adultes dans un objectif de conservation de cette espèce du patrimoine végétal marocain. Des expériences ont été menées en appliquant aux arbres divers traitements tels que le rabattement, la taille, l'élagage. Des dispositifs ont été installés pour suivre la croissance de la tige et le taux d'humidité du sol. Les résultats ont montré que la transplantation d'arganiers adultes est possible avec des taux considérables. En revanche, elle nécessite une manipulation minutieuse avant et après la transplantation. Les résultats de cette étude démontrent que la conservation de l'arganier est faisable grâce à la transplantation sachant que le rabattement total de la couronne et le choix de la saison aboutissent à des taux de reprise qui dépassent 70 %. Il est bien évident que l'arrosage d'appoint constitue un facteur clé pour l'optimisation des taux de survie.

Mots clés
Arganier adulte, Taille, Transplantation, Irrigation, Saison

ABSTRACT

Conservation of the argan forest ecosystem through the transplantation of adult argan trees

This work focuses on the transplantation of adult argan trees with the aim of conserving this species, a key component of Morocco's plant heritage. Experiments were conducted by applying various treatments to the trees, such as pruning, trimming, and lopping. Devices were installed to monitor stem growth and soil moisture levels. The results showed that the transplantation of adult argan trees is possible with significant success rates. However, it requires careful handling before and after transplantation. The study demonstrates that conserving the argan tree is feasible through transplantation, with total crown reduction and the choice of the appropriate season leading to survival rates exceeding 70%. Supplemental irrigation is clearly a key factor in optimizing survival rates.

Keywords
Adult argan tree, Pruning, Transplantation, Irrigation, Season

INTRODUCTION

La préservation des espèces endémiques est une question cruciale pour les pays qui ont le souci de s'engager dans la voie du développement durable. L'arganier est une espèce endémique du Maroc connu pour son importance écologique, économique et culturelle [1]. Cependant, ses écosystèmes sont menacés en raison de plusieurs facteurs tels que le surpâturage, la déforestation, le changement climatique [2] et le développement socioéconomique. Des efforts de transplantation doivent être déployés pour la récupération des arbres destinés à l'abattage dans le cas où on ne peut pas faire autrement pour les préserver. Malgré la reconnaissance de la forêt d'arganiers comme réserve de biosphère, ce patrimoine naturel continue d'être menacé par la pression anthropique accentuée par les effets du changement climatique [3]. Au cours du XXème siècle, la forêt d'arganiers a connu une dégradation importante, passant de 300 arbres/

ha au tournant du siècle à moins de 100 arbres/ha dans les années 1990, soit une perte des 2/3 du patrimoine naturel [4]. Cette dégradation continue est principalement due à des facteurs anthropiques, notamment l'exploitation du bois pour les besoins domestiques, l'agriculture, le surpâturage, l'extraction de matériaux et l'urbanisation. Le changement climatique avec ses conséquences sur la pluviométrie et les températures a certainement exacerbé la situation. Le présent travail porte sur la transplantation d'arganiers adultes destinés à l'arrachage à cause d'un projet d'exploitation pour la fabrication de ciment. Cet article met en évidence l'effet de différents types de taille sur le taux de reprise d'arganiers à l'issue de transplantations effectuées à différentes saisons.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les arganiers destinés à être transplanté ont été identifiés sur le site de la carrière d'exploitation où ils occupaient l'espace qui dédié à l'extraction de la roche calcaire. Ces arbres qui étaient visiblement d'âges différents, avaient des aspects morphologiques. Certains avaient de grosses tiges avec des couronnes bien fournies, d'autres avaient des canopées sur plusieurs tiges tandis que d'autres étaient prostrés formant une masse de branches et de feuillage au niveau du sol. Pour évaluer l'effet de la réduction de la canopée sur la reprise après transplantation, les arganiers ont subi différents types de taille, ce qui a également facilité la manutention durant le processus de transplantation (excavation, arrachage, transport et replantation dans le site récepteur). Les interventions ont été appliquées selon la forme de chaque arbre. Il s'agissait soit de tailler le spécimen pour réduire la croissance excessive, soit de le tailler pour l'amener à une forme équilibrée, soit de couper complètement les branches ne laissant que le tronc ou le tronc avec quelques charpentières. Pour chaque saison, 30 à 40 arganiers ont été transplantés. Il convient de noter qu'avant d'extraire les plantes, le côté orienté au nord était indiqué par un jet de peinture afin de garder la même orientation au moment de la replantation. Avant d'excaver les arbres sur la carrière, un trou d'un m3 a été préparé sur le site récepteur pour chaque arbre, partiellement rempli de terre végétale et abondamment arrosé avant de recevoir les d'arganiers. Le choix des arbres a été fait selon l'espace à dégager pour l'exploitation de la roche. Les tailles appliquées étaient comme suit :

- Elagage : Elimination des surcroissances en coupant certaines branches ;
- Taille : Elimination des branches mortes et de celles qui se croisent, dégagement du centre de l'arbre ;
- Rabattement de la couronne : Elimination de la totalité des branches et du feuillage.

Au cours de la transplantation estivale (juillet 2020), 23 arbres ont été rabattus, 6 élagués et 11 taillés tandis que pour l'opération d'hiver (décembre 2020), 7 ont été rabattus, 21 taillés et 12 élagués. Pour l'opération du printemps, 6 arbres ont été rabattus, 14 élagués et 19 taillés alors que pour la transplantation de l'automne, 11 ont été rabattus, 10 élagués et 10 taillés. Les différences d'effectifs entre les traitements sont dues aux variabilités des formes des arganiers sur le site de la carrière d'extraction.

Une fois que les arganiers ont été mis dans les trous de plantation, le sol a été remis et bien tassé autour des racines pour assurer une bonne adhérence et l'ancrage des plantes. Après chaque replantation, les plantes ont été abondamment arrosées. Par la suite, un arrosage régulier a été appliqué selon les besoins. Un mulch de gravier de 10 cm d'épaisseur a été disposé pour couvrir les cuvettes d'irrigation confectionnées autour des arbres. Ces impluviums ont été désherbés (le cas échéant) pour éviter toute compétition avec les mauvaises herbes. L'eau était apportée par camion-citerne qui s'approvisionnait d'un puits dont l'eau convenait à l'irrigation.

Les essais se sont déroulés sur 4 saisons : l'été et l'hiver de 2020) et le printemps et l'automne de 2021. La transplantation estivale a été réalisée au cours du mois de juillet 2020 sur une période de 15 jours pour éviter les journées de canicule. Le sol est peu profond dans les montagnes où les affleurements rocheux sont le paysage prédominant, ce qui justifie évidemment l'emplacement de la carrière. L'usine de fabrication de ciment est située dans la plaine au pied des monts de l'Anti-Atlas où le sol est profond, dépassant largement un mètre. Étant donné la nature rocheuse du sol sur le site de la carrière, il était impossible d'extraire les arbres avec des mottes de racines. Par conséquent, tous les arganiers ont été transplantés avec des racines nues. C'est pour cette

raison qu'elles ont été soigneusement sectionnées pour éviter la pénétration de pathogènes par les échancrures causées au moment de l'excavation ou pendant l'arrachage. Le sol sur lequel les arganiers poussent dans la carrière et celui du site récepteur ont été préalablement analysés pour leur caractérisation physicochimique. Ces sols ont une texture sablo-limoneuse, un ph alcalin et une faible conductivité électrique. La teneur en calcium est très élevée et les autres éléments sont présents dans des proportions conformes à la plaine du Souss. Dans le sol du site récepteur, la teneur en matière organique était faible alors qu'elle était normale dans le sol de la carrière. Les précipitations et autres données météorologiques ont été obtenues à partir d'une station météorologique appartenant à une ferme située pas loin du site expérimental. Au cours de la période expérimentale, les données climatiques sont celles d'une année moyenne en termes de précipitations : 135 mm de juillet à décembre 2020 et 260 mm en 2021. Des pluies importantes sont tombées d'octobre 2020 à février 2021 mais sans aucune consistance, illustrant l'irrégularité du climat local. Les températures maximales mensuelles moyennes ont fluctué de 21 °C en hiver à 35 °C en été. Les températures minimales mensuelles moyennes ont fluctué entre 5 °C en hiver et 19 °C en été. Il faut toutefois noter que durant le mois de juillet 2020, des températures assez extrêmes ont été enregistrées dépassant souvent les 45 °C. L'humidité relative de l'air (HR) était en moyenne assez élevée. La moyenne mensuelle des HR maximales était supérieure à 80 %, tandis que la moyenne mensuelle des HR minimales a fluctué entre 27 et 55 %. L'évapotranspiration de référence était relativement élevée : 850 mm entre juillet et décembre 2020 et 1712 mm en 2021.

3. RÉSULTATS

3.1. Taux de survie

La reprise des arganiers transplantés à diverses saisons est illustrée sur le tableau 1 qui montre le taux de survie par saison et par traitement appliqué.

Tableau 1. Taux de reprise des arganiers transplantés selon les saisons et les types de taille

Types de taille / Saison	Elagage	Taille	Rabattement	Total
Eté 2020	33,33%	54,54%	73,91%	62,50%
Hiver 2020	33,33%	47,62%	85,71%	50,00%
Printemps 2021	07,14%	00,00%	50,00%	10,25%
Automne 2021	60,00%	50,00%	72,72%	61,29%
Total (%)	30,95 %	34,42 %	72,34 %	45,33%

3.2. Effet du type de la taille sur la reprise

Au total, 150 arganiers ont été transplantés sur les 4 saisons ; 28% des arbres ont subi un élagage, 40,7% une taille de formation et 31,3% ont été totalement rabattus. Les arbres rabattus ont donné les meilleurs taux de reprise quelle que soit la saison de transplantation. Le tableau 2 montre les taux de reprise des arbres rabattus en comparaison avec les autres types de taille pour chaque saison.

Tableau 2. Taux de reprise des arganiers rabattus par rapport aux autres types de taille

	Arganiers rabattus		Arganiers non rabattus		Taux moyen
Saison	Reprise	Taux	Reprise	Taux	
Eté	17/23	73,91%	8/17	47,05%	62,50%
Hiver	6/7	85,71%	15/33	45,45%	52,50%
Printemps	3/6	50,00 %	2/33	6,06%	12,82%
Automne	8/11	72,72%	11/20	55,00%	61,29%

Les arganiers transplantés en été ont atteint un taux de reprise de 62,5 % (Tableau 2). Cependant, les arbres totalement rabattus ont eu un taux de reprise plus élevé par rapport aux autres traitements : 72,34% contre 34,42% et 30,95 % respectivement pour les arbres taillés et élagués. En hiver, les arganiers transplantés avaient un taux de survie moyen (52,5%), mais ceux qui avaient été rabattus avaient un taux de reprise élevé atteignant près de 86% (Tableau 2). Les arbres élagués et taillés présentaient des taux de reprise plus faibles (33,33 et 47,62% respectivement). L'analyse statistique effectuée sur les facteurs étudiés séparément a montré qu'ils n'avaient pas d'effet significatif sur la reprise.

DISCUSSION

Les arganiers qui étaient destinés à la destruction lors des excavations pour l'exploitation de la roche calcaire ont été récupérés et plantés dans l'enceinte de l'usine de fabrication de ciment, située dans la plaine, non loin de la carrière. Il n'y avait donc pas de choc édaphoclimatique vu que les caractéristiques du milieu n'ont pas changé pour les arbres transplantés. Miyasaka et Hamasaki [5] ont observé que la croissance semble être associée à la préférence de l'espèce pour son habitat naturel. Les espèces qui s'adaptent et augmentent leur croissance en réponse à l'irrigation sont généralement des plantes indigènes [5]. Afin de garantir la survie après la transplantation, la porosité du sol et sa teneur en air ainsi que sa capacité de rétention d'eau et sa disponibilité sont primordiales [6]. La prédominance des fractions sablonneuses et grossières (70%) dans le sol est un atout pour une porosité optimale, tandis que la combinaison du limon fin et de l'argile sont précieuses pour la rétention de l'eau si importante dans des conditions arides. Les analyses de l'eau ont montré qu'elle est de bonne qualité pour l'irrigation, en particulier la faible conductivité électrique qui la caractérise. Les conditions climatiques signalées sont typiques d'un contexte thermo-méditerranéen avec de faibles précipitations. Les précipitations enregistrées étaient insuffisantes pour répondre aux besoins des arganiers transplantés, d'où la nécessité d'une irrigation supplémentaire.

La transplantation a été effectuée pendant l'été et l'hiver 2020 et au printemps et à l'automne de 2021 en appliquant trois interventions différentes sur les arbres avant de les extraire. Les résultats montrent que le rabattement total de la couronne et du feuillage est le traitement le plus efficace vu les taux de reprise obtenus (Tableau 1) : 73,91 et 85,71% respectivement pour les transplantations d'été et d'hiver. Cela peut s'expliquer par la diminution de la surface foliaire, réduisant ainsi considérablement le taux d'évapotranspiration et donc la dépendance vis-à-vis de l'eau lors de la production d'un nouveau système radiculaire [7]. L'accès à l'humidité est considéré comme le principal facteur limitant pour les plantes nouvellement transplantées [7]. En fait, comme précisé plus haut, en raison de la nature rocheuse du substrat sur le site de la carrière, les arganiers ont été transplantés à racines nues et parfois avec juste des moignons subsistant de grosses racines. En l'absence de racines originales, la plante est soumise à la sécheresse même lorsque le sol est bien arrosé [7]. Il a été expliqué que les arbres transplantés maintiennent un équilibre délicat entre la surface foliaire nécessaire à la photosynthèse, la repousse des racines dans le sol et le volume racinaire nécessaire à l'absorption de l'eau. Ils équilibrent la demande de transpiration de la surface des feuilles avec la perte des racines en réduisant le nombre et la taille des feuilles, en particulier dans les arbres qui ont une perte importante des racines [6]. Dans le cas des arganiers rabattus, toute la canopée a été enlevée, éliminant ainsi toute évapotranspiration à travers les feuilles. L'humidité du sol a donc pu être conservée pour la régénération des racines. Dans les environnements secs où un arrosage régulier est nécessaire, les arbres transplantés ont besoin de moins d'eau en fonction de la surface foliaire, mais nécessitent un arrosage plus fréquent pour garder le sol humide, ce qui permet de nourrir le système racinaire plus petit et de former de nouvelles racines [8]. La régénération rapide du système racinaire des arbres transplantés est essentielle à la survie et à la croissance. Les déficits hydriques se développent souvent car l'équilibre naturel entre la surface absorbante des racines et la surface des feuilles qui transpirent est perturbé [9]. Par conséquent, le taux de reprise est amélioré en fonction de quantité de surface foliaire éliminée. Certaines études appuient la recommandation générale de réduire la canopée au moment de la transplantation, puisque de toute façon, l'arbre compense la perte des racines en produisant moins de surface foliaire. De plus, la réduction de la surface foliaire équilibre

l'assimilation du carbone avec la production de nouvelles racines et la restauration de l'arbre [8]. La croissance peut être réduite pendant les périodes sèches, principalement en raison de la faiblesse du système racinaire, mais aussi en raison du ralentissement de la photosynthèse [8]. Si l'irrigation n'est pas suffisante dans ces conditions de sécheresse, la réduction de la taille de la couronne implique que les arbres transplantés ont besoin de moins d'eau pour compenser la perte de racines, ce qui contribue à réduire le stress hydrique après la transplantation [8]. Même 10 ans après la transplantation, les arbres taillés n'avaient pas retrouvé la vigueur qu'ils avaient avant la transplantation [10]. Par conséquent, il est essentiel de continuer à surveiller les arganiers transplantés pendant plusieurs années pour évaluer dans quelle mesure les arbres récupérés du site de la carrière sont devenus irréversiblement autonomes et vigoureux. Selon Miyasaki et Hamasaki [5], la surveillance et les soins post-transplantation sont extrêmement importants et les symptômes de stress doivent être surveillés pendant au moins 2 ans après la transplantation pour aider les arbres à les surmonter.

Dans notre expérience, la saison estivale a entraîné des taux de survie plus élevés pour la transplantation des arganiers. Cela peut s'expliquer par l'état dormant dans lequel la plupart des arganiers se trouvent pendant les périodes les plus sèches de l'année. Diaz-Barradas et al. [11] ont signalé que les arganiers perdent leurs feuilles en été pour s'adapter au stress de la sécheresse. Cependant, Harris et Bassuk [12] ont signalé que les arbres à feuilles caduques transplantés en dormance ne devraient être élagués que pour des raisons correctives. Dans notre étude, le rabattement représente le traitement le plus réussi et par extension les arganiers subissant une taille sévère ont des chances de reprise plus élevées.

Nous avons constaté que la longueur des rameaux était plus élevée chez les arganiers rabattus que chez les arganiers élagués ou taillés. Cela peut s'expliquer par le fait que les arbres rabattus ont utilisé la majeure partie de leur énergie pour produire de nouvelles brindilles qui s'allongeaient rapidement comme des gourmands. D'autre part, les arganiers élagués et taillés ont continué à utiliser de l'énergie pour le maintien de l'activité à travers les branches et les feuilles restantes et, par conséquent, les produits de la photosynthèse ont dû être partagés entre les vieilles pousses et les bourgeons et brindilles nouvellement produits. Le suivi a permis de monitorer l'indice de croissance relative qui était négatif pour les arbres élagués et taillés lors de la transplantation d'été et pour tous les traitements lors de la transplantation d'hiver. Les valeurs négatives indiquent que la régénération et la croissance étaient accomplies au détriment des réserves de nutriments comme l'amidon stockés dans les tiges des arbres [13]. Cela peut s'expliquer par le fait que pendant la saison froide, les arganiers ont dû utiliser leurs réserves pour assurer une nouvelle production de racines et de pousses. Les arbres dont le ratio racines/pousses est faible ont généralement moins de chances de survivre à la transplantation que ceux dont le ratio racines-pousses est plus élevé [14] ce qui pourrait expliquer davantage les taux de reprise enregistrés : moins les pousses de la couronne sont nombreuses, plus le rapport entre les racines et les pousses est élevé.

CONCLUSION

La problématique de la transplantation d'arganiers adultes devrait retenir l'attention des chercheurs en vue d'optimiser leur taux de survie. Les résultats obtenus dans ce travail mettent en évidence l'importance des traitements préalables sur la survie et la croissance des arbres, tout en soulignant l'impact de facteurs environnementaux et saisonniers [15]. Cette recherche indique la nécessité de planifier soigneusement les opérations de transplantation, d'améliorer les techniques de traitement des arbres et d'assurer un suivi régulier des arbres sur de longues périodes. L'étude a identifié plusieurs défis et limitations, à savoir la topographie du site qui conditionne l'accessibilité aux arbres, la disponibilité d'engins adaptés, la gestion des opérations de transplantation, l'entretien optimal (irrigation) et le suivi régulier. Si ces éléments ne sont pas pris en considération, ils risquent de constituer des obstacles majeurs à la transplantation et donc à la conservation d'arganiers destinés à l'abattage. La recherche met en lumière l'importance de planifier rigoureusement les opérations de transplantation, d'améliorer les techniques de traitement des arbres et un suivi continu pour assurer le succès de la conservation des arganiers adultes [15]. Certaines restrictions liées à la biologie de l'arganier restent

à découvrir. L'immense variabilité morphologique et génétique a certainement dû jouer un rôle non négligeable malgré que les arbres transplantés eussent différentes morphologies et allures ainsi que différents âges. Cette recherche ne couvre pas toutes les situations qu'on pourrait rencontrer au sein des écosystèmes à arganier ni les limitations génétiques lors de la transplantation de cet arbre emblématique.

Reconnaissance : Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre du projet de recherche sur la transplantation de l'arganier, fruit d'une collaboration entre l'ANDZOA, le Groupe LafargeHolcim-Maroc, l'AgroTech Souss-Massa et l'IAV Hassan II. Les auteurs souhaitent aussi remercier M. Mohamed Doulhousn pour son assistance lors des analyses de l'eau et du sol et Prof. Lhoussaïne Baâmal pour la supervision des analyses statistiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Lybbert T. J., Aboudrar A. , Chaloud D., & Nash M. (2011): Booming markets for Moroccan argan oil appear to benefit some rural households while threatening the endemic argan forest, PNAS Vol.108 No.34 13963-13968 http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1106382108

2. Chakhchar A., Haworth M., El Modafar C., Lauteri M. Mattioni C., Wahbi S. et Centritto M. (2016): An Assessment of Ge-netic Diversity and Drought Tolerance in Argan Tree (*Argania spinosa*) Populations: Potential for the Development of Improved Drought Tolerance, Front. Plant Sci., Plant Physiology Vol. 8 -2017 https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00276

3. Auclair L. & Michon G. (2009) : La forêt rurale méditerranéenne entre deux paradigmes étude comparée des constructions patrimoniales de l'arganeraie marocaine et de la châtaigneraie Corse. Revue Forets Méditerranéennes.

4. Sinsin T., Mounir F., Qarro M. & Sabir M. (2017) : Analyse de la vulnérabilité de l'arganeraie face aux facteurs de désertifi-cation au sud du Maroc. Actes du 4ème congrès de l'arganier.

5. Miyasaka S. C. & Hamasaki R. T. (2016): Preliminary and regional reports in Hawaii. 26 (August) pages: 685–689.

6. Caron M. & Kjelgren R. (2016): Growth and water use during establishment of irrigated bare root and balled-burlapped green ash transplanted into a high desert landscape. HortScience, 51(9): 1188–1193.

7. Griffin A. B., Wright A. N., Tilt K. M. & Eakes D. J. (2010): post-transplant irrigation scheduling for two native deciduous shrub taxa. HortScience, 45(11): 1620–1625.

8. Kjelgren R. and Cleveland B. (1994): Growth and water relations of Kentucky coffee tree and silver maple following trans-planting. Journal of Environmental Horticulture, 12(2): 96–99.

9. Montague T. & Fox L. (2008): Gas exchange and growth of transplanted and non-transplanted field-grown Shumard red oak trees grown with and without organic mulch. HortScience, 43(3): 770–775.

10. Dagit R. & Downer A. J. (2002): To prune or not to prune. Responses of coast live oaks (Quercus agrifolia) to canopy retention during transplanting. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184. Pages: 369–380.

11. Diaz-Barradas, M.C., Zunzunegui M., Ain-Lhout F., Jauregui J., Boutaleb S., Alvarez-Cansino L., & Paz Esquivias M. (2010): Seasonal physiological responses of *Argania spinosa* tree from Mediterranean to semi-arid climate. Plant Soil, 337: 217-231. https://doi.org/10.1007/s11104-010-05188

12. Harris J. R & Bassuk N. L. (1993): Tree planting fundamentals. Journal of arboriculture 19(2): March 1993.

13. Solfjeld I.& Hansen O. B. (2004): post-transplant growth of five deciduous Nordic tree species as affected by transplanting date and root pruning. Urban Forestry & Urban Greening 2(3):129-137 http://dx.doi.org/10.1078/1618-8667-00029

14. Beeson, Jr., R.C. & Gilman, E.F. (1992): Water stress and osmotic adjustment during post-digging acclimatization of Quercus virginiana produced in fabric containers. Journal of Environmental Horticulture (1992) 10 (4): 208–214. https://doi.org/10.24266/0738-2898-10.4.208.

15. El Ghazali H., Benaoda Tlemçani N., Daoud S. & Harrouni M. C. (2023) Transplantation of adult Argan trees (*Argania spinosa* L. Skeels), » © Moroccan Journal of Agricultural Sciences • e-ISSN: 2550-553X, Mor. J. Agri. Sci. 4 (4): 148-156, December 2023.

Prédiction de la distribution de l'arganier au Maroc : Une analyse comparative entre les modèles MaxEnt et Random Forest

Zineb ELGORAI [1,2,*], Marwa EL GRAOUI [2], Mouanis LAHLOU [1], Moulay Mohamed AJERAME [1], Mohamed Louay METOUGUI [2]

[1] *Département statistique et informatique appliqués, Institut Agronomique et Vétérinaire HASSAN II, Rabat*

[2] *Collège des sciences de l'agriculture et de l'environnement, Université Mohammed VI Polytechnique, Benguerir*

* *zineb.elgorai-ext@um6p.ma*

RÉSUMÉ

Cette étude vise à évaluer et comparer deux modèles d'intelligence artificielle, MaxEnt et Random Forest, pour modéliser la distribution de l'arganier dans le contexte actuel et dans divers scénarios climatiques futurs. MaxEnt est traditionnellement utilisé pour la prédiction d'occurrence des espèces, tandis que Random Forest est reconnu par sa robustesse. Nous nous sommes appuyés sur des données issues des 19 variables bioclimatiques de WorldClim2, telles que la température et la précipitation pour conduire nos analyses. Les résultats montrent que les deux modèles possèdent une haute capacité à prédire l'aire de répartition de l'arganier. Ils révèlent également une possible réduction de l'aire de répartition de l'arganier au Maroc due aux changements climatiques. Pour les périodes 2041-2060 et 2081-2100, sous les scénarios SSP126 (plus modéré) et SSP585 (extrême), la superficie de l'arganier diminue significativement, avec une réduction particulièrement marquée sous SSP585, passant de 22 526,51 km² pour la période 2041-2060 à 8 275,36 km² pour 2061-2080. Bien que ces modèles fournissent des estimations utiles, ils peuvent ne pas capturer tous les aspects de la dynamique de l'arganier et des écosystèmes environnants. Des variables non prises en compte ou des interactions complexes entre les facteurs environnementaux pourraient influencer la répartition de l'arganier de manière non linéaire ou imprévisible.

Mots clés
Arganier ; Machine Learning ; Maxent ; Random Forest ; Changement climatique.

ABSTRACT

Predicting the Distribution of Argan in Morocco: A Comparative Analysis of MaxEnt and Random Forest Models

This study aims to evaluate and compare two artificial intelligence models, MaxEnt and Random Forest, to model the distribution of argan trees in the current context and under various future climate scenarios. MaxEnt is traditionally used for species occurrence prediction, while Random Forest is known for its robustness. We relied on data from 19 WorldClim2 bioclimatic variables, such as temperature and precipitation, to conduct our analyses. The results show that both models have a high capacity to predict the distribution area of the argan tree. They also reveal a possible reduction in the distribution area of the argan tree in Morocco due to climate change. For the periods 2041-

Keywords
Argan tree; Machine Learning; MaxEnt; Random Forest; Climate change.

2060 and 2081-2100, under the SSP126 (more moderate) and SSP585 (extreme) scenarios, the area of argan trees decreases significantly, with a particularly marked reduction under SSP585, from 22,526.51 km² for the period 2041-2060 to 8,275.36 km² for 2061-2080. This study offers valuable insights into the comparative per-formance of the models and enriches our understanding of the potential effects of climate change on the geographic distribution of the argan tree. It highlights the urgency of adopting adaptive conservation measures to protect this tree in the context of increased climate change.

INTRODUCTION

L'arganier *(Argania spinosa* (L.) Skeels), un arbre à feuilles persistantes de la famille des Sapotacées, est largement reconnu comme l'une des plantes à graines oléagineuses les plus importantes au monde. Doté d'une longue durée de vie (Ait Aabd et al., 2012), il s'agit d'une espèce xérophile, hautement adaptée aux environnements arides et semi-arides (Antonio Santoro et al., 2023). Il occupe une place importante dans l'écosystème marocain, non seulement en tant qu'espèce emblématique, mais aussi pour ses nombreux usages socio-économiques et écologiques. Endémique au Maroc, cette espèce est célèbre pour ses fruits riches en huile d'argan, utilisée dans l'alimentation, la cosmétique et la médecine traditionnelle. Outre sa valeur économique, l'arganier joue un rôle vital dans la préservation de la biodiversité locale et dans la lutte contre l'érosion des sols.

Toutefois, face aux défis du changement climatique et de la dégradation environnementale, il devient impératif de comprendre et de prédire la distribution future de l'arganier (El Ghazali, 2021). C'est dans ce contexte que cette étude se situe, cherchant à évaluer et comparer l'efficacité de différents modèles d'intelligence artificielle pour prédire la distribution de l'arganier, en tenant compte des variations climatiques actuelles et projetées. Nous nous concentrons notamment sur les modèles MaxEnt et le Random Forest, reconnus pour leur capacité à modéliser des relations complexes entre les variables environnementales et la répartition des espèces.

En dépit des progrès réalisés dans ce domaine, certaines controverses subsistent quant à la précision et à la fiabilité de ces modèles, notamment en raison de la complexité des interactions écologiques et des incertitudes liées aux projections climatiques. Cette étude vise donc à apporter des éclaircissements sur ces questions en fournissant une évaluation comparative approfondie de ces modèles, tout en contribuant à une meilleure compréhension de l'impact du changement climatique sur la distribution future de l'arganier au Maroc.

Les conclusions de cette étude fourniront des perspectives précieuses pour la conservation de cette espèce emblématique dans un contexte de plus en plus incertain.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Base de données

Nous avons utilisé une base de données comprenant 51573 points de présence de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région de Souss Massa, au Maroc. Ces données ont été collectées à partir de relevés botaniques et inventaires forestiers effectués dans la région sur une période de plusieurs années.

En parallèle, les points de fond ont été générés de manière aléatoire dans toute la région du Maroc. Un total de 10 000 points de fond a été sélectionné pour couvrir l'ensemble de la région. Nous avons utilisé une méthode de validation croisée (cross-validation) en fractionnant les données de présence en été en 5 plis (folds). Sur ces 5 plis, 4 ont été utilisés pour l'entraînement et 1 pour le test. De manière similaire, nous avons appliqué la même approche aux points de fond générés aléatoirement dans toute la région du Maroc. Cela garantit que les données d'entraînement et de test sont représentatives et couvrent différentes zones géographiques

Pour mieux comprendre la répartition spatiale de l'arganier dans la région, une analyse de visualisation des données a été réalisée (Figure 1).

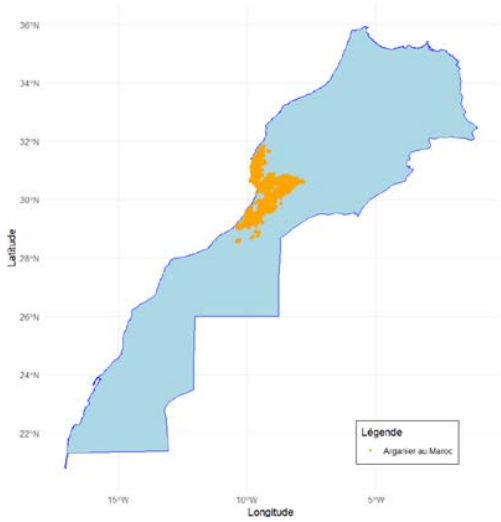


Figure 1. Représentation graphique de la répartition des points de présence de l'arganier dans la région Souss-Massa

2.2. Variables de prediction

2.2.1. Actuel

À chaque site d'échantillonnage, nous avons extrait un ensemble de 19 variables bio-climatiques de la base de données WorldClim version 1.4 (Robert J. Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005) avec une résolution de cellule de grille de 30 secondes d'arc (environ 1 × 1 km) en utilisant DIVA-GIS version 7.5 (R J Hijmans, Guarino, Cruz, & Rojas, 2001) pour les années 1970-2000. Les 19 variables prédictives sélectionnées ont été choisies pour leur pertinence dans la modélisation de la distribution des espèces végétales dans des contextes climatiques variés (table1).

Tableau 1. Liste des variables bioclimatiques avec leur code (dans WorldClim et dans cette étude)

WordClim code	Variable (unit)
BIO1	Température annuelle moyenne (°C)
BIO2	Écart diurne moyen (°C)
BIO3	Isothermalité (BIO1/BIO7) * 100
BIO4	Saisonnalité de la température (CV)
BIO5	Température maximale de la période la plus chaude (°C)
BIO6	Température minimale de la période la plus froide (°C)
BIO7	Variation annuelle de la température (BIO5-BIO6; °C)
BIO8	Température moyenne du trimestre le plus humide (°C)
BIO9	Température moyenne du trimestre le plus sec (°C)
BIO10	Température moyenne du trimestre le plus chaud (°C)
BIO11	Température moyenne du trimestre le plus froid (°C)
BIO12	Précipitations annuelles (mm)
BIO13	Précipitations de la période la plus humide (mm)
BIO14	Précipitations de la période la plus sèche (mm)
BIO15	Saisonnalité des précipitations (CV; mm)
BIO16	Précipitations du trimestre le plus humide (mm)
BIO17	Précipitations du trimestre le plus sec (mm)
BIO18	Précipitations du trimestre le plus chaud (mm)
BIO19	Précipitations du trimestre le plus froid (mm)

2.2.2 Futur

Nous avons utilisé des données climatiques projetées provenant de plusieurs modèles climatiques mondiaux, pour évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur la distribution future de l'arganier. Ces données ont été générées dans le cadre du projet CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), qui rassemble les résultats de plusieurs modèles climatiques de pointe. Nous avons sélectionné les données de 12 modèles climatiques différents (table 2). Ces modèles couvrent un large éventail de scénarios climatiques possibles, ce qui nous permet d'explorer une gamme de futurs climatiques potentiels. Nous avons particulièrement examiné deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre : SSP126 (Shared Socioeconomic Pathway 126) et SSP585 (Shared Socioeconomic Pathway 585), qui représentent respectivement des trajectoires d'émissions plus faibles et plus élevées.

2.3. Modèles de prédictions

Tableau 2. Liste des variables bioclimatiques futur

Modèle climatique	
ACCESS-CM2	Modèle australien de simulation du climat et du système terrestre
BCC-CSM2-MR	Modèle du système climatique du Centre météorologique de Beijing
CMCC-ESM2	Modèle du système terrestre du Centre euro-méditerranéen sur les changements climatiques
EC-Earth3-Veg	Modèle du système terrestre du Centre européen
FIO-ESM-2-0	Modèle du système terrestre du Premier Institut d'océanographie
GISS-E2-1-G	Modèle du système terrestre de l'Institut Goddard des études spatiales
INM-CM5-0	Modèle climatique de l'Institut de mathématiques numériques
IPSL-CM6A-LR	Modèle climatique de l'Institut Pierre-Simon Laplace
MPI-ESM1-2-HR	Modèle du système terrestre de l'Institut Max Planck, version 1.2 à haute résolution
MRI-ESM2-0	Modèle du système terrestre de l'Institut de recherche météorologique
UKESM1-0-LL	Modèle du système terrestre du Royaume-Uni, version 1.0 à basse résolution
MIROC6	Modèle de recherche interdisciplinaire sur le climat

Afin d'évaluer et comparer les performances des différents modèles de machine learning dans la prédiction de la distribution de l'arganier (*Argania spinosa*), nous avons utilisé deux approches principales : MaxEnt avec le package dismo, et Random Forest avec le package RandomForest sur le language R.

2.3.1 MaxEnt (Maximum Entropy)

L'algorithme d'entropie maximale (MaxEnt) est un modèle efficace pour faire des prédictions à partir d'informations incomplètes, spécialement conçu pour les applications nécessitant des données de présence seulement sur la distribution des espèces (Phillips et al., 2006). Il détermine comment les conditions environnementales dans les localités d'occurrence des espèces sont liées aux conditions environnementales dans le reste de la zone d'étude. L'idée centrale de MaxEnt est de rechercher une distribution de probabilité ayant une entropie maximale (la plus étalée), tout en respectant les contraintes imposées par les informations disponibles sur les présences des espèces et les conditions environnementales associées

à l'ensemble de la zone d'étude (Phillips et al., 2006; Elith et al., 2011). MaxEnt utilise un algorithme de mise à jour séquentielle déterministe qui choisit et ajuste itérativement les poids des prédicteurs, garantissant la convergence vers la distribution de probabilité d'entropie maximale (Phillips et al., 2004, 2006). La distribution de probabilité de MaxEnt est garantie de converger vers la meilleure distribution de Gibbs, tant que les sites d'occurrence sont tirés indépendamment de manière aléatoire (Phillips et al., 2006; Phillips et Dudík, 2008). En pratique, une distribution de probabilité régularisée est recommandée pour réduire le surajustement aux données d'entraînement.

2.3.2 Random Forest

Un Random Forest est un ensemble d'arbres utilisés pour la classification ou la régression (CART ; Breiman, Friedman, Olshen et Stone, 1984). Ils ajustent de nombreux arbres individuels, généralement plusieurs centaines à plusieurs milliers, et combinent leurs prédictions (Strobl et al., 2009 ; Elith, 2019), car un ensemble d'arbres généralise mieux (Hastie et al., 2009). Chaque arbre de l'ensemble est construit en utilisant le principe des arbres de décisions (partitionnement récursif). L'espace des caractéristiques (c'est-à-dire l'espace couvert par toutes les variables prédictives) est divisé de manière récursive en zones contenant des observations similaires en termes de valeurs de réponse (Strobl et al. - 2009). Selon la variable de réponse, les RF utilisent des arbres de classification (AC) ou des arbres de régression (AR) pour les réponses qualitatives et quantitatives, respectivement (Valvi et al, 2021). Nous avons utilisé dans cette étude les paramètres par défaut, ce qui signifie que nous avons entraîné 1000 arbres.

Ces dernières années, Random Forest a été largement utilisée par les écologues pour modéliser les relations écologiques complexes car elles sont faciles à mettre en œuvre et faciles à interpréter. En revanche, il existe des preuves convaincantes que les forêts aléatoires (RF) avec des paramètres par défaut ne fonctionnent pas bien pour ce type de modélisation dite de « présence-fond ». Cela est souvent attribuée au déséquilibre entre le nombre d'échantillons de présence et de fond, également connu sous le nom de « déséquilibre de classe ». Plusieurs solutions ont été proposées pour résoudre ce problème. L'une d'entre elles consiste à utiliser la méthode du sous-échantillonnage (down-sampling), qui a donné d'excellents résultats selon Valvi et al. (2021). Le sous-échantillonnage est une approche couramment utilisée dans la modélisation de la distribution des espèces. Elle consiste à effectuer un échantillonnage réduit au niveau de chaque arbre individuel dans un modèle de forêt aléatoire. Des chercheurs tels que Chen et al. (2004), Evans et Cushman (2009), Freeman et al. (2012), Robinson et al. (2018) et Valavi et al. (2021) ont également exploré cette approche. Cette méthode consiste à équilibrer les données d'entraînement en utilisant le même nombre d'échantillons de fond que de points de présence dans chaque arbre de la forêt aléatoire. Cela est réalisé en échantillonnant avec remplacement à partir de l'ensemble complet d'échantillons de fond. Comme les forêts aléatoires comportent généralement des centaines d'arbres, cette approche utilise potentiellement un grand nombre d'échantillons de fond, ce qui permet de mieux équilibrer les données d'entraînement. Le down-sampling est souvent désigné sous le nom de forêt aléatoire équilibrée dans la littérature (Chen et al. 2004, Robinson et al. 2018).

2.4 Evaluation des modèles

Pour l'évaluation des modèles, nous avons utilisé la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) pour évaluer la précision des prédictions. Ainsi, une courbe ROC qui se courbe fortement vers le coin supérieur gauche est généralement associée à un bon modèle, alors que si elle suit de près la ligne diagonale cela indique une performance médiocre.

Les modèles ont été entraînés sur un ensemble de données d'apprentissage et évalués sur un ensemble de données de test distinct. En utilisant cette approche méthodologique standardisée, nous avons pu comparer objectivement les performances des différents modèles dans la prédiction de la distribution de l'arganier.

RÉSULTATS

Nous présentons ici les résultats des prédictions de distribution de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région d'étude obtenus à partir des modèles MaxEnt et Random Forest.

3.1. Résultats de la modélisation MaxEnt

Le modèle MaxEnt a démontré une capacité prometteuse à prédire la localisation de l'arganier, notamment dans la région du Rif, où l'environnement semble particulièrement propice à son développement (Figure 2). Cette observation suggère que le Rif pourrait représenter un écosystème favorable pour la plantation et la croissance de l'arganier. Par ailleurs, en considérant les paramètres climatiques, il est envisageable que l'arganier puisse étendre son aire de répartition à l'ensemble de la région de Souss Massa.

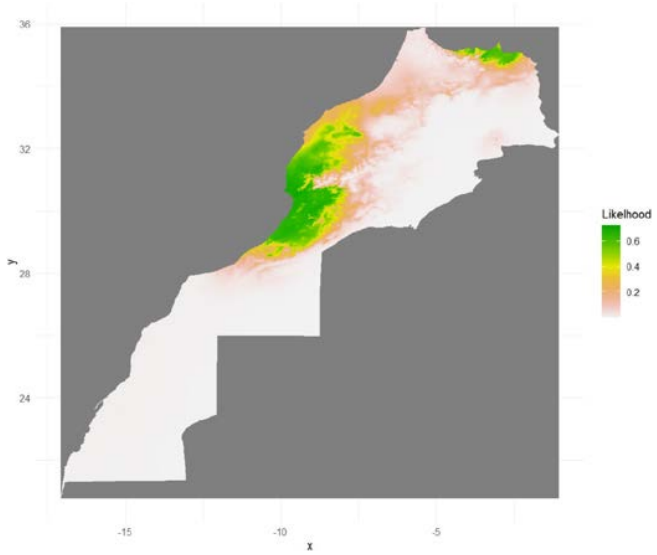


Figure 2. Carte geographique qui represente la prédiction de la distribution de l'Arganier avec le modele MaxEnt

3.1.1 Predictions futur

Les résultats de prédiction de la distribution de l'arganier pour deux périodes futures (2041-2060 et 2081-2100) sous deux scénarios climatiques (SSP126 et SSP585) ont été fournis pour 12 modèles climatiques différents. Les valeurs fournies représentent la superficie en km² occupée par l'arganier selon chaque modèle et scénario (Table 3).

Tableau 3. Superficie de présence projetée de l'arganier selon les scénarios climatiques 126 et 558 pour différentes périodes

Scénario	Période	Superficie occupée
126	2041-2060	24 907,08 km²
	2061-2080	18 076,63 km²
558	2041-2060	22 526,51 km²
	2061-2080	8 275,36 km²

Le SSP126 représente un avenir plus optimiste (Figure 3), caractérisé par des émissions de gaz à effet de serre relativement modérées. En revanche, le SSP585 est plus sombre (Figure 4),avec des niveaux d'émissions plus élevés. Ces scénarios servent de toile de fond pour évaluer l'impact potentiel du changement climatique sur l'arganier.

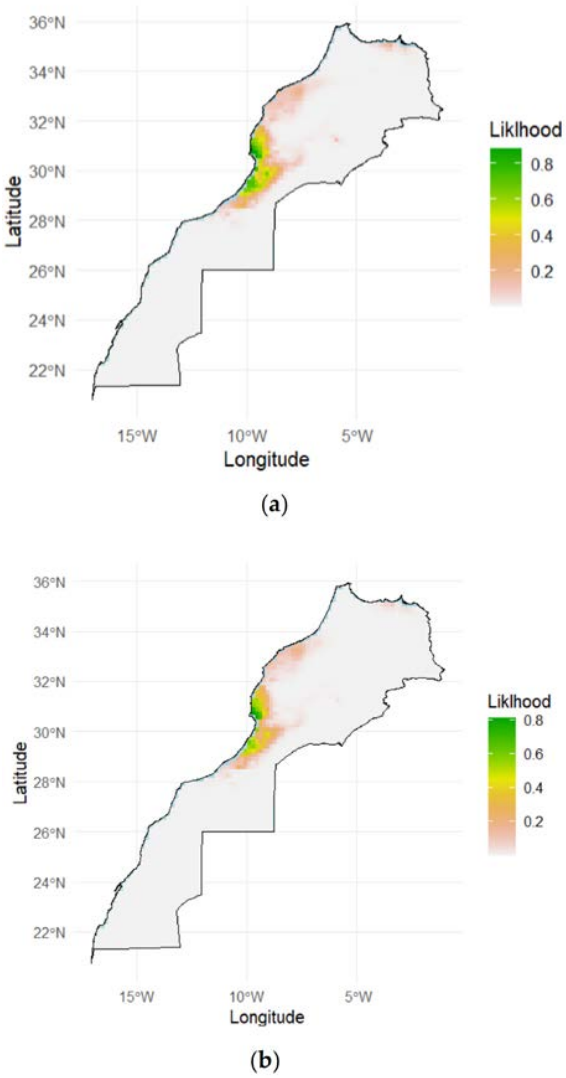


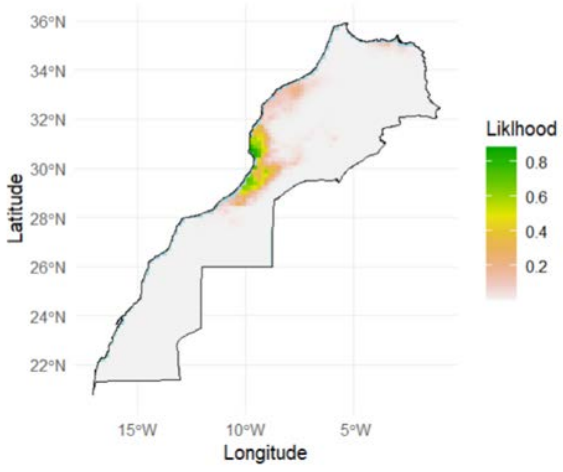
Figure 3. Prédictions d'occurrence de l'arganier selon 12 modèles du scenario 126. (a) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier pour les années 2041-2060 et (b) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier pour les années 2081-2100.

Pour la période 2041-2060 l'arganier occupe une superficie de 24 907,08 km² dans le SSP126 et 22 526,51 km² dans le SSP585 (Table 3). La différence entre les deux scénarios est déjà perceptible. Cependant, c'est la période 2061-2080 qui révèle des tendances inquiétantes. Dans le SSP126, la superficie diminue à 18 076,63 km², tandis que dans le SSP585, elle chute de manière dramatique à 8 275,36 km² (Table 3). Cette réduction drastique dans le SSP585 est alarmante et souligne l'urgence d'agir pour protéger l'arganier.

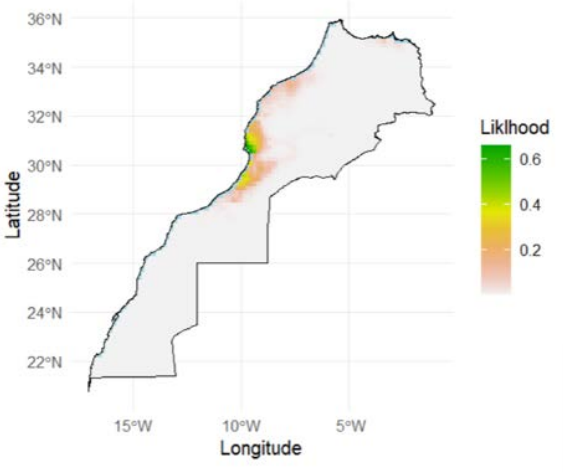
La variabilité entre les prédictions des différents modèles climatiques est basée sur des hypothèses spécifiques et des paramètres uniques, ce qui explique les divergences. Cependant, tous convergent vers une réduction de son

aire de répartition. Les facteurs tels que la disponibilité en eau, les températures extrêmes et les modifications des habitats jouent un rôle crucial dans cette dynamique complexe.

Enfin, la période 2081-2100 est encore plus préoccupante (Figure b et d),. La diminution de la superficie occupée par l'arganier s'accentue, mettant en évidence l'urgence d'adopter des mesures d'adaptation et de conservation. La préservation des écosystèmes arganiens, la sensibilisation du public et la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont essentielles pour assurer la survie de cette espèce .



(c)



(d)

Figure 4. Prédictions d'occurrence de l'arganier selon 12 scénarios du modèle 585. Les schémas suivent référent à différentes années. (c) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier pour les années 2041-2060 et (d) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier pour les années 2081-2100.

3.1.2. Evaluation du modele

L'évaluation du modèle MaxEnt a été réalisée à l'aide de la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic). La courbe ROC du modèle MaxEnt est concave vers le haut, indiquant que le modèle est capable de distinguer efficacement les cas positifs des cas négatifs sur une large plage de seuils de classification.Une valeur d'AUC proche de 1 indique que le modèle est très performant pour distinguer les cas positifs des cas négatifs. Dans ce cas, une valeur de 0,98 signifie que le modèle est capable de correctement classer environ 98% des cas, ce qui est un résultat très encourageant (Figure 5).

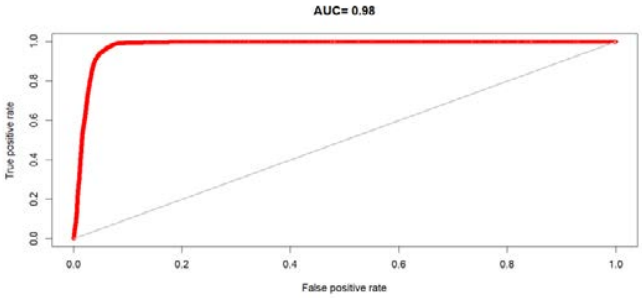


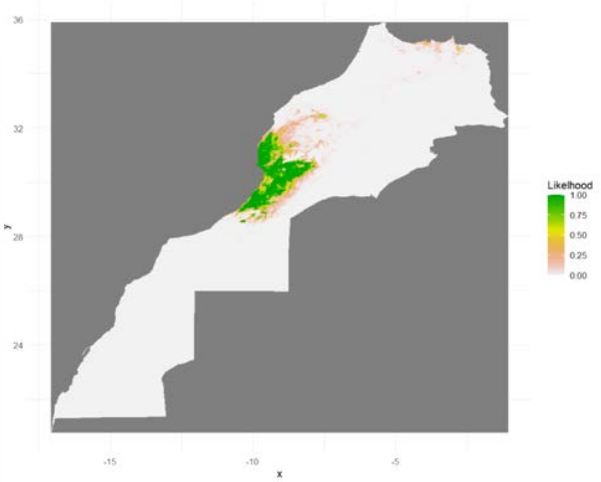
Figure 5. Courbe ROC du modèle MaxEnt pour la prédiction de la distribution de l'Arganier

3.2. Résultats de la modélisation Random Forest

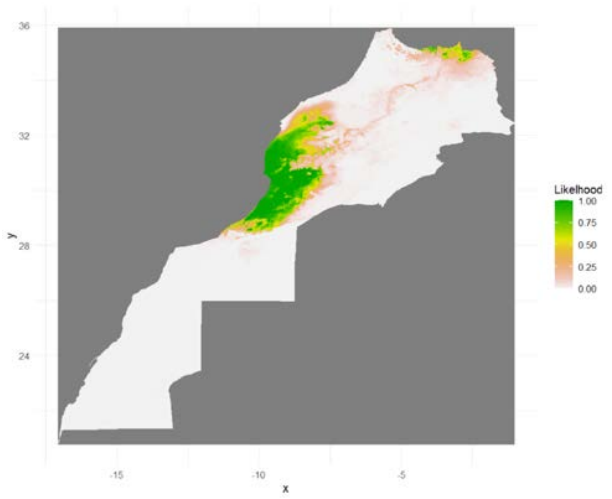
3.2.1 Prediction de la distribution actuelle

Le modèle Random Forest a également été utilisé pour prédire la distribution de l'arganier dans la région d'étude. Deux approches ont été comparées : avec et sans la technique de rééchantillonnage (downsampling) pour équilibrer les classes.

La figure 6 présente les résultats de prédiction de deux modèles Random Forest pour la prediction de présence de l'arganier.



(e)



(f)

Figure 6. Prédictions d'occurrence de l'arganier avec le modèle Random Forest. (e) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier avec le modèle Random Forest avec les paramètres par défaut et (f) Carte géographique représentant les prédictions d'occurrence de l'arganier avec le modèle Random Forest avec la méthode Downsampling.

La figure 6e présente les prédictions d'occurrence de l'arganier avec le modèle Random Forest avec les paramètres par défaut, sans downsampling. On obsèrve une distribution relativement homogène de la présence de l'arganier, avec des zones de forte présence dans les régions de Souss Massa. Cependant, il est également observé que ce modèle prédit peu ou pas de changement par rapport aux données d'entraînement, ce qui diffère des résultats proposés par le modèle MaxEnt.

La figure 6f illustre les prédictions d'occurrence de l'arganier avec le modèle Random Forest utilisant la technique de downsampling. On remarque une distribution plus précise de la présence de l'arganier, avec une concentration plus marquée dans les zones de Souss Massa, ainsi qu'une présence notable dans la région du Rif. Cela suggère que le downsampling a contribué à réduire les erreurs de prédiction, rendant les résultats plus proches de ceux du modèle traditionnel.

3.2.2. Evaluation du modele

L'évaluation du modèle Random Forest a été réalisée à l'aide de la courbe ROC illustrée par la figure 7. La courbe ROC du modèle Random Forest pour la prédiction de la distribution de l'arganier présente une performance élevée, avec une AUC de 0,977. Cela indique une excellente capacité de prédiction.

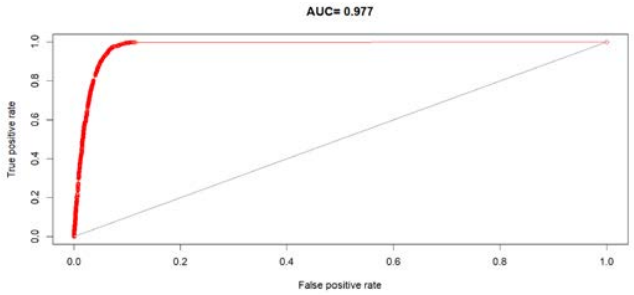


Figure 7. Courbe ROC du modèle Random Forest pour la prédiction de la distribution de l'Arganier

DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

Les deux modèles, MaxEnt et Random Forest, ont affiché une remarquable capacité à prédire l'emplacement de l'arganier, avec des valeurs de ROC dépassant 95 %. Ceci est similaire à l'étude de Labarca-Rojas et al. en 2022, qui a également obtenu un ROC de 0,98 pour la prédiction de l'emplacement de l'arganier en utilisant le modèle MaxEnt, même si les régions de répartition sont identiques. Les résultats des deux différents modèles sont comparables, notamment grâce à l'application du downsampling sur le Random Forest, qui a permis de mieux ajuster les prédictions à la réalité observée. En particulier, les deux modèles ont identifié la présence de l'arganier dans les régions de Souss Massa et du Rif qui indique une ressemblance climatique (Figure A1 en annexe) et confirme la robustesse de leurs prédictions.

Il convient de souligner que l'utilisation du downsampling a significativement amélioré la précision du modèle Random Forest, en réduisant le bruit et en offrant une vision plus nette de la distribution de l'arganier dans la région. C'est ce que confirme Valvi et al. dans leur étude "Modelling Species Presence-Only Data with Random Forests", en affirmant que les performances du downsampling sont toujours meilleures que celles du RF par défaut (Valvi et al., 2021). Cependant, il est important de reconnaître que cette méthode peut entraîner une perte d'informations, soulignant ainsi l'importance de choisir une technique appropriée en fonction des caractéristiques spécifiques du problème étudié.

Les prédictions futures soulèvent des préoccupations quant à la réduction de la superficie occupée par l'arganier, en particulier dans le scénario climatique SSP585. Cette diminution met en évidence la nécessité urgente de développer des stratégies d'adaptation au changement climatique pour protéger l'arganier

et les écosystèmes associés. La communication et la sensibilisation du public jouent également un rôle crucial dans la sensibilisation des parties prenantes aux enjeux liés au changement climatique et à l'avenir de l'arganier, encourageant ainsi une action collective visant à préserver cette espèce emblématique du Maroc.

Ces résultats nous rappellent que le changement climatique n'est pas une abstraction lointaine, mais une réalité qui affecte directement notre environnement et les espèces qui y vivent. L'arganier, patrimoine du Maroc, mérite notre attention et notre action concertée pour garantir sa pérennité face à ces défis climatiques grandissants. Des efforts coordonnés, impliquant les autorités compétentes, les communautés locales, les organisations environnementales, et les organismes de recherche sont essentiels pour mettre en œuvre des mesures de conservation efficaces et assurer la survie de cette espèce précieuse à long terme.

ANNEXE

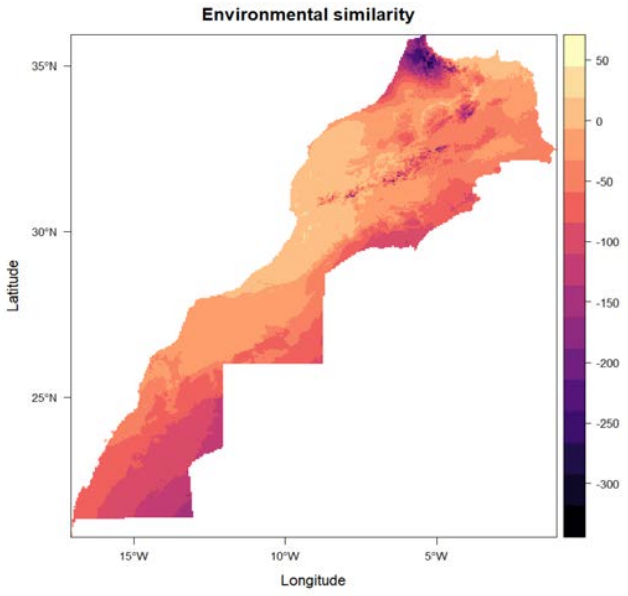


Figure A1. Analyse de la similarité environnementale des occurrences de l'arganier dans la région du Souss Massa à l'aide du graphique MESS

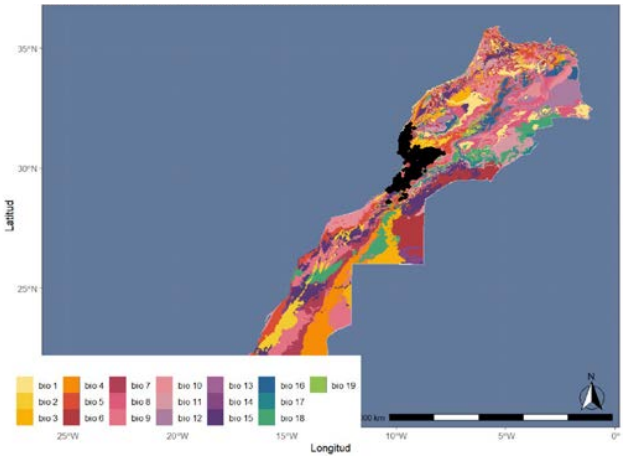


Figure A2. Carte de variation des variables environnementales par rapport aux occurrences de l'arganier dans la région du Souss Massa

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aabd, Naima Ait, Fatima El Ayadi, et Fouad Msanda. « Evaluation of Agromorphological Variability of Argan Tree under Different Environmental Conditions in Morocco: Implication for Selection ».

2. Ait Aabd, Naima, Fouad Msanda, et Abdelhamid El Mousadik. 2012. « Univariate and Multivariate Analysis of Agronomical Traits of Preselected Argan Trees ». *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40(2): 308. doi:10.15835/nbha4028209.

3. El Ghazali, Hamza, Cherif Harrouni, Salma Daoud, et Noureddine Benoada Tlemçani. 2021. *Impact of Climate Change on the Argan Biosphere Reserve (ABR) in Morocco.* BIOLOGY. preprint. doi:10.20944/preprints202105.0536.v1.

4. Kebbaj, Riad El. « Base Moléculaire Des Effets de l'huile d'argan Sur Le Métabolisme Mitochondrial et Peroxysomal Des Acides Gras et Sur l'inflammation ».

5. Moukrim, Said, Said Lahssini, Mouhssine Rhazi, Hicham Mharzi Alaoui, Abdelkader Benabou, Imane Wahby, Mohammed El Madihi, Moustapha Arahou, et Laila Rhazi. 2019. « Climate Change Impacts on Potential Distribution of Multipurpose Agro-Forestry Species: *Argania Spinosa* (L.) Skeels as Case Study ». *Agroforestry Systems* 93(4): 1209 19. doi:10.1007/s10457-018-0232-8.

6. Msanda, Fouad, El Hassan Mayad, et James Nicolas Furze. 2021. « Floristic Biodiversity, Biogeographical Significance, and Importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve ». *Environmental Science and Pollution Research* 28(45): 64156 65. doi:10.1007/s11356-020-11936-0.

7.Santoro, Antonio, Victor Ongoma, Moussa Ait El Kadi, Francesco Piras, Beatrice Fiore, Alessandra Bazzurro, Federica Romano, et al. 2023. « Innovation of Argan (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) Products and Byproducts for Sustainable Development of Rural Communities in Morocco. A Systematic Literature Review ». *Biodiversity and Conservation*. doi:10.1007/s10531-023-02691-y.

8. Ahmadi, Kourosh, Shirin Mahmoodi, Subodh Chandra Pal, Asish Saha, Indrajit Chowdhuri, Trinh Trong Nguyen, Scott Jarvie, et al. 2023. « Improving Species Distribution Models for Dominant Trees in Climate Data-Poor Forests Using High-Resolution Remote Sensing ». *Ecological Modelling* 475: 110190. doi:10.1016/j.ecolmodel.2022.110190.

9. Ait Aabd, Naima, Fouad Msanda, et Abdelhamid El Mousadik. 2012. « Univariate and Multivariate Analysis of Agronomical Traits of Preselected Argan Trees ». *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 40(2): 308. doi:10.15835/nbha4028209.

10. Labarca-Rojas, Yalbeiry, J. Esteban Hernández-Bermejo, José L. Quero, et Francisca Herrera-Molina. 2022. « Bioclimatic Habitat Limitations for Argan Trees (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) in Northern Africa and Spain ». *Regional Environmental Change* 22(1): 14. doi:10.1007/s10113-021-01869-w.

11. Landset, Sara, Taghi M. Khoshgoftaar, Aaron N. Richter, et Tawfiq Hasanin. 2015. « A survey of open source tools for machine learning with big data in the Hadoop ecosystem ». *Journal of Big Data* 2(1): 24. doi:10.1186/s40537-015-0032-1.

12 .Lek, Sovan, et J.F. Guégan. 1999. « Artificial Neural Networks as a Tool in Ecological Modelling, an Introduction ». *Ecological Modelling* 120(2 3): 65 73. doi:10.1016/S0304-3800(99)00092-7.

13. Li, Xinhai, et Yuan Wang. 2013. « Applying Various Algorithms for Species Distribution Modelling ». *Integrative Zoology* 8(2): 124 35. doi:10.1111/1749-4877.12000.

14. Mahesh, Batta. 2019. *Machine Learning Algorithms -A Review.* doi:10.21275/ART20203995.

15. Nasteski, Vladimir. 2017. « An overview of the supervised machine learning methods ». HORIZONS.B 4: 51 62. doi:10.20544/HORIZONS.B.04.1.17.P05.

16. Phillips, Steven J., et Miroslav Dudík. 2008. « Modeling of Species Distributions with Maxent: New Extensions and a Comprehensive Evaluation ». *Ecography* 31(2): 161 75. doi:10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x.

17. Poterie, Audrey. « Arbres de décision et forêts aléatoires pour variables groupées ».

18. Strobl, Carolin, James Malley, et Gerhard Tutz. 2009. « An Introduction to Recursive Partitioning: Rationale, Application, and Characteristics of Classification and Regression Trees, Bagging, and Random Forests. » *Psychological Methods* 14(4): 323 48. doi:10.1037/a0016973.

19. Tesfamariam, Birhane Gebrehiwot, Berhan Gessesse, et Farid Melgani. 2022. « MaxEnt-Based Modeling of Suitable Habitat for Rehabilitation of Podocarpus Forest at Landscape-Scale ». *Environmental Systems Research* 11(1): 4. doi:10.1186/s40068-022-00248-6.

20. Valavi, Roozbeh, Jane Elith, José J. Lahoz-Monfort, et Gurutzeta Guillera-Arroita. 2021a. « Modelling Species Presence-Only Data with Random Forests ». *Ecography* 44(12): 1731 42. doi:10.1111/ecog.05615.

21. Valavi, Roozbeh, Jane Elith, José J. Lahoz-Monfort, et Gurutzeta Guillera-Arroita. 2021b. « Modelling species presence-only data with random forests. *Ecography.* » Ecography 44. doi:10.1111/ecog.05615.

22. Valavi, Roozbeh, Gurutzeta Guillera-Arroita, José J. Lahoz-Monfort, et Jane Elith. 2022. « Predictive Performance of Presence-only Species Distribution Models: A Benchmark Study with Reproducible Code ». *Ecological Monographs 92(1)*: e01486. doi:10.1002/ecm.1486.

23. Zhang, Lei, Falk Huettmann, Xudong Zhang, Shirong Liu, Pengsen Sun, Zhen Yu, et Chunrong Mi. 2019. « The Use of Classification and Regression Algorithms Using the Random Forests Method with Presence-Only Data to Model Species' Distribution ». *MethodsX* 6: 2281 92. doi:10.1016/j.mex.2019.09.035.

24. Zhang Lei, Wang Linlin, Zhang Xudong, Liu Shirong, Sun Pengsen, et Wang Tongli. 2014. « The basic principle of Random forest and its applications in Ecology— A case study *of Pinus yunnanensis* ». *Acta Ecologica Sinica* 34(3). doi:10.5846/stxb201306031292.

25. Zhao, Ziyi, Nengwen Xiao, Mei Shen, et Junsheng Li. 2022. « Comparison between Optimized MaxEnt and Random Forest Modeling in Predicting Potential Distribution: A Case Study with Quasipaa Boulengeri in China ». Science of The Total Environment 842: 156867. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.156867.

Stratégie adaptative photosynthétique de l'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) face à la pression de pâturage

Aicha Nait Douch[1,*], Laila Boukhalef[1], Abdelhafid El Asbahani[2], Khadija El Mehrach[3], Mourad Touaf[1], Fatima Ain-Lhout[1].

[1] *Equipe d'Ecologie et Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences Appliquées, Université Ibn Zohr, Azrou86153, Morocco ;*

[2] *Laboratoire des Matériaux et Environnement, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir 80000, Morocco ;*

[3] *Laboratoire de Biotechnologies Végétales, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir 80000, Morocco ;*

[*] *naitdouchaicha@yahoo.fr ;*

RÉSUMÉ

L'arganier est un arbre endémique du Maroc et considérée comme l'espèce d'arbre la plus soumise au pâturage dans sa zone de distribution. Puisque le pâturage exerce un effet important sur les performances des plantes, nous avons tenté d'explorer l'impact du pâturage sur l'arganier. Nous avons donc réalisé une expérience comparative sur le terrain où les variations saisonnières des échanges gazeux, de l'efficacité photochimique, de la teneur relative en eau, de la teneur en pigments et des caractéristiques stomatiques ont été évaluées chez des arbres broutés et non broutés. Nos résultats ont révélé que les feuilles d'arganier étaient significativement influencées par l'herbivorie. Les arbres broutés avaient une performance photosynthétique plus élevée que chez les arbres non broutés au printemps et à l'automne. Cette augmentation de l'activité photosynthétique suite aux dommages causés par les herbivores a été décrite comme un mécanisme de tolérance, permettant de compenser la perte de surface foliaire pour survivre le stress du pâturage. Cependant, les résultats obtenus en été montrent que le mécanisme de compensation pourrait être limité par la sécheresse estivale. Nos résultats suggèrent qu'une gestion adéquate du pâturage peut être un outil de contrôle pour augmenter la performance des plantes et améliorer la résilience des espèces.

Mots clés
Photosynthèse ; efficience photochimique ; densité stomatique.

ABSTRACT

Photosynthetic adaptive strategy of the Argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) facing grazing pressure.

The argan tree is a native species of Morocco and widely recognised as the most exposed tree species to livestock grazing in its range. Since pasturing has a considerable impact on vegetation growth, we set out to investigate the effects of pasturing on the argan tree. A comparative field experiment was therefore carried out to assess seasonal variations in the exchange of gases, the efficiency of photochemistry, the water content, the amount of pigments and the characteristics of the stomata of argan trees that had been grazed and those that had not. The results showed that argan leaves were considerably influenced by herbivory. The trees that were grazed had higher photosynthetic performance than ungrazed trees in both spring and autumn. Such increase in photosynthesis

Keywords
Photosynthesis; photochemical efficiency; stomatal density.

activity in response to grazing by herbivores has been described as a tolerance mechanism to overcome the stress of grazing by compensating for the loss of leaf area. Nevertheless, the findings obtained in summer illustrate that the compensatory mechanism may be constrained by drought in summer. Our results suggest that proper pastoral management may represent a tool to increase the performances of plants and improve the resilience of species.

INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est indéniablement l'une des plantes les plus remarquables de la flore marocaine, jouant un rôle prépondérant et occupant une place unique en tant que représentant seul représentant de la famille des Sapotacées dans le pays. L'arganier occupe la seconde position parmi les essences forestières du Maroc, se situant juste après le Chêne Vert et juste avant le Thuya [1]. Cet arbre est bien adapté aux environnements arides [2]. Cette espèce joue un rôle crucial, surtout pour les populations locales, en terme d'intérêts écologiques, botaniques, économiques et sociaux [3,4]. L'arganier est un arbre à usages multiples, chaque partie de l'arbre (bois, feuilles, fruits, huile) est utilisée comme source de revenus ou d'alimentation [5].

Au cours des dernières décennies, les forêts d'Arganier ont été considérées comme largement menacées et en forte régression [6]. De Waroux & Lambin ont confirmé que ces forêts d'Arganiers, dans le Sud Ouest du Maroc, ont subi une régression dramatique du point de vue densité d'environ 40% entre 1970 et 2007 [7]. Cette régression des forêts d'arganiers est principalement due à la désertification, aux activités pastorales et à la surexploitation des ressources forestières par la population locale [7,8 ,9]. La contribution de l'arganier au régime alimentaire des chèvres varie de 47% à 84%, selon les conditions climatiques et la période de l'année [10].

Le pâturage a généralement un effet négatif sur les plantes [11,12]. Dans un précédent travail mené dans la forêt d'Admine, une zone fortement humanisée et traditionnelle-ment gérée pour l'élevage et l'agriculture, Ain-Lhout et al. (2013) [13] ont constaté que la forte intensité de la pression herbivore et la surexploitation des Arganiers réduisaient la taille et le volume de la canopée des arbres. Dans un autre travail sur la même espèce, et dans le même contexte environnemental, Zunzunegui et al. (2010) [14] ont constaté qu'une forte pression d'herbivorie induit une diminution prononcée de la production de fruits. En effet, les herbivores causent des dommages structurels, enlèvent la biomasse des plantes, diminuant ainsi la surface foliaire disponible pour la photosynthèse, ce qui conduit à une dégradation excessive des zones de pâturage sous climat semi-arides et arides à l'échelle mondiale [15].

L'objectif du présent travail est d'étudier l'impact du surpâturage sur la morphologie, l'anatomie et la physiologie de l'Arganier. A cet effet, deux parcelles ont été sélectionnées, une parcelle sous surpâturage et une parcelle mise en défens depuis plus de 20 ans. Plusieurs paramètres ont été mesurés pendant trois saisons (printemps, été et automne) au niveau des deux parcelles : la densité stomatique, la surface foliaire, le poids sec des feuilles, la surface de la masse foliaire, la teneur en pigments photosynthétiques, le contenu relatif en eau, la photosynthèse nette, la conductance stomatique, le taux de transpiration, l'efficacité instantanée dans l'utilisation de l'eau, l'efficience photochimique maximale du PSII.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Zone d'étude

L'expérience a été menée au niveau de deux parcelles : une parcelle mise en défens située dans la forêt d'Arganiers de Mesguina (Province d'Agadir Ida Ou Tanane), à environ 25 km au Nord-est d'Agadir. Cette parcelle fait partie d'un terrain de 220 ha qui n'a pas été pâturé depuis plus de 30 ans. La deuxième parcelle, située à l'extérieur de la zone clôturée, est exposée au pâturage par les chèvres et quelques fois les chameaux. Le climat du site d'étude est aride à influence marine.

2.2 Matériel végétale

Dix arbres bien développés ont été marqués au hasard au niveau de chaque parcelle. Durant l'année 2018, des échantillons de feuilles d'Arganier ont été récoltés au niveau de chaque arbre puis mis directement dans une glacière. Une fois au laboratoire, les échantillons ont été mis au congélateur à -24°C, en attendant d'être analysés. Pour étudier la variation en réponse à la saisonnalité climatique, l'étude a été menée sur un cycle annuel de trois saisons: le printemps, l'été et l'automne.

2.3 Méthodes

Le contenu relatif en eau (RWC) est un bon indicateur du statut hydrique de la plante, puisqu'il exprime la teneur absolue en eau, dont la plante a besoin, pour atteindre la saturation en eau. Il a été mesuré selon la méthode de [16].

La densité stomatique (SD) (en mm-2) a été calculée suivant la technique des empreintes de vernis, sur la face inferieure de la feuille [17].

Les échanges gazeux: mesurede taux d'assimilation du CO2 (ANet), la conductance stomatique (gs) et le taux d'évapotranspiration (E) ont été réalisés sur des feuilles bien développées et exposées au soleil. Trois mesures par arbres ont été effectuées à l'aide d'un analyseur des échanges de gaz à infrarouge. Toutes les mesures d'échange gazeux ont été effectuées pendant des journées bien ensoleillées, le matin (de 8:30 h à 11:00 h). Une estimation de l'efficience instantanée dans l'utilisation de l'eau a été réalisée en calculant le rapport entre le taux de photosynthèse nette et le taux de transpiration (WUE).

Des mesures de la fluorescence de la chlorophylle (Fv/Fm) ont été effectuées sur des feuilles entièrement développées, sélectionnées au hasard. Les paramètres de fluorescence des feuilles, adaptées à la lumière et à l'obscurité, ont été mesurés sur la surface adaxiale de la feuille, in vivo au midi solaire à l'aide d'un fluorimètre portable, conformément à la méthode décrite par [18].

Les pigments photosynthétiques ont été extraits des échantillons dans de l'acétone pure, puis déterminés par colorimétrie selon le protocole de [19].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le contenu relatif en eau (RWC) a présenté une variation saisonnière avec des valeurs maximales enregistrées en automne, et des valeurs minimales en été. Aucune différence significative n'a été détectée entre les arbres broutés et ceux non broutés (Figure.1),

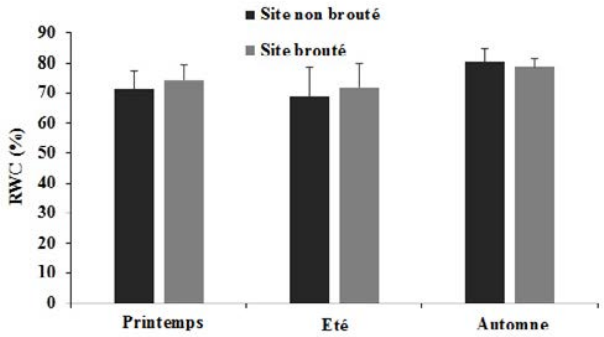


Figure 1. Contenu relatif en eau (RWC, %) des Arganiers broutés et non broutés pendant la période d'étude [20].

La teneur relative en eau (RWC) a présenté un schéma saisonnier. Les deux sites sont proches l'un de l'autre cela explique l'absence de différences significative entre les arbre broutées et non broutées au niveau de ce paramètre.

Les résultats de la photosynthèse nette montrent que les Arganiers sous pression d'herbivorie présentent des valeurs significativement élevées en périodes de printemps et d'automne. En période estivale, les deux sites ont montré les valeurs les plus basses de l'année. Concernant la conductance stomatique (gs), la population soumise au pâturage a montré la valeur la plus élevée en automne avec une différence significative entre les deux sites ($p<0,001$) (Figure 2.).

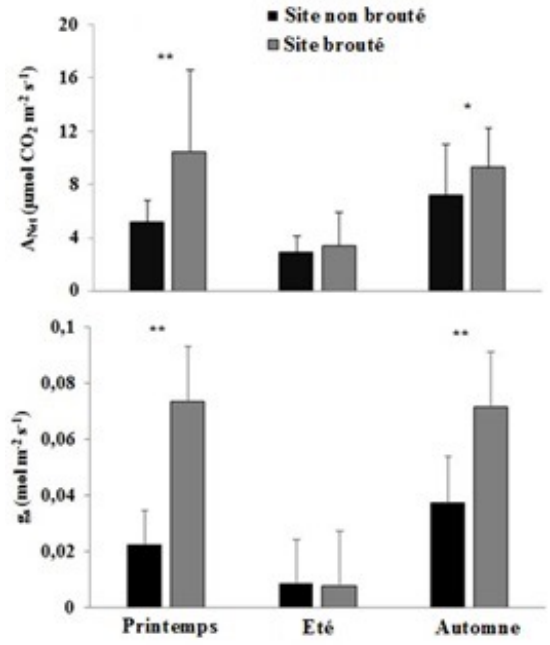


Figure 2. Rendement photosynthétique net (ANet), conductance stomatique (gs) pour les Arga-niers pâturés et non pâturés pendant la période d'étude. (* : niveaux de signification) [20]

Cette augmentation de l'activité photosynthétique au niveau des feuilles après des dommages causés par des herbivores a été décrite comme un mécanisme de tolérance et peut compenser la perte de surface foliaire, et favoriser la synthèse des défenses chimiques induites [21]. Le graphique d'efficience instantanée de l'utilisation d'eau (WUE) montre que les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez les arbres pâturés, au printemps et en automne avec une différence significative entre les deux sites ($p<0,05$). Cette augmentation du WUE est probablement due à une bonne gestion stomatique qui a impliqué une diminution de la transpiration pendant ces périodes.

Le rendement quantique maximal du PSII (Fv/Fm) a présenté des valeurs supérieures à 0,7, au printemps et en automne, dans les deux sites d'échantillonnage. Cependant, les valeurs de Fv/Fm ont diminué à 0.63±0.09 et 0.69±0.06 en été, respectivement, chez les arbres non broutés et broutés (Figure 3.).

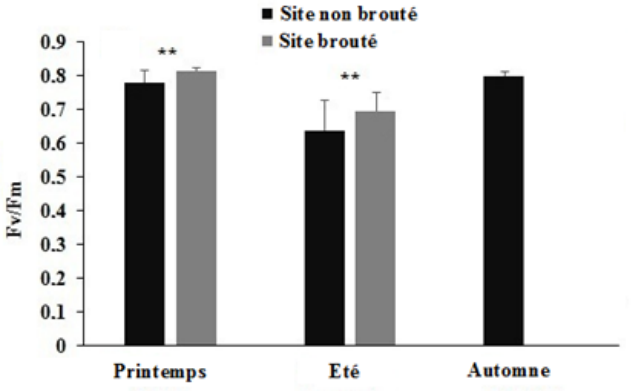


Figure 3. Rendement quantique maximal du PSII (Fv/Fm) pour les Arganiers broutés et non broutés pendant la période d'étude. (* : niveaux de signification) [20]

La mesure du Fv/Fm après une période adéquate d'adaptation des feuilles à l'obscurité, est considérée comme étant l'une des techniques les plus utilisées pour mesurer le "stress" au niveau des feuilles [22]. Les résultats obtenus concernant ce paramètre montrent que les plantes mise en défens sont particulièrement affectées par les conditions estivales, puisqu'elle présente des valeurs de Fv/Fm<0.700 pendant cette période. On note également une récupération rapide après les premières pluies d'automne. Des différences significatives, entre les deux sites, ont été enregistrées au printemps et en été ($p<0,001$). Effectivement, les plantes soumises à l'herbivorie, quant à elles n'ont jamais été dans des conditions particulièrement stressantes, même en période estivale, puisque durant toute la période d'étude les valeurs de Fv/Fm étaient supérieures à 0.700 [23].

La teneur totale en chlorophylle a clairement montré un schéma saisonnier, avec les valeurs les plus élevées mesurées chez les arbres pâturés en printemps et en été (Figure 4.).

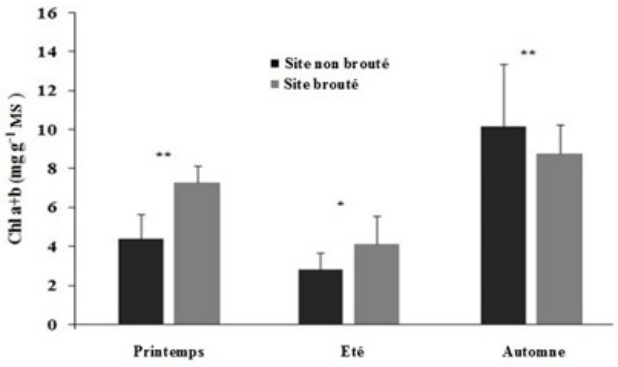


Figure 4. Teneur en chlorophylle totale (Chl a+b, a) (±SD) au niveau des Arganiers broutés et non broutés pendant la période d'étude. (* : niveaux de signification) [20]

Les pigments photosynthétiques sont des biomarqueurs potentiellement appropriés car ils sont sensibles aux fluctuations environnementales. La teneur en chlorophylle la plus élevée chez les arbres broutés au printemps et en été pourrait être un mécanisme de compensation face à l'herbivorie [24]. Nos résultats suggèrent que le pâturage a stimulé la synthèse de la chlorophylle totale et que les plantes ont répondu au stress du pâturage en augmentant la quantité des composants du photosystème utilisés pour améliorer l'efficacité de la photosynthèse [25].

CONCLUSIONS

Nos résultats ont révélé que les feuilles de l'Arganier ont été significativement influencées par l'herbivorie. Les arbres en conditions de pâturage avaient des performances photosynthétiques plus élevées que celles mises en défens pendant les périodes favorables du printemps et de l'automne. Cette amélioration de la photosynthèse suite à la défoliation par les herbivores indique que les feuilles fonctionnaient en dessous de leur potentiel photosynthétique maximal avant la défoliation. L'augmentation de l'activité photosynthétique au niveau des feuilles après des dommages causés par des herbivores a été décrite comme un mécanisme de tolérance, et elle peut compenser la perte de surface foliaire et soutenir la synthèse des défenses chimiques induites.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Achour, A. Contribution à L'étude de la Phénologie de l'Arganier et de la Biodiversité au Sein D'une Parcelle Clôturée Evaluation D'un Essai de Régénération Artificielle. Ph.D. Thesis, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco, 2014; 204p.

2. Díaz Barradas, M.C.; Zunzunegui, M.; Esquivias, M.P.; Boutaleb, S.; Valera Burgos, J.; Tagma, T.; Ain-Lhout, F. Some secrets of *Arganiaspinosa* water economy in a semiarid climate. *Nat. Prod. Commun*. 2013, 8, 11–14. https://doi.org/10.1177/1934578X1300800103.

3. Lefhaili, A. FAO *Forest Resources Assessment: Morocco Country Report*; FAO: Rome, Italy, 2010.

4. Chakhchar, A.; Ben Salah, I.; El Kharrassi, Y.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C.; Lamaoui, M. Agro-Fruit-Forest Systems Based on argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results. *Front. Plant Sci*. 2022, 12, 783615. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.783615.

5. M'Hirit, O.; Benzyane, M.; Benchekroun, F.; El Yousfi, S.M.; Bendaanoun, M. *L'Arganier: Une Espèce Fruitière-Forestière à Usages Multiples;* Mardaga Press: Brussels, Belgium, 1998.

6. El Wahidi, F. Dynamiques des dégradations de l'Arganeraie et modélisation spatiale de l'évolution forestière. Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, Mars 2013.

7. De Waroux, Y.; Lambin, E.F. Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: The case of the argan woodlands (Morocco). *Appl. Geogr.* 2012, 32, 777–786.https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.005.

8. Karmaoui, A. Ecosystem services of the argan forest, the current state and trends. *Adv. Res.* 2016, 8, 1–13. https://doi.org/10.9734/AIR/2016/21353.

9. Genin, M.; Alifriqui, M.; Fakhech, A.; Hafidi, M.; Ouahmane, L.; Genin, D. Back to forests in pre-Saharan Morocco? When prickly pear cultivation and traditional agropastoralism reduction promote argan tree regeneration. *Silva Fenn*. 2017, 51, 1618. https://doi.org/10.14214/sf.1618.

10. El Aïch, A.; Bourbouze, A.; Morand-Fehr, P. La chèvre dans l'Arganeraie. In Acte de *L'institut*

Agronomique et Vétérinaire Hassan II; Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II: Rabat, Morocco, 2005; p. 136.

11. Eekeren, N.V. EGF at 50: The future of European grasslands. In Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Aberystwyth, UK, 7–11 September 2014; IBERS, Aberystwyth University: Aberystwyth, UK, 2014; pp. 665–667.

12. Davidson, K.E.; Fowler, M.S.; Skov, M.W.; Doerr, S.H.; Beaumont, N.; Griffin, J.N. Livestock grazing alters multiple ecosys-tem properties and services in salt marshes: A meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 2017, 54, 1395–1405. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12892.

13. Ain-Lhout, F.; Zunzunegui, M.; DiázBarradas, M.C.; Jáuregui, J.; Tagma, T.; Boutaleb, S. Climatic conditions and herbivory effects on morphological plasticity of *Argania spinosa. Nat. Prod. Commun*. 2013, 8, 5–9. https://doi.org/10.1177/1934578X1300800102.

14. Zunzunegui, M.; Ain-Lhout, F.; Díaz Barradas, M.C.; Jáuregui, J.; Boutaleb, S.; ÁlvarezCansino, L.; Esquivias-Segura, M.P. Fruit production under different environmental and management conditions on *Arganiaspinosa. J. Arid. Environ.* 2010, 74, 1138–1145. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.03.016.

15. Yin, J.; Li, X.; Guo, H.; Zhang, J.; Kong, L.; Ren, W. Legacy effects of historical grazing alter leaf stomatal characteristics in progeny plants. *PeerJ* 2020, 8, e9266. https://doi.org/10.7717/peerj.9266.

16. Barrs, H.D.; Weatherley, P.E. A Re-Examination of the Relative Turgidity Techniques for Estimating Water Deficits in Leaves. *Aust. J. Biol. Sci*. 1962, 15, 413–428. https://doi.org/10.1071/BI9620413.

17. Galmés, J., Flexas, J., Savé, R. et al. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant Soil*, 2007, 290,139–155. https://doi.org/10.1007/s11104-006-9148-6

18. Schreiber, U.; Schliwa, U.; Bilger, W. Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluores-cence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynth. Res*. 1986, 10, 51–62. https://doi.org/10.1007/BF00024185.

19. Lichtenthaler, H.K.,. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology,* 1987, 148, 350-382. http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

20. Nait Douch A, Boukhalef L, El Asbahani A, Al-Namazi AA, El Mehrach K, Bouqbis L, Ain-Lhout F. Photosynthetic behavior of Argania spinosa (L.) Skeels Induced under grazed and ungrazed conditions. *Sustainability*, 2022,14(19):12081. https://doi.org/10.3390/su141912081

21. Redondo-Gómez, S., Mancilla-Leytón, J.M., Mateos-Naranjo, E., Cambrollé, J., Martín-Vicente, A. Differential photosynthetic performance of three Mediterranean shrubs under grazing by domestic goats. *Photosynthetica*, 2010, 48(3), 348-354. https://doi.org/10.1007/s11099-010-0045-0

22. Murchie, E.H. and Lawson T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new ap-plications. *Journal of Experimental Botany,* 2013, 64 (13): 3983–3998. https://doi.org/10.1093/jxb/ert208

23. Björkman, O.; Demmig, B. Photon yield of O2, evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular *plants* of diverse origins. Planta 1987, 170, 489–504. https://doi.org/10.1007/BF00402983.

24. Díaz-Barradas, M.C.; Zunzunegui, M.; Ain-Lhout, F.; Jáuregui, J.; Boutaleb, S.; Álvarez-Cansino, L.; Esquivias, M.P. Seasonal physiological responses of *Arganiaspinosa* tree from Mediterranean to semi-arid climate. *Plant Soil* 2010, 337, 217–231. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0518-8.

25. Li, J., Hou, F., Ren, J.. Grazing Intensity Alters Leaf and Spike Photosynthesis, Transpiration, and Related Parameters of Three Grass Species on an Alpine Steppe in the Qilian Mountains. *Plants*, 2021,10, no. 2, 294. https://doi.org/10.3390/plants10020294

Stocks de carbone et séquestration dans l'arganeraie marocaine : analyse de trois réservoirs dans les régions de Souss-Massa

Assma Oumasst [1,2,*], Fatima Ezzahra Tiouidji [1,3], Salma Tabi [1,3], Abdelaziz Zahidi [1,2], Abdelhamid El Mousadik[2], Jamal Hallam [1]

[1] *Centre Régional de Recherche Agricole d'Agadir, Institut National de Recherche Agricole, Avenue En-nasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc ; ja-mal.hallam@inra.ma ;*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie et de Valorisation des Ressources Naturelles (LBVRN), Faculté des Sciences Université Ibn Zohr / Laboratoire d'Entomologie, Complexe Horticole, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Agadir, 80000, Maroc ; assma.oumasst@edu.uiz.ac.ma ; a.zahidi@uiz.ac.ma ; a.elmousadik@uiz.ac.ma ;*

[3] *Laboratoire d'ingénierie environnementale, écologique et agro-industrielle (LGEEAI), Faculté des sciences et technologies de Beni Mellal, Université Sultane Molay Slimane, Beni Mellal, 23000, Maroc ; fatimaezzahra.tiouidji@usms.ma; salma.tabi@usms.ma*

[*] *Correspondance : assma.oumasst@edu.uiz.ac.ma;*

RÉSUMÉ

L'étude vise à estimer le stock de carbone dans les trois réservoirs (Plantations d'arganiers, végétation, sol) dans les vergers d'arganier de la région de Souss Massa. Une série d'essais au champ impliquant différents écosystèmes des vergers d'arganiers ont été réalisées dans 3 sites (deux parcelles par écorégion). Les paramètres dendrométriques ont été suivis et la teneur moyenne en carbone de chacun des composants de l'arganier est étudiée. La végétation associée aux jeunes plants d'arganier a été collectée par échantillonnage en quadrat (n = 3) établi dans chaque parcelle pour estimer sa teneur en carbone. Des échantillons de sol à différentes profondeurs (0-5, 5-10 et 10-30 cm) ont été collectés pour mesurer le carbone organique du sol (SOC) et la densité apparente. Les résultats montrent que le sol stocke environ 98% du carbone total, tandis que les plantations et la végétation contribuent marginalement au stock de carbone (moins de 1%). Ces résultats suggèrent que des mesures de gestion durable sont nécessaires pour protéger et améliorer le stock de carbone dans l'écosystème d'arganiers, afin de lutter contre le changement climatique et d'assurer la durabilité des écosystèmes d'arganier.

Mots clés
Carbone organique ;
Plantation d'arganiers.

ABSTRACT

Carbon stocks and sequestration in the Moroccan Argan: analysis of three reservoirs in the Souss-Massa region

The study aims to estimate the carbon stock in the three reservoirs (argan plantations, vegetation, soil) in argan orchards in the Souss-Massa region. A series of field trials involving different argan orchard ecosystems were conducted at 3 sites (two plots per ecoregion). Dendrometric parameters were monitored, and the mean carbon content of each of the argan tree's components was studied. Vegetation associated with argan saplings was collected using quadrat sampling (n = 3) established in each plot to estimate its carbon content. Soil samples at different depths (0-5, 5-10, and 10-30 cm) were collected to measure soil organic carbon (SOC) and bulk density. The results show that the soil stores

Keywords
Organic carbon; Argan plantation.

approximately 98% of the total carbon, while the plantations and vegetation contribute marginally to the carbon stock (less than 1%). These findings suggest that sustainable management measures are necessary to protect and enhance the carbon stock in the argan ecosystem, in order to combat climate change and ensure the sustainability of argan ecosystems.

INTRODUCTION

Les gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO2), sont les causes majeures des changements climatiques dans la planète. L'augmentation de la température moyenne mondiale a déjà des effets néfastes sur les écosystèmes, la biodiversité et les sociétés humaines. La réduction des émissions de CO2 est donc devenue une priorité absolue [1]. Parmi les solutions prometteuses, la séquestration du carbone dans la biomasse et le sol profond sous forme de carbone organique attire de plus en plus l'attention. Les vergers jouent un rôle crucial en tant que puits de carbone. Ils stockent le carbone dans la biomasse des arbres, des arbustes et des plantes herbacées, ainsi que dans le sol [2]. Les vergers fruitiers influencent largement le développement durable dans le cadre de scénarios climatiques changeants [3]. *Argania spinosa* (L.) Skeels, est un arbre endémique du Maroc avec une large répartition. L'arganier contribue à la fertilisation des sols et à le stockage de carbone organique [4]. Malgré son importance écologique, La littérature disponible sur le potentiel de séquestration du carbone des vergers d'arganiers et de leurs écosystèmes est limitée. La présente étude vise à estimer le stock de carbone dans les trois réservoirs (Plantations d'arganiers, végétation, sol) dans les vergers d'arganier de la région de Souss-Massa.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

L'étude a été menée dans les vergers d'arganiers des zones marginales et vulnérables de la région de Souss Massa, située dans la RBA au sud-ouest du Maroc. Le tableau 1 présente les coordonnées géographiques et l'altitude des sites d'étude. La région se trouve dans des zones climatiques semi-arides. Les plants d'arganier étudiés présentent différents stades de croissance, allant de 4 à 8 ans.

Tableau 1. Coordonnées géographiques et altitude des vergers étudiés

Region	Vergers d'étude	Coordonnées géographiques	Altitude (m)
Souss - massa	Tiznit	29°45'29" N and 9°32'45" W	188
	Chtouka Ait Baha	29°57'56" N and 9°21'27" W	288
	Taroudant	30°45'32" N and 8°45'53" W	1238

2.2. Conception expérimentale d'échantillonnage

L'évaluation de la biomasse des plantations d'arganiers et l'étude du sol et de la végétation dans les vergers sélectionnées ont été effectuées en 2023. Dans chaque site, deux parcelles d'essai de 0,5 ha chacune, comptant 100 plantations d'arganiers (à une densité de 5m x 10m), ont été délimitées pour l'échantillonnage de la végétation et du sol. Les paramètres dendrométriques des plantations ont été enregistrés. La biomasse aérienne et racinaire des plantations a été estimée à l'aide des équations allométriques établies auparavant et validées.

2.3. Échantillonnage et analyse du sol

Les sols ont été échantillonnés à trois profondeurs, 0-5 cm, 5-10 cm et 10-30 cm pour chaque parcelle. Les échantillons de sol ont été séchés à l'air et tamisés à 2 mm. La teneur en carbone organique du sol (SOC) de chaque échantillon a été déterminée par la méthode Wakley-Black [5]. La densité apparente a été déterminée à l'aide des anneaux de 200 cm3 pour chaque profondeur.

2.4. Échantillonnage et analyse de la végétation

Pour déterminer la biomasse de la végétation, les plantes floristiques ont été collectées à l'aide de quadrats (1 m x 1 m) (n = 3) dans chaque parcelle, placée aléatoirement [6]. La biomasse des plantes floristiques a été coupée et

pesée puis séchée à 70°C afin de déterminer la masse sèche.

2.5. Estimation du stock de carbone

La biomasse des plantes d'arganier et des plantes floristiques a été convertie en stocks de carbone en multipliant par leur teneur en carbone et en extrapolant le résultat à l'échelle de la parcelle. Les stocks de carbone organique du sol (t C. ha-1) jusqu'à 30 cm de profondeur ont été calculés en multipliant le volume du sol à chaque horizon (cm), la densité apparente (BD) (g.cm-3) et la concentration de carbone organique du sol (SOC) (%) selon la formule suivante :

Stock de carbone = BD * SOC * Profondeur

Le stock de carbone dans la biomasse totale a été considéré comme la somme de la biomasse aérienne totale (AGB) et de la biomasse racinaire totale (BGB). Le stock de carbone organique dans les 30 premières cm (stock SOC) a été considéré comme la somme des stocks SOC dans les différentes profondeurs. Le stock de carbone total a été analysé en additionnant le carbone de la biomasse des différentes sources (AGB + BGB + biomasse des plantes floristiques + stock SOC).

RÉSULTATS

3.1. Biomasse des plantations d'arganiers

La figure 1 présente le stock moyen de carbone dans les plantations d'arganiers des différents sites de la région Souss-Massa, ainsi que et leur moyenne totale. Les plantations d'arganiers de Tiznit accumulent plus de carbone par rapport aux autres sites. Par contre, le stock de carbone le plus faible dans les plantations d'arganiers est enregistré dans les montagnes de Taroudant.

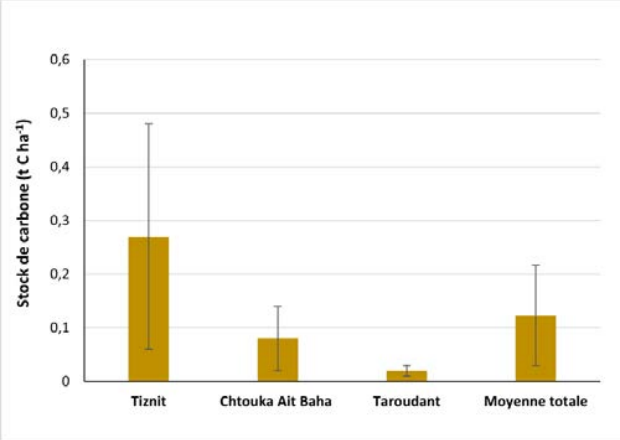


Figure 1. Carbone stocké dans la biomasse des plantations d'arganiers : moyennes par site et moyenne totale dans la région Souss-Massa (Moyenne ± écart-type)

3.2. Biomasse de la végétation

La figure 2 présente le stock moyen de carbone dans la végétation des différents sites de la région Souss-Massa, ainsi que leur moyenne totale. Le stock de carbone dans la végétation varie selon les sites étudiés. La valeur la plus élevée a été enregistrée à Taroudant, et la plus faible a été enregistrée à Chtouka Ait Baha.

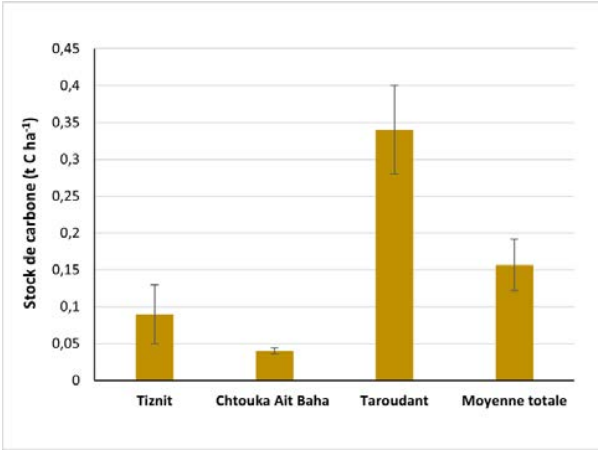


Figure 2. Carbone stocké dans la végétation associée d'arganiers : moyennes par site et moyenne totale dans la région Souss-Massa (Moyenne ± écart-type)

3.3. Carbone organique dans le sol

La figure 3 présente le stock moyen de carbone organique dans les sols d'arganiers des différents sites de la région Souss-Massa ainsi que la moyenne totale. Le stock de carbone dans les sols de Chtouka Ait Baha est plus élevé que dans les autres sites. Le sol représente le principal réservoir de carbone dans l'écosystème, stockant environ 98% du carbone total. Tandis que les plantations et la végétation contribuent marginalement au stock de carbone (moins de 1%).

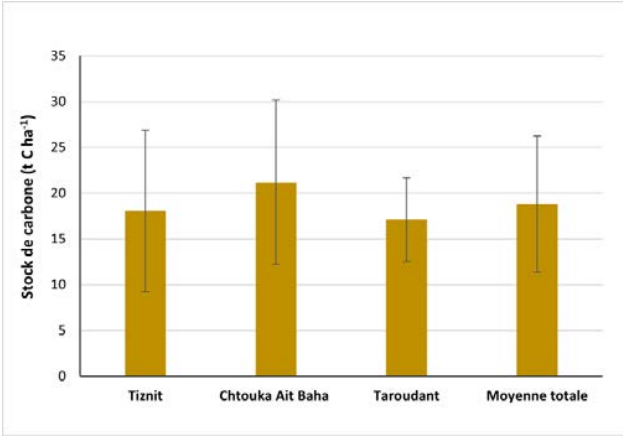


Figure 3. Carbone organique stocké dans les sols d'arganiers : moyennes par site et moyenne totale dans la région Souss-Massa (Moyenne ± écart-type)

DISCUSSION

L'étude vise à estimer le stock de carbone dans la biomasse des plantations d'arganiers, la végétation et les sols des vergers d'arganiers, caractérisée par sa marginalité et sa vulnérabilité, dans la région de Souss Massa. La variation de stock de carbone dans la biomasse des plantules d'arganier est influencée par différents facteurs tels que la taille des plantations, leur âge, les conditions édapho-climatiques et anthropiques [7]. Les résultats révèlent les différences entre les stocks des différents écosystèmes principalement attribuables à l'âge des plantations. Dans le site de Tiznit, l'âge des plantes varie de 4 à 8 ans, et à Chtouka Ait Baha, l'âge varie de 4 et 5 ans, tandis que dans le site de Taroudant sont âgées de 4 ans. Ainsi que, le climat à Tiznit est plus favorable à la croissance des arganiers que les autres sites grâce à sa proximité à l'océan. Les hautes altitudes rendent le climat à Taroudant plus froid, sec et aride cela reflète sur la disponibilité de l'eau et limite leur croissance [8].

Les montagnes de Taroudant reçoivent plus de précipitations et offrent des conditions climatiques plus favorable à la croissance des plantes aromatique et médicinales, spécifiques aux régions montagneuses. Cela peut s'expliquer par une faible activité humaine, favorisant une végétation plus dense et diversifiée, ce qui a un impact positif sur les stocks de carbone de la végétation. [9].

Le stock de carbone organique dans les sols d'arganiers peut s'expliquer par plusieurs facteurs notamment : précipitations adéquates et températures modérées favorisent la croissance de la végétation et l'accumulation de matière organique dans le sol. La texture et la structure du sol jouent un rôle important dans la rétention du carbone. Le labour minimal et l'irrigation efficiente contribuent à la conservation du carbone en réduisant l'érosion du sol et en favorisant la croissance de la végétation. Sur les régions montagneuses en pente, l'érosion du sol est accentuée par le lessivage, ce qui peut affecter négativement le stock de carbone [10]. Notre étude a montré que le sol est le principal réservoir de carbone dans l'écosystème des vergers d'arganiers, car il stocke environ 98% du carbone total. Alors que les plantations et la végétation contribuent marginalement au stock de carbone (moins de 1%).

Des mesures de gestion durable sont nécessaires pour protéger et améliorer le stock de carbone dans l'écosystème d'arganiers. Ces mesures incluent l'encouragement de la plantation d'arganiers, promotion les pratiques culturales durables, protection des arganeraies existantes. La gestion durable des arganeraies est d'une importance capitale dans l'atténuation du changement climatique et la conservation de la biodiversité.

Remerciements : Cette publication a été financée avec le soutien de l'ANDZOA, dans le cadre du projet de développement de l'arganiculture dans les zones vulnérables (DARED), projet financé par le fond vert pour le climat (Green Climat Fund-GCF). Ce projet a été soumis conjointement par l'Agence de Développement Agricole (ADA), en tant qu'entité accréditée par le GCF, et l'ANDZOA (Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier) en sa qualité d'agence d'exécution du projet.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. IPCC Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change,; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019; p. 630;.

2. Montanaro, G.; Tuzio, A.C.; Xylogiannis, E.; Kolimenakis, A.; Dichio, B. Carbon Budget in a Mediterranean Peach Orchard under Different Management Practices. Agriculture, Ecosystems & Environment 2017, 238, 104–113, doi:10.1016/j.agee.2016.05.031.

3. Sharma, S.; Rana, V.S.; Prasad, H.; Lakra, J.; Sharma, U. Appraisal of Carbon Capture, Storage, and Utilization Through Fruit Crops. Front. Environ. Sci. 2021, 9, doi:10.3389/fenvs.2021.700768.

4. Msanda, F.; Mayad, E.H.; Furze, J.N. Floristic Biodiversity, Biogeographical Significance, and Importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve. Environ Sci Pollut Res 2021, 28, 64156–64165, doi:10.1007/s11356-020-11936-0.

5. Walkley, A.; Black, I.A. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Science 1934, 37, 29–38, doi:10.1097/00010694-193401000-00003.

6. Nieto-Quintano, P.; Mitchard, E.T.A.; Odende, R.; Batsa Mouwembe, M.A.; Rayden, T.; Ryan, C.M. The Mesic Savannas of the Bateke Plateau: Carbon Stocks and Floristic Composition. Biotropica 2018, 50, 868–880, doi:10.1111/btp.12606.

7. Chave, J.; Réjou-Méchain, M.; Búrquez, A.; Chidumayo, E.; Colgan, M.S.; Delitti, W.B.; Duque, A.; Eid, T.; Fearnside, P.M.; Goodman, R.C. Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees. Global change biology 2014, 20, 3177–3190.

8. Attar, O.; Brouziyne, Y.; Bouchaou, L.; El Bilali, A.; Ait Brahim, Y.; Chehbouni, A. Understanding the Trade-Offs between Climate Change-Induced Aridity and Agricultural Water Demand in the Souss Basin, Morocco. Frontiers in Water 2024, 6.

9. Sheikh, M.A.; Tiwari, A.; Anjum, J.; Sharma, S. Dynamics of Carbon Storage and Status of Standing Vegetation in Temperate Coniferous Forest Ecosystem of North Western Himalaya India. Vegetos 2021, 34, 822–833, doi:10.1007/s42535-021-00265-3.

10. Muñoz-Rojas, M.; Jordán, A.; Zavala, L.M.; De la Rosa, D.; Abd-Elmabod, S.K.; Anaya-Romero, M. Organic Carbon Stocks in Mediterranean Soil Types under Different Land Uses (Southern Spain). Solid Earth 2012, 3, 375–386, doi:10.5194/se-3-375-2012.

Richesse et menaces des écosystèmes des zones vulnérable de la réserve de biosphère de l'Arganeraie : une étude sur la biodiversité et les indicateurs pédoclimatique

Telmoudi Maryem [1,2*], Afi Chaima [2,3], El Kaoua Mimoun [1], Tahiri Abdelghani[2], Hsissou Driss[1], Ait Aabd Naima [2]

[1] *Natural Resources and Local Products Research Unit, Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research, Avenue En-nasr, BP415 Rabat Principale, 10090 Rabat Morocco*

[2] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, P.O. Box 8106 Agadir, Morocco*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Molecular Bioengineering, Faculty of Sci-ences Semlalia, Cadi Ayyad University, Bd. Prince My Abdallah, BP 2390, 40000 Marrakech, Morocco*

[*] *maryem.telmoudi@edu.uca.ma ; telmoudi.maryem@inra.ma*

RÉSUMÉ

La réserve de biosphère de l'Arganeraie, reconnue par l'UNESCO, souligne l'importance écologique et économique de l'arganier et de sa biodiversité associée. Face à la perte de biodiversité florale au Maroc, des efforts de conservation sont nécessaires pour prévenir une dégradation continue et la perte des services écosystémique. En mars 2021 et 2023, deux inventaires de la flore ont été réalisés selon la méthodologie des quadrats, avec un total de 8 quadrats installées pour chaque site. Les résultats ont été analysés en utilisant plusieurs indices de biodiversité (indice de Shannon, de Simpson et de Pielou), comparés aux analyses pédoclimatiques pour les deux années 2021 et 2023 pour chaque site, dans le but d'évaluer l'évolution de la biodiversité et son lien avec les conditions environnementales. Les résultants révèlent des variations significatives. Le site de Rasmouka se distingue par une biodiversité élevée, avec des indices de diversité spécifique (Indice de Shannon) élevé allant jusqu'à 2.19 en 2021 et 2.75 pour Ezzaouite indiquant une variété d'espèces considérable et une répartition équilibrée par rapport à l'année 2023 Ezzaouite 2.55 et Rasmouka 1.41 pour la même année, affiché une diversité spécifique relativement plus faible, allant jusqu'à 1.409, suggérant une variété d'espèces moins importante et des répartitions des espèces moins équilibrées. Ces résultats mettent en évidence la perte marquée dans la biodiversité entre les sites, soulignant l'importance de la conservation et de la gestion différenciée de ces écosystèmes variés. De plus, les variations climatiques et pédoclimatiques ont été identifiées comme des facteurs significatifs influençant la diversité végétale et la composition des communautés dans les écosystèmes étudiés.

Mots clés
Biodiversité ; RBA ; Indice de diversité ; Changement climatique ; Conservation.

ABSTRACT

Richness and Threats of Ecosystems in Vulnerable Areas of the Arganeraie Biosphere Reserve : A Study on Biodiversity and Pedoclimatic Indicators

The Arganeraie Biosphere Reserve, recognised by UNESCO, highlights the ecological and economic importance of the argan tree and its associated biodiversity. Faced with the loss of floral biodiversity in Morocco, conservation efforts are needed to prevent further degradation and the loss of ecosystem services. In March 2021 and 2023, two flora inventories were carried out using the quadrat methodology, with a total of 8 quadrats installed for each site (Rasmouka and Ezzaouite). The results were analyzed using several biodiversity indices (Shannon, Simpson, and Pielou indexes), compared with soil and climate analyses for the two years 2021 and 2023 for each site, to assess changes in biodiversity and its relationship with environmental conditions. The results reveal significant variations. The Rasmouka site stands out for its high biodiversity, with high specific diversity indices (Shannon Index) of up to 2.19 in 2021 and 2.75 for Ezzaouite indicating a considerable variety of species and a balanced distribution compared with the year 2023. Ezzaouite 2.55 and Rasmouka 1.41 for the same year, showed relatively lower specific diversity, up to 1.409, suggesting a lesser variety of species and less balanced species distributions. These results highlight the marked loss in biodiversity between the sites, underlining the importance of conservation and differentiated management of these varied ecosystems. In addition, climatic and pedoclimatic variations were identified as significant factors influencing plant diversity and community composition in the ecosystems studied.

Keywords

Biodiversity; RBA; Diversity index; Climate change; Conservation.

INTRODUCTION

Les forêts des zones arides représentent environ 6 % des forêts du monde et fournissent des biens et des services écosystémique essentiels à plus d'un milliard de personnes vivant dans les zones climatiques arides et semi-arides dans le monde[1].La région de l'Arganeraie a été déclarée comme une réserve de biosphère de l'UNESCO en 1998, RBA ou la réserve de la biosphère de l'arganier est principalement constituée par la population naturelle de l'arganier. En reconnaissance de sa valeur écologique et de son importance économique locale [2]. L'arganier est largement répartir dans les zones arides et semi-arides, elle joue un rôle important dans la biodiversité de l'écosystème forestier. [3], [4], Elle est fortement adaptée à l'aridité et peut survivre à des périodes de sécheresse prolongées [5] avec des précipitations annuelles comprises entre 100 et 300 m [6]. Généralement, les forêts abritent la majeure partie de la biodiversité terrestre, c'est pourquoi la préservation du biotope forestier est cruciale pour la conservation de la biodiversité mondiale. [7]. En revanche, grâce à sa situation géographique et à l'influence de différents types de climat, le Maroc possède une flore riche. En effet, près de 5200 espèces et sous-espèces de plantes vasculaires sont recensées, regroupées en 155 familles et 981 genres[8]. Concernant l'endémisme, le nombre d'espèces endémiques dans la flore est de 900. D'autre part, la flore médicinale marocaine compte 600 espèces [9]. Cette étude sur les écosystèmes des zones vulnérables de la RBA intègre l'évaluation de la richesse biologique ainsi que des menaces qui pèsent sur ces écosystèmes. Elle inclut également une analyse des indices de diversité biologique. Cette approche permet de mieux comprendre l'importance de la conservation de ces écosystèmes, en examinant comment les facteurs pédoclimatiques et les indices de diversité interagissent pour bien comprendre la biodiversité, ainsi que pour éviter la dégradation de la biodiversité et la perte subséquente des services écosystémique dans le futur.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Etude des Sites

Cette étude a été menée dans une zone vulnérable

plantée d'arganiers en bordure des forêts de la RBA, dans le sud-est du Maroc. Les deux plateformes sont géographiquement situées dans la RBA entre 29°7'-31°3'N et -9°50'E. les deux plateforme sont sur le même longitude (-9.5) et ils ont la même texture du sol (sableux limoneux) (Tab.1).

Tableau 1. La géographie des deux plates-formes de la zone d'étude dans le sud-ouest du Maroc.

Province	Origin des sites	Code	Latitude (N)	Longitude (W)	Elevation (m)	Precipitation en mm/periods	la texture du Sol
Tiznit	Rasmouka	*Rs*	29.7	-9.5	207	151.9±22.4[10]	sableux limoneux
Essaouira	Ezzaouite	*Ezz*	31.3	-9.5	377	275.8±29.6[10]	sableux limoneux

2.2 Plan d'expérience

La méthodologie est appliquée pour les deux plateformes de plantations de l'arganier, dans chaque site une parcelle de 250 m × 250 m a été installé et dans chaque parcelle deux unité d'échantillonnages (placette de 50 m × 50 m) ont été installées et opposées l'un de l'autre. Dans chaque placette, quatre quadrats de 1 m × 1 m ont été fixé pour l'inventaire, ce qui donne un total de huit quadrats dans chaque site.

2.3 Diversité des plantes et analyse de la végétation

Nous avons identifié taxonomiquement tous les arbres, arbustes et herbes dans les quadrats d'échantillonnage par leur nom scientifique. La plupart des espèces végétales ont été identifiées sur le terrain lors de l'étude de la végétation. Les échantillons des espèces non identifiées sur le terrain ont été collectés, pressés, séchés et identifiés au laboratoire. Les noms scientifiques des espèces végétales ont été déterminés selon la liste des plantes : La flore du Sahara marocain oriental : https://atlas-sahara.org/flore/_flore/_flore.html?cat=index.

Dans chaque site d'étude, la structure de la végétation et les variables de biodiversité ont été calculés en termes de richesse des espèces (S), l'indice de diversité de Shannon-Wiener (H'), l'indice de dominance de Simpson (D) et l'indice de régularité de Pielou (J),.

L'indice de la richesse des espèces (S) représente le nombre total d'espèces dans un échantillon.

L'indice de diversité de Shannon-Wiener (H') combine la richesse spécifique et l'uniformité de l'abondance des espèces. Une valeur plus élevée indique une diversité spécifique plus élevée.

L'indice de dominance de Simpson (D), mesure la probabilité qu'une paire d'individus tirée au hasard de l'échantillon appartienne à la même espèce. Une valeur plus élevée indique une diversité spécifique plus faible.

L'indice de Pielou (J) mesure l'uniformité de l'abondance des espèces dans un espace étudié. Une valeur plus élevée de cet indice indique une distribution plus uniforme des espèces, tandis qu'une valeur plus faible suggère une distribution moins uniforme, avec certaines espèces dominantes par rapport à d'autres.

2.4 Les variables pédologiques

Pour l'échantillonnage du sol, trois emplacements aléatoires ont été sélectionnés dans chacune des parcelles de 250 m × 250 m des deux plateformes. Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une tarière standard à des profondeurs de 0 à 10 cm. Les prélèvements ont été faits en mars 2021 et 2023. Les paramètres du sol comprenaient texture du sol (teneur en sable, en limon et en argile), la matière organique du sol(OM) le carbone organique du sol (OC), l'azote total (N) et le phosphore disponible (Pava), la conductivité électrique (EC), le rapport C/N et le pH.

2.5 Les variables climatiques

La réserve de biosphère de l'arganier a été durement touchée ces dernières années par des vagues de chaleur et sécheresse, qui ont entraîné une perte de la couverture végétale et des changements dans l'utilisation des terres. On distingue deux saisons : une saison des pluies (novembre-Avril) et une saison sèche (Mai-octobre). Les précipitations annuelles moyennes dans ces régions varient de 100 à 400 mm[10]. La RBA a un climat aride et semi-aride, avec une température moyenne annuelle de 19.4° C[10]. L'altitude varie de 200 à 370 m. La plantation a été réalisée entre novembre-2019 et février-2021, et le suivi commence en mars-2021. Le suivi et l'échantillonnage ont été effectués à deux reprises en mars 2021 et mars 2023.

Les données ont été extraites de la plateforme des

données climatiques mondiales Nasa (power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/). Les paramètres sont été calculés pour la saison des pluies (novembre-mars), les températures moyennes, minimales et maximales l'humidité spécifique (g/kg), ainsi que la moyennes des précipitations (mm/jour) ont été obtenues à partir de Nasa.

2.6 Analyse statistique

Le testes ANOVA ont été réalisé pour étudier la différence entre les deux plateformes, Des tests post-hoc de Tukey sur l'étendue multiple ont été utilisés pour comparer les moyennes. Les indices de la diversité ont été calculé à l'aide de package "Vegan"[11]. Les analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées pour analyser les relations entre les variables de l'écosystème par sites et pour mettre en évidence les principales composantes. Les ACP ont été réalisées à l'aide des packages "FactoMineR" et "factoextra".Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sous le logiciel R version 4.3.1.

RÉSULTATS

3.1. la différence des variables pédologiques entre les deux sites

Tous les variables environnementales possèdent une différence significative entre les deux sites pour les deux années sauf le rapport carbone azote pour les deux années (Tableau 2). Le Phosphore assimilables a une différence hautement significative entre Rs et Ezz en 2021 et en 2023 (<0.01). L'azote total est significatif en 2021 (<0.05) et non significatif en 2023 et contrairement pour l'EC qui est non significatif en 2021(p>0.05) et hautement significatif en 2023. Le pH possède une différence significatif pour les deux année. (<0.05). Une diminution brutale du phosphore au site de Rasmouka entre les deux années 2021-2023. Avec une augmentation du pH (Tab.2). La matière organique et le carbone organique ont une différence hautement significatif en 2021(<0.01) et significatif en 2023 (<0.05) (Tableur 2).

Tableau 2. La comparaison des valeurs moyennes (± erreur standard) des propriétés du sol entre les deux site en 2021 et 2023.

	2021			2023		
	Rs	Ezz	*P-value*	Rs	Ezz	*P-value*
Pava µg/g	14.26±1.81	29.74±2.75	0,001 **	5.47±1.04	44.27±8.95	0,002 **
N %	0.06±0.03	0.17±0.04	0,023 *	0.08±0.08	0.07±0.01	0,804 Ns
PH	8.27±0.3	7.45±0.12	0,012 *	7.8±0.17	7.47±0.12	0,05 *
EC (µs/cm)	115.6±48.1	236.28±63.95	0,059 Ns	172.63±19.82	422.57±72.31	0,004 **
OM %	0.62±0.05	2.24±0.33	0,001 **	1.98±0.4	3.3±0.33	0,012 *
OC %	0.36±0.03	1.3±0.19	0,001 **	1.15±0.23	1.92±0.19	0,012 *
C/N %	6.27±1.93	7.93±1.66	0,322 Ns	26.82±19.58	29.39±6.85	0,841 Ns

(***p < 0.001;** P < 0.01; * P < 0.05; NS : non significatif p >0.05).

3.2.Résultats des indices de la diversité

Dans cette étude, nous avons évalué la diversité biologique de deux plateformes données en utilisant plusieurs indices de diversité. Ces indices sont des outils qui nous permettent de quantifier la variété des espèces présentes dans un environnement donné, ainsi que la répartition de leur abondance. Dans cette présentation des résultats, nous examinerons les valeurs des indices de diversité, notamment l'indice de Shannon, l'indice de Simpson, la richesse spécifique et l'indice d'evenness de Pielou, pour deux différents sites de l'écosystème de la RBA au fil du temps. (Tableau.3).

Les données révèlent que Rs présente une richesse spécifique plus élevée qu'Ezz à la fois en 2021 et en 2023. Cette constatation suggère une réduction du nombre total d'espèces entre 2021 et 2023 (Tableu 3). Concernant l'indice de Shannon (H') qui est un outil important pour évaluer la diversité spécifique dans un écosystème, nous observons une diminution de cet indice entre 2021 et 2023 pour les deux sites. En 2021, l'indice de Shannon était de 2.76 pour Rs et de 2.55 pour Ezz, tandis qu'en 2023, il a diminué à 2.19 pour Rs et à 1.41 pour Ezz (Tableau 3). Cette diminution suggère une réduction de la diversité spécifique au fil du temps dans les deux sites étudiés.

Les résultats de l'indice de Simpson montrent une augmentation entre 2021 et 2023, passant de 0.09 à 0.16 pour Rs et de 0.09 à 0.30 pour Ezz respectivement (Tableau 3). Cette augmentation indique une réduction de la diversité spécifique au fil du temps. Notamment, les deux sites ont la même abondance en 2021 avec un indice de Simpson de 0.09. Concernant l'indice de Pielou, nous observons une diminution de cet indice entre 2021 et 2023, indiquant une diminution de l'uniformité de la distribution des espèces au fil du temps. En 2021, l'indice de Pielou était de 0.80, tandis qu'en 2023, il a diminué à 0.76 (Tableau 3).

Les résultats suggèrent une diminution de la diversité

spécifique et de l'uniformité de la distribution des espèces entre 2021 et 2023, ce qui pourrait indiquer un changement dans les conditions environnementales ou d'autres facteurs influençant la composition de l'écosystème étudié.

Tableau 3. Les indices de la diversité des deux sites en 2021 et 2023.

	2021		2023	
les indices de la diversité	**Rs**	**Ezz**	**Rs**	**Ezz**
L'indice de Simpson (D)	0.09	0.09	0.16	0.30
l'indice de Shannon (H')	2.76	2.55	2.19	1.41
l'indice de la richesse (S)	31	20	18	9
L'indice de Pielou (J)	0.80	0.851	0.76	0.64

3.3. la diférrence des variables climatiques entre les deux sites

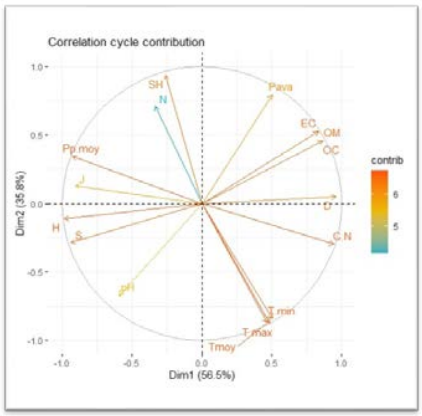
Toutes les variables climatiques montrent une différence significative entre les deux sites pour les deux années, à l'exception des précipitations qui ne présentent pas de différence significative (Tableau 4). Une augmentation de la température moyenne maximale et minimale est observée entre les deux années pour Rs et Ezz. La température moyenne et maximale montre une différence hautement significative en 2021 et en 2023. La différence des moyennes de la température minimale n'est pas significative en 2021, mais elle devient significative entre les sites en 2023. Nous constatons également une diminution de la moyenne de l'humidité spécifique à Rs et Ezz, avec une différence devenant hautement significative en 2023 ($p<0.01$), tandis qu'elle était significative en 2021 ($p<0.05$).

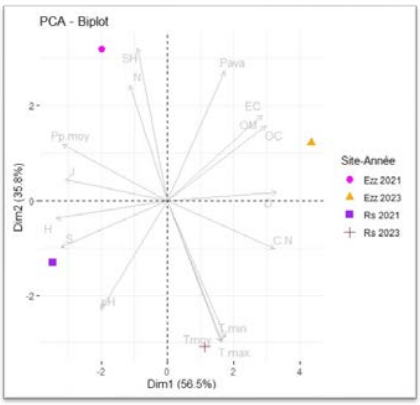
Tableau 4. Les Valeurs moyennes (± erreur standard) des données climatiques des deux sites en 2021 et 2023.

	2021			2023		
Les variables climatiques	**Rs**	**Ezz**	**P-value**	**Rs**	**Ezz**	**P-value**
T max (°C)	21.67 ± 4.08	20.14 ± 4.25	0,002 **	23.57 ± 4.71	22.11 ± 4.27	0,005 **
T min (°C)	11.05 ± 3.06	10.49 ± 2.97	0,11 Ns	12.11 ± 3.5	11.34 ± 3.1	0,044 *
T moy (°C)	15.38 ± 3.19	14.41 ± 3.14	0,008 **	16.83 ± 3.91	15.68 ± 3.32	0,006 **
SH g(/kg)	6.76 ± 1.28	7.11 ± 1.15	0,013 *	6.28 ± 1.53	6.82 ± 1.4	0,002 **
Pp (mm/J)	2.06 ± 8.79	2.01 ± 5.84	0,956 Ns	0.99 ± 3.36	0.93 ± 2.36	0,851 Ns

(***p < 0.001;** P < 0.01; * P < 0.05; NS : non significatif p >0.05).

(a)





(b)

Figure2. Analyse en composantes principales (ACP) de la composition de la diversité, appliqué aux sites Rs et Ezz sur les deux années, montrant les indices de la diversité et les caractéristiques pédo-climatiques, à la force de la corrélation avec les axes. Les indice de diversité : indice de Shannon (S), Indice de Simpson (D), indice de la richesse (H), indice de Pielou (J) : Phosphore assimilable (Pava) , Carbone organique (OC), Conductivité électrique (EC), Azote total (N), Rapport carbone/azote (C/N) , Matière organique (OM) et le pH ; les facteur climatique :Précipitation (Pp),Température moyenne (Tmoy), Température maximal (Tmaxi), Température minimal (Tmin), Humidité Spécifique (SH).(a) Corrélation cycle contribution (b) Biplot de l'analyse en composantes principales (ACP ordination des tous les paramètres étudier.

La partie positive du PC2 est caractérisé par le phosphore assimilable, l'azote Total et l'Humidité spécifique. En revanche les valeurs du pH, la température moyenne, la température maximale, et la température minimale sont les principales variables associées dans la partie négative du PC2.Le PC2 qui, du côté positif, s'oppose au site d'Ezzaouite en 2021 est caractérisé par l'azote total plus élevée au site de Rasmouka de la même année avec une régularité plus faible. La matière organique et le Carbone organique sont très élevés à Ezzaouite en 2023.On constate que la majorité des variables sont très proche du cercle de corrélation et donc très bien représentés sur le mapping (Fig.2a).

Les variables de l'indice de Shannon, de Pielou, la richesse et les précipitations sont assez bien corrélées entre elles. En revanche, l'angle entre les variables azote-humidité spécifique et l'indice de Shannon indique que ces deux variables sont indépendantes entre elles mais il sont dépanadant à la précipitation et l'indice de Pielou. Les précipitations sont corréler négativement avec le rapport C/N. ainsi que le pH avec le phosphore, l'azote avec la température minimal et l'humidité spécifique avec la température moyenne.

On remarque que le site d'Ezzaouite en 2021 a une humidité spécifique et un pourcentage de l'azote total très élevée, par contre en 2023 on voie que la matière organique et carbone organique sont très élevés et ses deux derniers sont très bien corrélés entre eux. En revanche le site Rasmouka 2021 est marqué par une température minimale élevée et une richesse plus remarquable par contre 2023 est marquée par une température moyenne importante.

DISCUSSION

La relation entre les saisons et la diversité végétale

Dans cette étude, les précipitations en 2023 étaient beaucoup plus basses qu'en 2021. Dans l'ensemble, la distribution de la richesse et de l'indice de Shannon des espèces est influencée par deux facteurs principaux : l'année en cours et les niveaux de précipitations pendant la période s'étendant de Novembre à Mars. Les températures et les précipitations sont les principaux moteurs des changements saisonniers[12], [13]. Cette relation met en évidence une corrélation positive entre la diversité des espèces et les conditions climatiques de la saison, suggérant que les fluctuations annuelles et les schémas de précipitations dans cette période spécifique jouent un rôle crucial dans la composition et l'abondance des espèces présentes dans l'écosystème étudié. La période de croissance des plantes est courte, et les changements saisonniers ont un impact profond sur le cycle de croissance des plantes[12].

Nos résultats indiquent qu'il y a une corrélation négatif entre l'indice de la diversité de Shannon et l'indice de Simpson de la dominance des espèces, en outre quand la diversité de Shannon est très élevée la dominance des espèces diminue par contre, quand la diversité de Shannon diminuer la dominance de certain espèces augmente. En revanche plus qu'il y a des conditions favorable plus la diversité spécifique est élevée (plus d'espèces différentes présentes) et moins de dominance, et plus les conditions deviant strictes moins la diversité spécifique est élevée (une espèce dominante ou quelques espèces dominantes).

La relation entre les propriétés du sol et la diversité végétale

La teneur en MO pour Rasmouka et Ezzaouite et moins de 5% pour les deux années. Tous les sols étudiés avaient une teneur (<5%) en matière organique (MO) typique des sols semi-arides et arides[14]. Même que le site d'Ezz contient un teneure plus élevée en MO que sites de Rs pendant les deux années mais il reste moins diversifié. En revanche que les deux sites reçoit la même quantité en précipitations, on peut explique cette diminution de la diversité a Ezz par l'augmentation de l'Ec qui était influencé par la présence en excès de certain élément qui provoque un déséquilibre. La diversité des plantes peut donc être quelque peu limitée par ce facteur. La EC du sol pourrait affecter la croissance et le développement des plantes[12]

Les changements dynamiques de la structure et de la diversité des communautés végétales au fil des saisons sont influencés par un ensemble de variables climatiques, de caractéristiques du sol et d'interactions biotiques[13].

CONCLUSIONS

Les résultats ont révélé des variations de la diversité des espèces végétales, des propriétés du sol et du climat entre les deux sites au cours de la même année et pour le même site aux différentes années. Plus précisément, la plus grande diversité végétale a été identifiée en 2021 pour les deux sites, ce qui indique les effets primordial du climat, avec une combinaison avec le sol et des facteurs biologiques.

En conclusion, cette étude fournit des informations précieuses pour la conservation de la biodiversité et le développement durable des écosystèmes dans les deux plateformes de l'arganiculture. De plus, cette

étude souligne l'importance de prendre en compte les variations pédoclimatiques lors de l'étude de la diversité végétale, car les différentes années d'une même saison présentent des disparités significatives des espèces.

Bien que cette étude ait permis d'obtenir certains résultats, elle présente encore quelques limites. En raison des différents schémas de croissance des plantes annuelles au cours des différents sites. En outre, en raison de certaines contraintes, cet article n'a pas intégré les éléments minéraux dans l'analyse. Les recherches futures devraient approfondir les relations entre les diversités des espèces et le climat, le sol et l'environnement au sein des différentes plateformes d'Arganeraie. Cela contribuera à une compréhension plus complète des caractéristiques de la biodiversité et l'interaction avec l'écosystème.

Dans cette étude, nous avons démontré que pour la même saison mais sur deux années différentes, les communautés végétales dans les deux sites présentaient des structures distinctes. Cette différence est principalement attribuée à l'impact du changement climatique saisonnier sur les propriétés du sol. Les variations dans les conditions climatiques entre ces deux années ont entraîné des différences dans les caractéristiques physiques et chimiques du sol dans chaque site. Ces variations ont ensuite influencé la diversité et la composition des communautés végétales observées.

Cependant, bien que les propriétés du sol aient joué un rôle dans la différenciation des communautés végétales entre les deux années, nos résultats suggèrent que les conditions climatiques ont eu une influence plus marquée sur ces différences. En d'autres termes, les variations climatiques entre les deux années ont été le principal moteur des changements observés dans la structure des communautés végétales, avec des conditions météorologiques telles que les températures, les précipitations et l'humidité jouant un rôle prédominant dans la détermination de la composition et de la distribution des espèces végétales dans chaque site.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Y. Yann le Polain de Waroux and E. F. Lambin, "Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: The case of the argan woodlands (Morocco)," *Appl. Geogr.*, vol. 32, no. 2, pp. 777–786, 2012, doi: 10.1016/j.apgeog.2011.08.005.

[2] T. J. Lybbert, "Patent disclosure requirements and benefit sharing : A counterfactual case of Morocco ' s argan oil," vol. 64, 2007, doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.06.017.

[3] N. Ait Aabd, F. El Ayadi, F. Msanda, and A. El Mousadik, "Genetic variability of argan tree and preselection of the candidate plus trees," *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca,* vol. 38, no. 3, pp. 293–301, 2010.

[4] N. A. Aabd, F. El Ayadi, F. Msanda, and A. El, "Evaluation of agromorphological variability of Argan tree under different environmental conditions in Morocco : Implication for selection," vol. 3, no. March, pp. 73–82, 2011.

[5]Fouad Msanda1 Ahmed El Aboudi2 Jean-Paul Peltier3, "Biodiversité et biogéographie de," vol. 14, pp. 357–364, 2005.

[6] M. Z. F. Ain-Lhouta, S. Boutalebb, M.C. Diaz-Barradasc,*, J. Jaureguic, "Monitoring the evolution of soil moisture in root zone system of *Argania spinosa* using electrical resistivity imaging," *Agric. Water Manag.*, vol. 164, pp. 158–166, 2016, doi: 10.1016/j.agwat.2015.08.007.

[7] F. Tinya et *al.*, "Science of the Total Environment Environmental drivers of forest biodiversity in temperate mixed forests – A multi-taxon approach," vol. 795, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148720.

[8] E. Idm'Hand, F. Msanda, and K. Cherifi, "Ethnobotanical study and biodiversity of medicinal plants used in the Tarfaya Province, Morocco," *Acta Ecol. Sin.*, vol. 40, no. 2, pp. 134–144, 2020, doi: 10.1016/J.CHNAES.2020.01.002.

[9] M. Barkaoui, A. Katiri, H. Boubaker, and F. Msanda, "Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the traditional treatment of diabetes in Chtouka Ait Baha and Tiznit (Western Anti-Atlas), Morocco," *J. Ethnopharmacol.,* vol. 198, no. January, pp. 338–350, 2017, doi: 10.1016/j.jep.2017.01.023.

[10] H. El Ghazali, S. Daoud, and N. Benoada Tlemçani, "Impact of Climate Change on the Argan Biosphere Reserve (ABR) in Morocco," no. May, 2021, doi: 10.20944/preprints202105.0536.v1.

[11] et al. Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., "Package ' vegan ' R topics documented :," *Vegan community Ecol. Packag. R Packag.* version 2.6-4, 2022, [Online]. Available: https://cran.r-project.org/package=vegan .

[12] W. Zhao, D. Wang, K. Huang, and S. Liu, "Seasonal variation in the soil fungal community structure of Larix gmelinii forests in Northeast," no. March, pp. 1–10, 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1106888.

[13] P. Yan, X. Lu, G. Liang, Q. Tang, and S. Ding, "Seasonal and habitat dependence of plant species , functional and phylogenetic diversity in agricultural landscapes," *Ecol. Indic.*, vol. 160, no. September 2023, p. 111795, 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.111795.

[14] F. Rahmanipour, R. Marzaioli, H. Ali, and Z. Fereidouni, "Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin," vol. 40, pp. 19–26, 2014

Développement de l'arganiculture en milieu dégradé : interprétation des tendances spatiotemporelles dans le rétablissement des zones vulnérables

Naima Ait Aabd[1*], Fatima Ghaffour[1,2], Hilal Bahadou[1], Maryem Telmoudi [1,3], Naima Chabbi[1,3], Afi Chaima[1,4], Abdelghani Tahiri[1], Redouan Qessaoui[1], Abdelaziz Mimouni[1]

[1] *Centre régional de recherche Agronomique d'Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Avenue Ennasr, BP 415 Rabat*

[2] *Faculté Polydisciplinaire, Université Ibn Zohr, Hay El Mohammadi (Lastah) B.P 271 Taroudant.*

[3] *Laboratoire de Biotechnologie et Bioingénierie Moléculaire, Faculté des Sciences et Technologies, Université Cadi Ayyad, BP 549, Av. Abdelkarim, Marrakech*

[4] *Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Ressources Natu-relles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Boîte postale 8106 Agadir*

[*] *naima.aitaabd@inra.ma*

RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet DARED, cette étude est concentrée sur le suivi et la détection des changements d'occupation du sol avant et après l'installation de ce projet par une étude diachronique d'images satellites multi-temporelles combinés avec les outils des SIG.

Après l'utilisation de site « Earth Explorer » pour télécharger les images satellitaires à moyenne résolution (10m) Sentinel en 2018, 2021 et 2022. Ces images soumettent d'un prétraitement (corrections atmosphériques) par la méthode DOS sur QGIS, après l'application d'un algorithme de classification (maximum de vraisemblance) sur ENVI 5.3. Enfin, pour avoir le degré de changement d'occupation de sol, la méthode de post-classification sur ArcMap a effectué. Les classes des images ont choisis selon les caractéristiques de sol de chaque zone d'étude.

Les résultats indiquent que la superficie des surfaces construites et sol nu est étendue, tandis que, l'activité agricole a été diminué presque dans toutes les zones d'études. La végétation naturelle forte densité a connu une régression aussi entre 2018 et 2021.

Mots clés
Arganiculture, projet DARED, Télédétection, SIG, images satellitaires, occupa-tion de sol.

ABSTRACT

Development of arganiculture in degraded environments: interpretation of spatial and temporal trends in the recovery of vulnerable areas

the study focused on the monitoring and detection of changes in land be-fore and after the installation of "DARED" project through a diachronic study of multi-temporal satellite images combined with GIS tools.

Sentinel satellite images with medium resolution (10m) was download in 2018, 2021 and 2022. These images undergo preprocessing (atmospher-ic corrections) by the DOS method on QGIS, after the application of a classification algorithm

Keywords
Arganiculture, DARED project, Remote sensing, GIS, satellite images, land use

(maximum likelihood) on ENVI 5.3. Finally, to have the degree of change in land use, the post-classification method on ArcMap was carried out. The image classes were chosen according to the soil characteristics of each study area.

The results indicate that the surface area of built-up areas and bare soil is extensive, while agricultural activity has been reduced almost in all study areas. High density natural vegetation also experienced a decline between 2018 and 2021.

INTRODUCTION

L'arganier *(Argania spinosa* (L). Skeels) est une sapotacée endémique du centre-ouest du Maroc, où elle couvre une superficie de plus de 870.000 Ha. Sa principale aire géographique s'étend entre les embouchures d'Oued Tensift (au Nord) et Oued Souss (au Sud) avec des reliquats au nord et du sud. C'est une espèce agro-sylvo-pastorale qui présente un intérêt aussi bien économique et social qu'écologique. C'est la seule espèce arboricole de l'étage bioclimatique aride qui arrive à former des forêts assurant la subsistance de la population riveraine et dont l'exploitation représente une source de revenu importante, [1]. Vraiment, il s'agit d'une curiosité singulière du Maroc que ce soit au niveau biogéographique, écologique ou forestier.

C'est pourquoi, l'UNESCO en 1999 élaboré pour la première fois au MAB (Programme de l'homme et de la biosphère) le terme réserve de biosphère d'Arganier, qu'il s'agit d'un outil de conservation et de gestion de l'environnement afin de promouvoir le développement durable.

Toutefois, plusieurs études ont révélé un déclin alarmant dans les forêts de cette espèce. [1]- [2]. Les causes sont multiples ; le changement climatique, la croissance démographique, l'urbanisation, les activités anthropiques, les incendies, contribuent à la déforestation et la dégradation de couvert végétal autour du monde.

Le grand avantage de télédétection spatiale et le système d'information géographique (SIG) ont permis d'observer de façon continue la surface de la terre et créer de grandes bases de données dont l'exploitation fournit des informations sur l'état des ressources naturelles, des écosystèmes locaux et de leur évolution.

A cet égard, notre étude s'articule sur le suivi des changements d'occupation de sol dans deux plateformes d'arganiculture dans les zones vulnérables (Guelmim et Tiznit) durant la période comprise entre 2018 (avant l'installation du projet DARED) et 2021-2022 (après l'installation du projet), avec l'exploitation des informations des images satellitaires à moyenne résolution (10 m).

MATERIAL AND METHODES

2.1. Zones d'études

Deux sites du projet DARED appartenant à deux provinces (Tiznit et Guelmim) font l'objet de cette étude à savoir Rasmouka/Tiznit, et Laqsabi/Guelmim.

2.2. Source de données et prétraitement des images

Les images satellitaires Sentinel 2 : 2018, 2021 et 2022 ont été acquises dans la période moins nuageux du mois décembre, période favorable pour une meilleure perception des communautés végétales dans la zone d'étude, à partir de la source USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/).

Le traitement des images satellitaires, est une étape importante car elle permet d'obtenir des bonnes valeurs de l'énergie réfléchie ou émise sur un point quelconque de la surface terrestre. Plusieurs approches ont été faites par des outils de SIG (ArcGis, QGis, ArcMap, ENVI), Google earth pour effectuer plusieurs opérations : Assemblage des bandes spectrales, corrections atmosphériques, fusion des bandes spectrales, découpage de la zone d'intérêt et amélioration spectrale (Calcul d'indice NDVI).

2.3. Classification thématique des images de télédétection

Pour détecter la dynamique et le changement d'occupation du sol, plusieurs méthodes de classifications ont été adoptés dans ce sens. Les procédures de classifications permettent la création des cartes thématiques. Dans notre cas, la classification supervisée a été adoptée.

Les valeurs de l'image classée ont été confrontées avec celles du terrain, pour le choix des classes d'occupation de sol. Ainsi, l'évaluation de la classification par une matrice de confusion, est basée sur le calcul des erreurs

d'omission et de commission, la précision globale par le coefficient Kappa K, précision de producteur et précision de l'utilisateur. Les calculs ont permis de donne une idée sur la qualité des cartes générées à partir des données traitées, après la vali-dation de la classification et génération des cartes d'occupation de sol et détection et quantifica-tion des changements, plusieurs classes ont été choisis et validées pour faire le suivi et détection des changements qui sont (parcelles cultivées (PC), végétation naturelle forte (VNF), végétation naturelle faible (VNFA).

2.3. Détection des changements

2.3.1. Calcul des superficies

Sous ARCMAP, les cartes classées ont été convertis en mode vecteur, puis la superficie occupée est calculée pour chaque classe en hectare et le pourcentage par rapport à la superficie total de la zone d'étude.

2.3.2. Taux d'évolution

Le taux d'évolution a été calculé en utilisant l'équation suivant (Attanda Mouinou IGUE, 2010)

$$C = \frac{S2 - S1}{S1} * 100$$

Sachant que ; S1 et S2 la superficie d'une catégorie du sol à ladatet1 et t2.

2.3.3. Moyen annuel d'expansion spatiale

Ce paramètre consiste à la proportion de chaque unité d'occupation des terres qui change annuellement. A partir de la superficie des unités d'occupation de sol, ce taux a été calculé à par-tir de la formule de Bernier (1992) : (Mouhamadou, 2019)

$$T = [(lnS2 - lnS1) / ((t2 - t1))] \times 100$$

S1 et S2 : Superficie d'une unité paysagère à la date t1 et t2 respectivement ;

t2– t1 : Nombre d'années d'évolutionet VLn : Logarithme népérien

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Collecte et prétraitement des données obtenues de deux sites (laqsabi et Rasmouka) à partir des images satellitaires Sentinel 2 (10 m) : 2018 et 2021, 2022

3.1. Plateforme Laqsabi/Guelmim

La figure 1 et la figure 2 illustre l'évolution des classes choisis pour suivi l'occupation du sol de la,plateforme Laqsabi, ces classes sont superficies sol peu évolué d'apport allu-vions (Sol.A.AL), surfaces construites (SC), végétation naturelle faible densité (VNFD), par-celles cultivées (PC), Oued noun (ON) pour l'année de 2021 et 2022, exprimée en hectare et en pourcentage par rapport à la superficie totale de Laqsabi à Guelmim. D'après ces figures, La classe « sol nu » a connu une baisse de 1.28 % (42,59ha), entre les années 2021 et 2022 et pour la classe « surfaces construites », on remarque une évolution de 0.38% (9,37ha) durant cette période. Cependant, la superficie de « végétation naturelle faible » a baissé de 4.03% (110,09ha). En ce qui concerne la classe «sol peu évolué d'apport sur alluvions », a marqué une baisse de 8.26% (240,47ha), ainsi que la classe « oued noun» une régression très légère de 0.04% (1,16ha) entre 2021 et 2022. D'après les calculs de ces paramètres, on remarque qu'une régression de sol nu, avec un taux d'évolution de 6.39 % et un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 6.61% entre 2021 et 2022.

La végétation naturelle faible densité se caractérise par une régression durant cette période, soit un taux d'évolution de 59.64%, un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 90.74% entre 2021 et 2022. Par ailleurs, oued noon a connu une régression de 15.48 %, le taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 16.82%.

Les surfaces construites ont enregistré une progression remarquable entre 2021 et 2022, avec un taux de progression de 13.16%, un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 12.37%. En parallèle, la classe sol peu évolué d'apport sur alluvions a connu une régression, soit un taux d'évolution de 21.72%, un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 24.49% durant cette période. La figure 3 montre les différents changements d'occupation de sol de Laqsabi Tagoust entre 2021 et 2022.

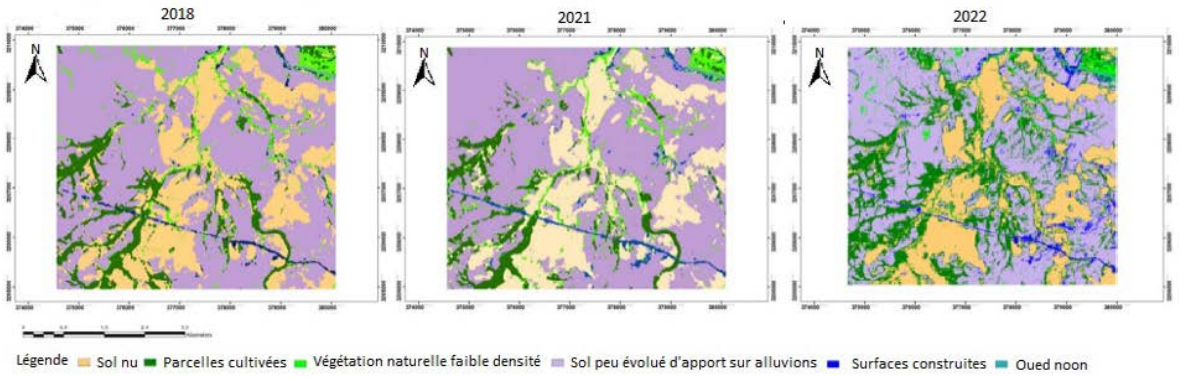


Figure 1. Répartition spatio-temporelle de l'occupation des sols à différentes périodes de 2018, 2021 et 2022 à Laqsabi /Guelmim.

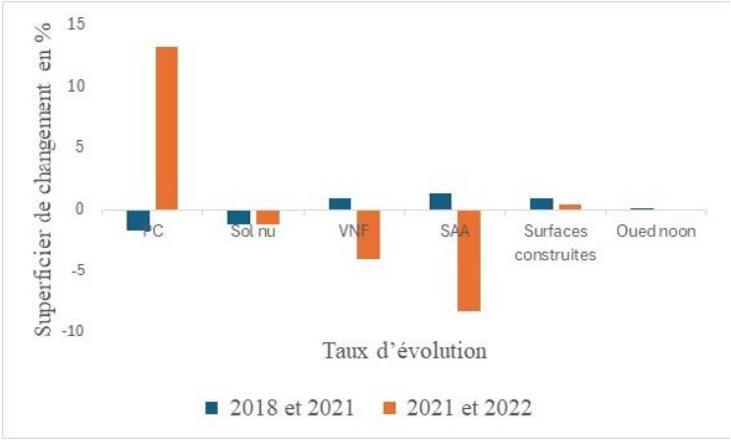


Figure 2. Evolution des superficies d'occupation du sol à Laqsabi/Guelmim avant (2018-2021-2022) et après (2021-2022) l'installation projet DARED

PC : parcelles cultivées, VNF : végétation naturelle forte, SAA : : sol peu évolué d'apport alluvion

Les changements négatifs sont répartis dans le sud-est et sud-ouest de LAQSABI TAGOUST, face à une régression de la végétation naturelle faible densité dans cette partie. Concernant les changements positifs se répartissent dans le centre et nord-ouest, nord-est et sud-ouest, qui re-vient d'augmentation de superficie de surfaces construites et parcelles cultivées (Figure 3).

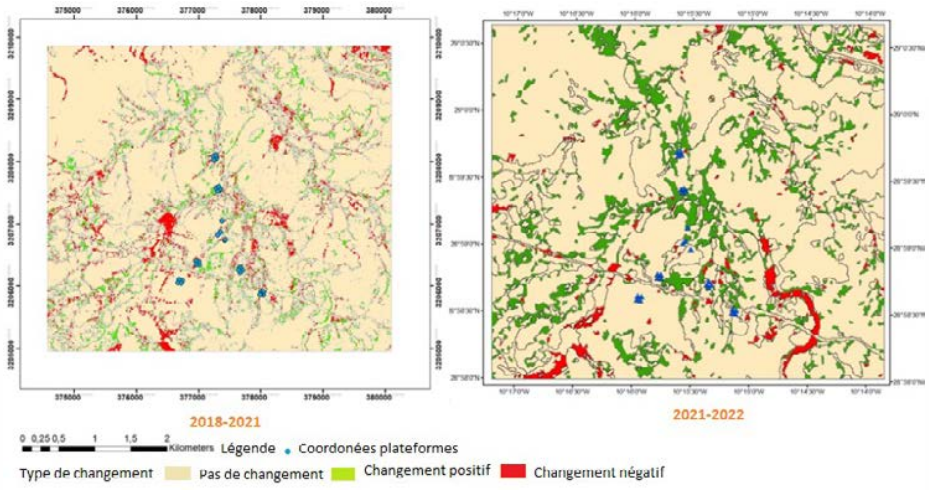


Figure 3. Répartition spatiale des changements d'occupation du sol/site Laqsabi entre 2018 et 2021 et entre 2021 et 2022.

3.2. Plateforme Rasmouka/Tiznit

la variation des superficies de l'occupation du sol nu (S.N), végétation dégradée (V.D) ; sur-faces construites, (SC) végétation naturelle forte densité (V.N.F) ; parcelles culti-vées (PC) ; végétation naturelle moyenne densité (V.N.M) pour l'année de 2021 et 2022 (Fi-gure 4 et Figure 5), exprimée en hectare et en pourcentage par rapport à la superficie totale de Rasmouka à Tiznit montre que la classe « sol nu » a connu une baisse de 22.62 % (603,47ha), entre les années 2021 et 2022. Pour la classe « parcelles cultivées », on remarque une évolution de 14.59% (389,03ha) durant cette période. Pour la classe « végétation naturelle forte », on observe une régression de 8.94% (238,54ha) entre 2021 et 2022. Par contre la superficie de « végétation naturelle faible » a évolué de 13.12% (349,93ha). En ce qui concerne la classe « surfaces construites », a marqué une hausse de 3.87% (103,08ha) entre 2021 et 2022 (figures 4 et 5).

On note aussi une progression des parcelles cultivées entre 2021 et 2022, avec un taux d'évolution de 332.57%, un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 146.45%. Une régression de sol nu, avec un taux d'évolution de 51.97% et un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 73.33% entre 2021 et 2022. La végétation naturelle faible se caractérise par une progression durant cette période, soit un taux d'évolution de 46.94%, %, un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 38.48% entre 2021 et 2022. Par ailleurs, végétation naturelle forte a connu une régression de 46.35 %, le taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 62.28%. Pour les surfaces construites ont connu une progression remarquable entre 2021 et 2022, soit un taux d'évolution de 79.7% et un taux moyen annuel d'expansion spatiale est de 58.61%.

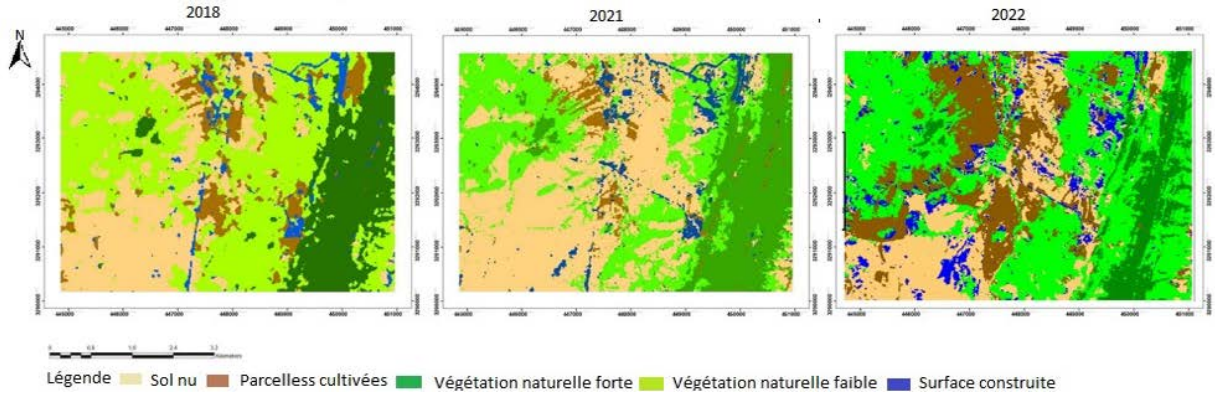


Figure 4. Carte d'occupation de sol à Rasmouka/Tiznit en 2018, 2021 et 2022.



Figure 5. Evolution des superficies d'occupation du sol à Rasmouka avant et après l'installation projet DARED

PC : parcelles cultivées, VNF : végétation naturelle forte, VNFA : végétation naturelle faible

Pour la détection des changements spatio-temporels, la figure ci-dessous montre les différents changements d'occupation de sol de Rasmouka entre 2021 et 2022 (Figure 6).

Les changements négatifs sont répartis dans le nord-est et le sud-est de Rasmouka, face à une régression de la végétation naturelle forte dans cette partie. Concernant les changements posi-tifs se répartissent dans le centre et nord-sud-ouest, qui revient d'augmentation de superficie de surfaces construites, parcelles cultivées

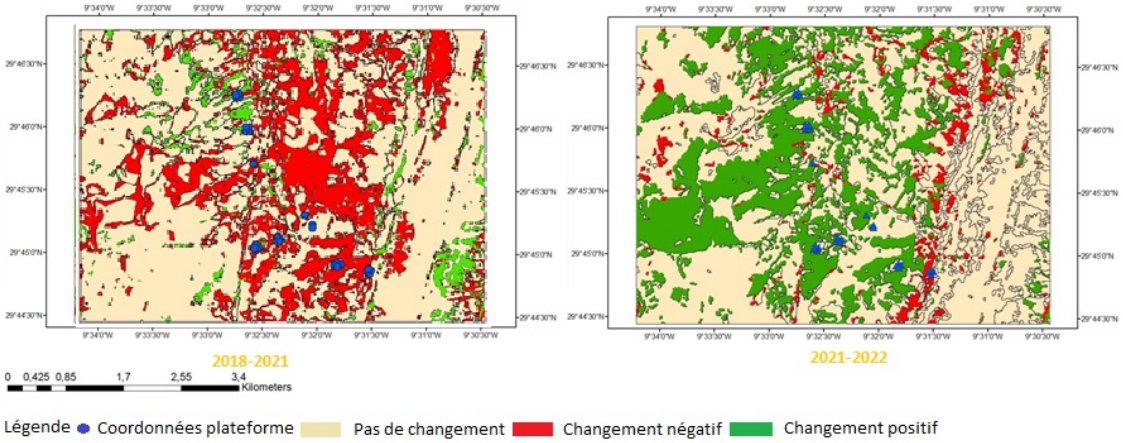


Figure 6. Répartition spatiale des changements d'occupation du sol/site Rasmouka entre 2018 et 2021 et entre 2021 et 2022.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus lors de détection des changements entre 2018 et 2021 ont montré que les superficies des sols nus ont régressé presque dans la majorité des zones d'études, en revanche la superficie de surface construite a connu une progression remarquable entre 2021 et 2022. Mais pour la végétation moyenne à faible densité a enregistré une hausse très légère, grâce approximative-ment au nouveau projet « DARED », qu'a été installé au sein des réserves de biosphère d'arganier. Ces évolutions, sontrevient essentiellementaux facteurs multiples ; changements climatiques, surpâturage, et l'étalement urbain. De même, L'analyse des images satellitaires indique des changements positifs pour les six sites étudiés objet du projet DARED, ces changements positifs montrent l'impact positif de ce projet sur la survie de ces écosystèmes d'argeneraie puisqu'il s'agit de revivifier ou régénérer ces zones vulnérables

Remerciements : Ce travail a été soutenu par l'Agence Nationale de Développement de la Zone des Oasis et de l'Arganier (ANDZOA), dans le cadre du projet de Développement de l'Arganicul-ture dans les Zones Vulnérables (DARED), projet cofinancé par le Fonds Vert pour le Climat (GCF).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] M'hirit, O.; Benzyane, M.; Benchekroun, F.; El Yousfu, S.; Bendaanoun, M. L'arganier, Une Espece Fruitiere, Forestiere a Usages Multiples Des Zones Arides Méditerranéens. *Saragosse, Espana* 1987.

[2] M. A. Bihi, F. Ain-Lhout, A. Hatimi, F. Fahmi, and S. Tahrouch, "Ecophysiological response and morphological adjust-ment of *Argania spinosa* L. Skeels under contrasting climates: Case study of marginal populations," *Int. J. Plant Biol.*, vol. 12, no. 1, 2021, doi: 10.4081/PB.2021.9404.

[3] W. Hammoudy, R. Ilmen, and M. Sinan, "Impact of climate change on extremes events in Morocco," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol.* 1090, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1090/1/012034.

Potential of isotope analysis for verification of geographical origin and assessment of environmental impact in argan regions

Tibari El Ghali [1,*] and Fouad Taous[1]

[1] *Centre National d'Énergie des Sciences et des Techniques Nucléaires. RP 10001, BP 1382, Rabr, Maroc. ;*

[*] *Correspondance : elghali.tibari@gmail.com ;*

Keywords
stable isotope ; carbon 13 ; oxygen 18; argan oil ; climate change

ABSTRACT

Stable isotopes are one of the hot spots in the study of past climates and are considered powerful indicators of climate change. By anlysing the variability of the carbon 13 and oxygen 18 isotopic composition of argan oil and combining this information with the climatological characteristics of the region of origin, we were able to detect regional climate patterns and reveal relationships between geoclimatic parameters (altitude, latitude, temperature, precipitation and humidity) and the isotopic composition of argan oil from distinct geographical areas (Agadir Ida Ou Tanane, Essaouira, Chtouka Ait Baha, Taroudant and Tiznit). A clear increasing trend of δ13C and δ18O of argan oil with geoclimatic conditions was observed, the first being the increase in temperature and altitude, while the second is the tendency to decreases of δ13C and δ18O of argan oil with latitude, precip-itation and humidity reflecting the temporal and spatial changes in climate at different areas. These results confirm the influence of the climatic parameter on the argan tree and constitute an important contribution to understanding the effect of climate change on the regional ecosystem and water resources of argan regions.

Mots clés
isotope stable ; carbone 13 ; oxygène 18 ; huile d'argan ; changement climatique

RÉSUMÉ

Potentiel de l'analyse isotopique pour la vérification de l'origine géographique et l'évaluation de l'impact environnemental dans les régions d'arganiers

Les isotopes stables jouent un rôle essentiel dans l'analyse des climats anciens et sont considérés comme des indicateurs puissants dans l'étude des changements climatique. Dans ce travail, la variabilité de la composition isotopique du carbone 13 et de l'oxygène 18 de l'huile d'argan a été étudié en combinaison avec les paramètres climatiques de la région d'origine. Des modèles climatiques régionaux ont été détectés et des relations ont été révélées entre les paramètres géoclimatiques (altitude, latitude, température, précipitations et humidité) et la composition isotopique de l'huile d'argan provenant de zones géographiques dis-tinctes (Agadir Ida Ou Tanane, Essaouira, Chtouka Ait Baha, Taroudant et Tiznit). Une nette tendance à l'enrichissement du δ13C et du δ18O de l'huile d'argan avec l'augmentation de la température et de l'altitude, et une tendance à l'appauvrissement de ces isotopes avec la latitude, les précipitations et l'humidité reflétant l'influence des changements tem-porels et spatiaux du climat dans

différentes zones. Ces résultats confirment l'influence du paramètre climatique sur l'arganier et constituent une contribution importante à la compréhension de l'effet du changement climatique sur l'écosystème régional et les ressources en eau des régions arganiers.

INTRODUCTION

The argan tree *(Argania spinosa L.)* belongs to the *Sapotaceae* family and is the only species of the Argania genus [1]. It is a tree native to intramontane areas present in the southwest of Morocco and distributed in seven Moroccan provinces (Agadir Ida Ou Tanane, Inezgane Ait Melloul, Chtouka Ait Baha, Taroudant, Tiznit, Essaouira et Sidi Ifni) in arid and semi-arid ecosystems with very low average precipitation and under the Atlantic influence [2]. The tree is popular as a shade tree and is useful for soil conservation and as a windbreak. Argan cultivation in Morocco brings significant socio-economic, nutritional and cultural benefits to local communities [3]. The fruits and oil of the tree are used in culinary preparations as an excellent salad dressing or dip and in cosmetic skin preparations to moisturize and nourish the skin. In addition, its high nutritional value and biochemical properties give it therapeutic value to treat and prevent several diseases. [4]. The importance of the argan tree, however, goes beyond the production of its oil. It also plays a crucial role in promoting sustainable development for local populations and mitigating the effects of climate change in the region as well as the conservation of biodiversity [2]. According to [5], the argan tree thrives in desert or arid, steppe or semi-arid climates, between 20 and 30° latitudes and can be cultivated in drylands in regions where annual rainfalls are in the 200–300mm range, with a minimum of 100mm and a maximum of 400mm. Best growth is observed with temperatures in the 20–30°C range, with a minimum of 10°C and a maximum of 35°C, although it can tolerate maximum temperatures of 50°C. The maximum altitude above sea level where the Argan can be found is about 1,500 m and the minimum altitude is that of sea level on the coastline. The tree thrives in difficult conditions and has several mechanisms that limit water loss: it reaches the deepest layers of the soil during the dry season, and can close its stomata during the day and it has water reservoirs in its trunk and branches which makes it well adapted [1]. According to [4], trees extract water from weathered layers of the subsoil to depths of 3 to 6 m. However, the argan forest has long been ignored as a specific biotope. In some areas it is already damaged and its future is threatened by prolonged periods of drought and desertification. The tree is threatened with extinction due to land clearing, poor germi-nation quality and the use of wood as fuel. During the period 1970-2007, the density of argan trees decreased by 44.5% [8,9]. Additionally, global warming and environmental changes can influence populations due to water scarcity and land degradation. Recently, strict conservation measures have been implemented to prevent its disappearance. As one of the driest regions, argan regions will be sensitive to climate change and human ac-tivity. Consequently, understanding climate change in these regions through different indicators and methods is important in order to predict future climate changes for the management of regional ecosystems, water resources and the environment.

Understanding past climate changes is essential for predicting future climate changes. Stable isotopes are valuable tools for understanding past climatic and hydrological cycles [10]. The stable isotopic composition of natural isotopic contents of carbon, hydrogen and oxygen reflects temporal and spatial changes in climate at different scales and provides information on the response of plants to current environmental conditions as well as the information needed to reconstruct the past climate changes [11]. It is therefore crucial to examine the relationships between stable isotopes and current climatic conditions in order to infer their tendency towards climatic states different from those of today.

The present study aimed to study the underlying basis of observed spatial variation in the carbon 13 and oxygen 18 isotopic composition of argan oil samples and to identify rela-tionships between stable isotope ratios and regional climatic conditions like precipitation, temperature, altitude, latitude. Measuring the ratio of these isotopes in argan oil can help detect to understand the responses of argan tree to climate change.

MATERIALS AND METHODS

2.1 Sample collection

A total of 24 argan kernels samples from five Moroccan argan forest regions, Agadir Ida Ou Tanane, Essaouira, Chtouka Ait baha, Taroudant and Tiznit were collected by visiting producers, cooperatives, markets and industries (Fig. 1). The provenance and the quality grade of all the samples were guaranteed by the

suppliers. Argan oils were mechanically extracted from unroasted kernels using oil press automatic machine in the laboratory. Then, oils were filtered and preserved in dark glass bottles of 250 mL in a refrigerator at +4°C, filled with nitrogen to avoid oxidation until the day of analysis. Before analysis, the oils were left to stand at room temperature for at least 24 h.

Latitude and longitude data were obtained with Google Earth software, version 5.0,15. Information on temperature (daily mean values for each geographical location) were acquired from the https://fr.climate-data.org/.

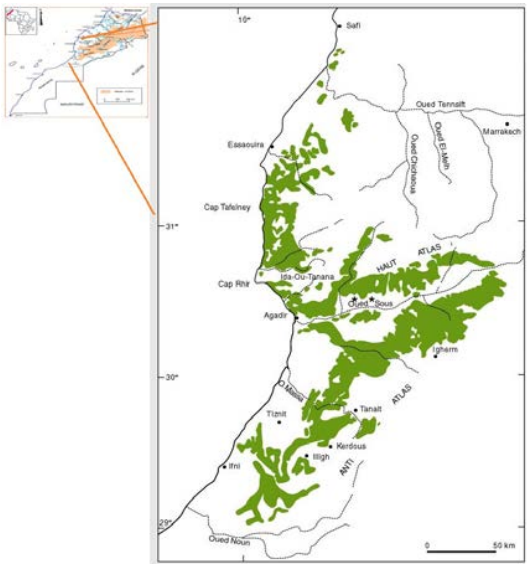


Figure 1. Moroccan regions where argan kernels samples obtained

2.2 Stable Isotope Analysis

The carbon and oxygen isotope composition ratios ($^{13}C/^{12}C$ and $^{18}O/^{16}O$ respectively) of argan oil samples were determined via continuous flow EA-IRMS using an isotope ratio mass spectrometer Delta V coupled to an element analyser FLASH HT Plus (Thermo Scientific, Germany) following the procedure described by [12].

The relative difference of isotope ratios (isotope-delta values) of a sample is reported according to the following formula [10]:

where R_{sample} is the respective isotope ratio of the sample and Rstandard is the relevant internationally recognized reference material. The delta values were multiplied by 1000 and expressed in units "per mil" (‰).

$$\delta = \left(\frac{R_{sample}}{R_{standard}} - 1\right) x\ 1000 \qquad (‰)$$

2.3 Geospatial modeling

The spatial distribution maps of δ13C and δ18O values of Argan oils from 24 individual samples collected at 5 independent regions were generated using the ordinary kriging method and the Golden Surfer software. Graphics were created using the Microcal Origin 6 software.

RESULTS

The statistical parameters—such as minimum, maximum, mean, and standard deviation—for different parameters for the argan oil are summarized in Table 1 and shown in Figure 2.

Table 1. The statistical parameters of the isotopic composition of δ13C and δ18O, the topographical and climatic characteristics of the five eco-geographic regions of southwest Morocco

Region		Altitude (m)	Latitude (DD)	Longitude (DD)	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Humidity (°F)	$\delta^{13}C$ (‰)	$\delta^{18}O$ (‰)
Essaouira	mean	306			16.73	302.25	62.14	-29.20	24.61
	max	650	31.55	-9.35	17.50	353.00	63.41	-27.99	25.90
	min	100	31.21	-9.72	14.60	279.00	58.20	-29.90	23.30
Agadir Ida Ou Tanane	mean	280			17.75	253.83	63.39	-28.91	27.23
	max	400	31.00	-9.25	19.60	352.00	66.21	-28.22	28.73
	min	180	30.35	-9.74	15.90	153.00	60.62	-29.80	25.60
Chtouka Ait Baha	mean	640			16.70	217.75	62.09	-26.75	25.75
	max	1100	30.07	-8.97	18.20	292.00	64.77	-25.67	26.89
	min	160	29.67	-9.41	15.60	153.00	60.11	-27.24	24.60
Taroudant	mean	700			19.30	253.50	66.73	-27.54	27.60
	max	1000	30.65	-8.03	20.10	281.00	68.23	-27.28	27.90
	min	400	30.50	-8.61	18.50	226.00	65.24	-27.79	27.30
Tiznit	mean	793			16.70	186.67	62.06	-27.73	29.60
	max	1200	29.37	-9.55	19.20	228.00	66.54	-27.44	29.98
	min	280	29.28	-10.11	14.80	133.00	58.66	-28.06	29.31

The results present wide variation of the isotopic abundance with geographical characteristics, altitude, latitude, and distance from the sea (Fig.2 (a) and (b)). The carbon isotopic values ($\delta^{13}C$) of argan oil varied from −25.67 to −29.90‰ while the oxygen isotope values ($\delta^{18}O$) ranged from 23.3 to 29.98‰. The $\delta^{13}C$ value of plants varies because of isotopic fractionation during physical, chemical and biological processes.

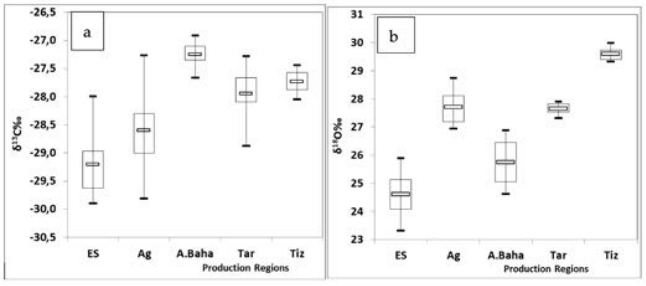


Figure 2. (a): Box-whisker of $\delta^{13}C$ and (b) of $\delta^{18}O$ Argan oil samples collected in different region

DISCUSSION

Plotting the $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values of argan oil as a function of altitude and latitude showed a slight tendency of enrichment with altitude with coefficient of determination values of 0.2 and 0.12 for $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ respectively (Fig. 3 (a) and (b)), suggesting the appearance of physical phenomena such as the evaporation of raindrops as they fall, while with latitude a negative trend is observed (R^2= 0.43 for $\delta^{13}C$ and R^2= 0.52 for $\delta^{18}O$) (Fig. 3(c) and (d)), indicating the appearance of the continental isotope effect. As the clouds move inland and gain altitude further evaporation, condensation and precipitation events occur modifing the isotopic composition of oxygen-18. Consequently, the ground water reflects this isotopic gradient from the coast to inland areas. For land plants, a further pre-assimilation affects the isotopic composition of the water substrate [13].

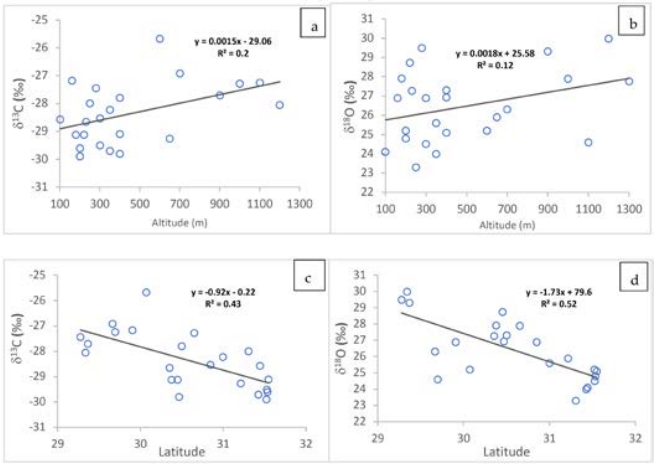


Figure 3.(a) $\delta^{18}O$ and (b) $\delta^{13}C$ of argan oil versus altitude, (c) $\delta^{18}O$ and (d) $\delta^{13}C$ of argan oil versus latitude

A meaningful correlation was obtained between the measured $\delta^{18}O$ of the argan oil and local meteorological conditions (mean annual temperatures, humidity and precipitation). Figure 4 show that $\delta^{18}O$ correlate positevly with temperature and correlate negatively with with the climatic factor rainfall and humidity. Decreasing temperatures cause a progressive heavy-isotope depletion of the precipitation when the water vapor from oceans moves to higher latitudes and altitudes. Moreover, growing regions with relatively low humidity, where the rate of evaporation from the leaf is higher, result in plant materials with relatively enriched $\delta^{18}O$ values [13].

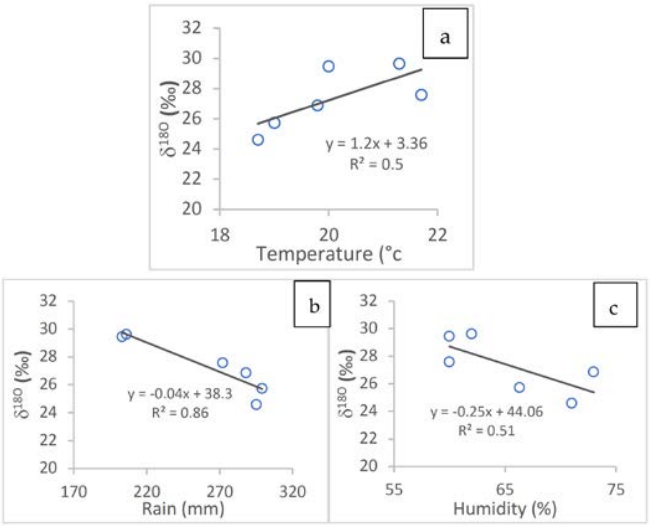


Figure 4 : $\delta^{18}O$ of argan oil versus (a) temperature, (b) amount of precipitation and (c) humidity

The variability of the annual precipitation and the bio-climate conditions between the five regions might directly influence the stable isotope composition in the Argan oils. Plotting $\delta^{13}C$ values obtained for all of the examined oils versus their corresponding $\delta^{18}O$ data (Fig. 5 (a)) shows that values from the five studied regions are clearly separated. The spatial distribution of the $\delta^{13}C$ and δ18O values of argan oil shown as an interpolated isotope landscape (isoscape) in Figures 5 (b) and 5 (c) exhibit a remarkable relative enrichment of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ from north to south and demonstrate the effect of differences in water availability to the plants in these regions and better illustrate the role of climatic conditions on the isotopic composition of argan oil.

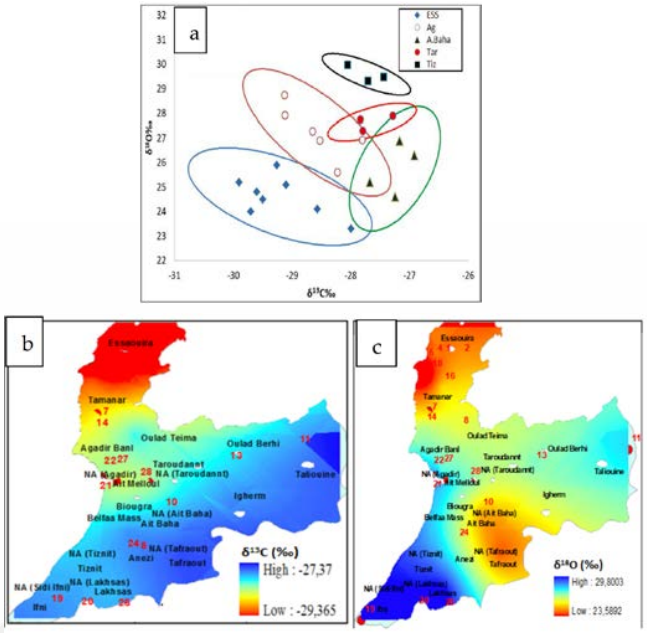


Figure 5 : (a): $\delta^{18}O$ values versus $\delta^{13}C$ (b): $\delta^{13}C$ Isoscapes (c): $\delta^{18}O$ Isoscapes

As can be observed in table 1 the oxygen isotopic composition of the argan oil samples varied from 23.3‰ (Essaouira) to 29.9‰ (Taroudant and Tiznit) with higher values above 27‰ obtained for argan oil produced at altitudes above 400 m (Agadir Ida Ou Tanane, Taroudante and Tiznit). In comparison with these sites, argan oil from the Essaouira region, Tafraoute to Chtouka Ait Baha, presented lower average $\delta^{18}O$ values, ranging from 23.30 to 27‰. Argan oils from the northern regions of Morocco, Essaouira and Agadir Ida Ou Tanane are characterized by a lower temperate and humid climate due to the proximity to the sea, resulting in significantly lower δ13C values. The δ13C values can be explained by the similar latitude of these regions and the distance to water sources. Plants discriminate against $^{13}CO_2$ during photosynthetic CO_2 fixation in ways that reflect plant metabolism and environmental conditions. An increase in precipitation (water availability) would result in an increase in the stomatal conductance that in turn causes a decrease in the plant $\delta^{13}C$ value [14]. On the other hand, the opening of plant stomata in a humid environment results in increased stomatal conductance, leading to a decreased CO_2 concentration gradient between the inside and outside of plants, which ultimately reduces $\delta^{13}C$. Additionally, argan samples grown in inland areas characterized by higher temperatures and drier climate, e.g. Taroudant and Tafraout, show greater enrichment in $\delta^{18}O$ than those produced in other regions located closer to the sea. The region of Tafraoute, Aït-Baha and Tiznite are characterized by an arid Mediterranean bioclimate, Saharan zones with a desert character and they are influenced by the variability of annual precipitation ranging from 100 to 250 mm and a temperature of 25°C and summer is hot and arid with temperatures around 30°C. C3 plants growing under water-stressed conditions are expected to be enriched in $\delta^{13}C$ compared to plants growing under optimal water conditions and higher temperature increases enzymatic activity in photosynthesis, thereby affecting carbon isotope fractionation [16, 17]. The observed relationship between $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ values and geoclimatic parameters is linked to the enrichment of heavy isotope of oxygen occurring in plant water due to evapotranspiration at the leaf stomata before the assimilation and incorporation of plant metabolites into organic matter.

CONCLUSIONS

In this research, the stable natural isotopic composition of carbon-13 and oxygen-18 of argan oil in relation to geoclimatic conditions was studied and revealed the importance of isotope analysis for product discrimination argan foresters according to their environmental conditions. Although further work is clearly needed to clarify the mechanisms underlying many of these relationships and their temporal stability, the results obtained can help trace environmental impacts occurring in semi-arid regions, particularly if they are linked to climatic conditions, distance from the coast, altitude and anthropogenic ac-tivity.

REFERENCES

1 .Silvia L. F; Sandra P-A; Ana U. The Potential Growing Areas for *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) in Argentinean Drylands. Inter Jou Agro. 2018.

2. Msanda F; Mayad, E.H; Furze J.N. Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Morocco's Ar-ganeraie Biosphere Reserve. Environ. Sci. Pollut. Res. 2021, 1–10.

3. Milena B.M; Taous F ; Valen V ; Elghali T ; Podgornik M ; Strojnik Lidija; Ogrinc Nives. Fatty Acid Composition of Cosmetic Argan Oil: Provenience and Authenticity Criteria. Molecules 2020, 25, 4080.

4. Ain-Lhout F; Boutalebb S, Diaz-Barradas M.C; Jauregui J; Zunzunegui M. Monitoring the evolution of soil moisture in root zone system of *Argania spinosa* using electrical resistivity imaging. AWM. 164 (2015) 158-166

5. UN, Cultivation of the Argan Tree Can Help Combat Climate Change and Support Sustainable Development. Available at https://www.un.org/en/un-chronicle/cultivation-argan-tree-can-help-combat-climate-change-suppo. Accessed 30 Mars 2024)

6. FAO, "Ecocrop," (1993-2007) Available at: http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home Accessed 30 Mars 2024

7. Cherki M; Berrougui H ; Drissi A ; Adlouni A ; Khalil A. Argan oil: which benefits on cardiovascular diseases. Pharmacol. Res. 54 (1) (2006) 1–5. Epub 2006 Mar 6

8. Charrouf Z ; Guillaume D. L'huile d'Argan une production devenue adulte. Les technologies de laboratoire N° 06, sep-tembre-octobre, 2007, pp. 4–7.

9. Khallouki F; Eddouks M.; Mourad A; Breuer A; Owen R.W. Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochem-ical insights into Moroccan Argan fruits. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2277.

10. Rahmani M. Contribution à la connaissance de l'huile d'Argan Mémoire de 3ème Cycle, Institut

Agronomique et vétérinaire, Rabat, 1979.

11. Dawson T.E.; Siegwolf R.T.W. Using stable isotopes as indicators, tracers, and recorders of ecological change: some context and background, in: T.E. Dawson, R.T.W. Siegwolf (Eds.), Stable isotopes as indicators of ecological change, Elsevier, Bur-lington, 2007.

12. Breas O; Sada E; Reniero F; Guillou C.; Angerosa F. Oxygen-18 measurement by continuous flow-pyrolysis-Isotope ratio mass spectrometry of vegetable oils, Rapid Commun. Mass Spectrom. 12 (1998) 188–192.

13. Dawson T.E.; Mambelli S; PlamboeH. k; P.H; Templer, K.P. Tu. Stable isotopes in plant ecology, Annu. Rev. Ecol. Syst. 33 (2002) 507–559.

14. Taous F; Amenzou N; Marah H; Maia R; Maguas C; Bahmad L; Kelly S. Stable isotope ratio analysis as a new tool to trace the geographical origin of Argan oils in Morocco. Forensic Chem. 2020, 17, 100198.

15. Elgadi S; Ouhammou A; Taous F; Zine H; Papazoglou E.G; Elghali T; Amenzou N; El Allali H; Aitlhaj A; El Antari A. Com-bination of Stable Isotopes and Fatty Acid Composition for Geographical Origin Discrimination of One Argan Oil Vintage. Foods 2021, 10, 1274. 10061274

16. Barbour M.M; Andrew T.J. s; Farquhar G.D. Correlations between oxygen isotope ratios of wood constituents of Quercus and Pinus samples from around the world, Austr. J. Plant Physiol. 28 (2001) 335–348.

17. West J.B.; Bowen G.J.; Ceiling T.E.; Ehleringer J.R. Stable isotopes as one of nature's ecological recorders, Trends Ecol. Evol. 21 (2006) 408–414.

Sous l'Ombre de l'Arganier : Vers une écologie carbone positive - Evaluation, gestion et empreinte carbone d'un écosystème précieux

Jamal Hallam [1, *], Assma Oumasst [1, 2], Oussama Bayssi [3], Mustapha Naimi[3], Naima Ait Aabd [1], Adnane Laabacci [4], Wifaya Ahmed [1] et Fouad Elame [1]

[1] *Unité De Recherche Ressources Naturelles Et Produits De Terroir, CRRA de Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Ressources Naturelles (LBVRN), Faculté des Sciences Université Ibn Zohr, Agadir, 80000, Maroc. ;*

[3] *Département des ressources naturelles et de l'environnement, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc;*

[4] *Laboratoire de Géosciences et Géoenvironnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences Université Ibn Zohr, Agadir, 80000, Maroc*

[*] *Correspondance : jamal.hallam@inra.ma*

RÉSUMÉ

Ce travail présente les principaux résultats de recherche en stratégie carbone accompagnant les activités du projet DARED et s'aligne sur l'initiative " Génération Green " visant le développement du système arganiculture pour augmenter la productivité de l'arganier et répondre à la demande d'huile d'argan. Notre étude a évalué 1) le stockage et la séquestration du CO2 par les vergers d'arganiculture 2) et la forêt d'arganier, 3) ainsi que le bilan carbone de la chaîne de valeur arganier. Des essais sur le terrain, des mesures en laboratoire et des enquêtes socio-économiques ont été menées. Les résultats montrent que, avec un entretien adéquat, les arbres des vergers âgés de 14 ans sur 50 000 hectares planifiées pour l'arganiculture pourraient séquestrer environ 3 177 851 tCO2 éq, variant 1741 240 à 6 441 265 tonnes. La séquestration moyenne de CO2 dans le sol sur les 50 000 hectares d'arganiculture prévus 2023-2030 est estimée à 2,26 Mégatonnes CO2 eq. Pour la forêt, les premiers résultats montrent que le stock total de carbone dans la biomasse ligneuse des arganiers de la RBA est estimé à 18 728 000 tonnes d'équivalent CO2. En termes d'émissions, les coopératives ont présenté une empreinte carbone plus élevée que les entreprises lorsque seules les émissions directes (scope 1 et scope 2) étaient prises en compte, mais les entreprises montrent une empreinte carbone supérieure lorsque le scope 3 (exportations, achats, etc.) est inclus.

Mots clés
Arganiculture ; séquestration de carbone ; SOC ; empreinte carbone, huile d'argan.

ABSTRACT

Under the Shade of the Argan Tree: Carbon Sequestration and Footprint of a Precious Ecosystem

This work presents the main research results in carbon strategy accompanying the activities of the DARED project and aligns with the "Green Generation" initiative aimed at developing the arganiculture system to increase the productivity of the argan tree and meet the demand for argan oil. Our study evaluated 1) CO2 storage and sequestration by arganiculture orchards, 2) the argan forest, and 3) the carbon footprint of the argan value chain. Field trials, laboratory measurements, and socio-economic surveys were conducted. The

Keywords
Arganiculture; carbon sequestration; SOC; carbon footprint; argan oil.

results show that, with adequate maintenance, 14-year-old orchard trees on the planned 50,000 hectares for arganiculture could sequester approximately 3,177,851 tCO2 eq, ranging from 1,741,240 to 6,441,265 tonnes. The average CO2 sequestration in the soil on the 50,000 hectares of arganiculture planned for 2023-2030 is estimated at 2.26 Megatonnes CO2 eq. For the forest, preliminary results show that the total carbon stock in the woody biomass of argan trees in the RBA is estimated at 18,728,000 tonnes of CO2 equivalent. In terms of emissions, cooperatives exhibited a higher carbon footprint than companies when only direct emissions (scope 1 and scope 2) were considered, but companies showed a higher carbon footprint when scope 3 (exports, purchases, etc.) was included.

INTRODUCTION

L'Arganeraie, un écosystème précieux et emblématique du Maroc, est au cœur des investigations sur l'écologie carbone positive. Depuis le début du 20e siècle, l'empreinte humaine sur notre environnement s'est intensifiée, entraînant une augmentation alarmante des émissions de dioxyde de carbone (CO2) et d'autres gaz à effet de serre [1]. Cette situation a considérablement perturbé l'équilibre climatique mondial, nécessitant des mesures urgentes pour atténuer ces effets néfastes [2].

Dans ce contexte, la séquestration du carbone, qu'elle soit naturelle ou artificielle, dans les forêts et les sols revêt une importance capitale [3]. Les forêts jouent un rôle crucial dans la capture et le stockage du carbone, capturant environ 30 % des émissions annuelles de combustibles fossiles et conservant près de 80 % du carbone en surface [4,5] contribuant ainsi à réduire les émissions de CO2 dans l'atmosphère. Environ 35 % du carbone total dans les réservoirs de sol dans le monde est stocké dans les sols forestiers [6]. Cependant, malgré leur importance, les forêts, y compris celles d'arganiers, font face à des défis croissants dus à la demande croissante d'huile d'argan et à la pression exercée sur leur écosystème. Pour répondre à ces défis, le Maroc a lancé des initiatives novatrices telles que l'arganiculture, visant à concilier la production d'huile d'argan avec la conservation de l'arganeraie et la séquestration du carbone [7]. Cependant, malgré ces efforts louables, des lacunes persistent dans notre compréhension de la contribution spécifique des arganiers et de leur écosystème à la séquestration du carbone. Ainsi, notre étude vise à combler cette lacune en évaluant le stockage et la séquestration du CO2 par les vergers d'arganiculture nouvellement installée et la forêt d'arganier, ainsi que l'élaboration du bilan carbone de la chaîne de valeur arganier, de la plantation jusqu'à l'emballage. Nous nous sommes appuyés sur une méthodologie rigoureuse, combinant des essais sur le terrain, des analyses en laboratoire et des enquêtes socio-économiques pour obtenir des données précises et fiables.

Les résultats de la présente étude auront des implications importantes pour la gestion durable de l'arganeraie, la formulation de politiques environnementales et la promotion de pratiques agricoles respectueuses du climat. En outre, ils contribueront à la sensibilisation sur l'importance de la séquestration du carbone dans la lutte contre le changement climatique et à la valorisation des initiatives de compensation carbone.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1.Évaluation du potentiel de séquestration de carbone de l'arganier dans les vergers d'arganiculture et dans les forêts, ainsi que de leurs écosystèmes.

Les activités menées portent sur l'évaluation du potentiel de séquestration de carbone dans les vergers d'arganiculture, les forêts d'arganiers et leurs composants écologiques associés. Ces activités comprennent des essais et des mesures réalisés sur le terrain et en laboratoire. Pour les vergers d'arganiculture, douze essais ont été menés, chacun comportant 100 plantations d'arganiers jeunes dans des sites sélectionnés dans les régions de Souss Massa, Marrakech-Safi et Guelmim Oued Noun. Pour les forêts d'arganiers, cinquante placettes ont été examinées selon un échantillonnage stratifié, couvrant différentes écorégions de la RBA et types de peuplements d'arganiers selon la carte IFN. Pour l'estimation du potentiel de séquestration de carbone dans les biomasses moyennes des vergers, un modèle mathématique a été utilisé, combinant diverses formules adaptées à chaque composant de la plante d'arganier, suivant la méthode IPCC 2006 développée par Eggelston et al. (2006) [8]. Les projections futures de séquestration de carbone sont basées sur des mesures effectuées dans des parcelles expérimentales à la station expérimentale Melk Zher de l'INRA. Pour la forêt, nous avons combiné la méthode décrite dans le manuel pour la « Construction des Équations Allométriques du Volume des Arbres et de la Biomasse », établi par la FAO

[9], avec la méthode d'analyse d'images numériques. Les différentes étapes de la méthodologie sont résumées dans la figure 1.

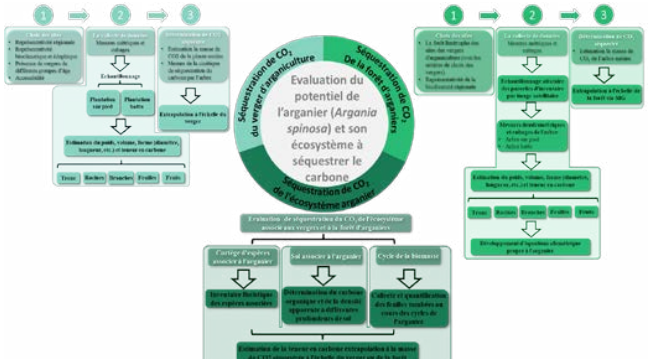


Figure 1. Schéma synthétique des différentes étapes pour évaluer le potentiel de l'arganier (*Argania spinosa*) et de son écosystème à séquestrer le carbone.

2.2.Evaluation de l'empreinte carbone de l'huile d'argan.

Nous avons entamé l'analyse de la structure de la filière par un processus de diagnostic participatif impliquant les principaux partenaires et intervenants de la filière afin d'identifier les différents maillons intégrés à la chaîne de valeur. Ensuite, des enquêtes détaillées ont été menées auprès de 26 coopératives et entreprises de production d'huile d'Argan. L'évaluation de l'empreinte carbone a été réalisée à l'aide de l'analyse du cycle de vie, en utilisant un outil conforme à la norme ISO 14069 et aux protocoles sur les gaz à effet de serre, développé par la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement (FM6E). Le calcul des émissions repose sur l'agrégation de tous les matériaux, de l'énergie et des déchets générés tout au long du cycle de vie de l'industrie, multiplié par les facteurs d'émission et les potentiels de réchauffement global (PRG).

Les différents scopes d'émissions associées à la production et à la commercialisation de l'huile d'argan se divisent entre les émissions directement et indirectement contrôlées par les entreprises et les coopératives. Dans cette analyse, le scope 1 englobe l'utilisation de diesel et de butane, le scope 2 est principalement constitué de la consommation d'électricité, tandis que le scope 3 inclut les immobilisations, les équipements, les achats, l'alimentation caprine, les déchets, les transports et déplacements, ainsi que les exportations.

RÉSULTATS

3.1.Potentiel moyen de séquestration de dioxyde de carbone (CO2) dans la biomasse des plants d'arganier

La Figure 2 illustre le potentiel moyen de séquestration du dioxyde de carbone (CO2) dans la biomasse des plants d'arganier en fonction de leur âge, sur les 50 000 hectares d'arganiculture planifiés d'ici 2030, dans le cadre de la stratégie " Génération Green". Avec l'augmentation de la séquestration du carbone en fonction de l'âge, nous constatons que cette tendance est progressive pendant la phase initiale d'établissement des plants, mais connaît une séquestration exponentielle durant la phase de croissance exponentielle. En moyenne, les arbres âgés de 14 ans sur une superficie de 50 000 hectares séquestrent environ 3 177 851 tonnes de CO2 équivalentes, avec une variation allant de 1741 240 à 6 441 265 tonnes.

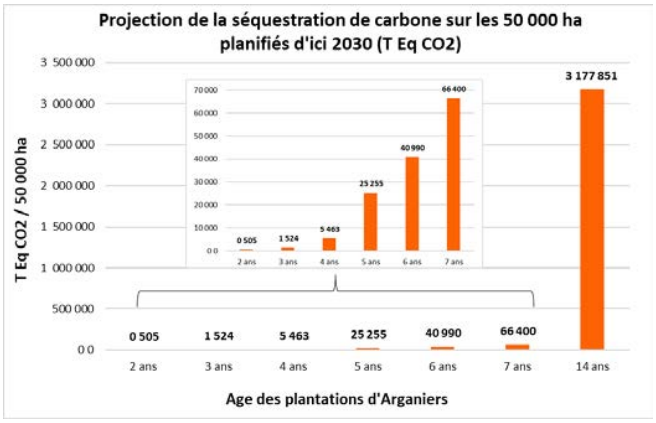


Figure 2. Potentiel moyen de séquestration de dioxyde de carbone (CO2) dans la biomasse des plants d'arganier en fonction de l'âge sur les 50 000 hectares d'arganiculture prévus dans le cadre de la stratégie " Génération Green ". Les modes de gestion des vergers varient selon l'âge des plants : ceux âgés de 2 à 6 ans diffèrent de ceux de 7 ans, qui diffèrent également de ceux de 14 ans.

3.2.Evaluation de l'empreinte carbone de l'huile d'argan.

La figure 3 présente les trois scénarios considérés pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre d'un litre de l'huile d'argan en comparaison avec l'huile d'olive :

- Scénario 1 : Il inclut les émissions de gaz à effet de serre des scopes 1, 2 et 3, y compris celles liées aux exportations.
- Scénario 2 : Il couvre les émissions des scopes 1, 2 et 3, à l'exception de celles associées aux exportations.
- Scénario 3 : Il se focalise spécifiquement sur les émissions des scopes 1 et 2, ces derniers étant les émissions directes générées par les entités de production (scope 1) ou sur lesquelles ces entités ont un contrôle partiel via leurs décisions relatives à l'énergie (scope 2).

La figure 3 montre qu'a l'exception du scénario 1, les entreprises étudiées affichent des valeurs de l'empreinte carbone inférieures à celles des coopératives. Les résultats révèlent également que, dans les trois scénarios, l'empreinte carbone de l'huile d'argan est nettement inférieure à celle de l'huile d'olive, comme estimé par Rinaldi et al. (2014) [10] en utilisant une approche de travail similaire à la présente étude.

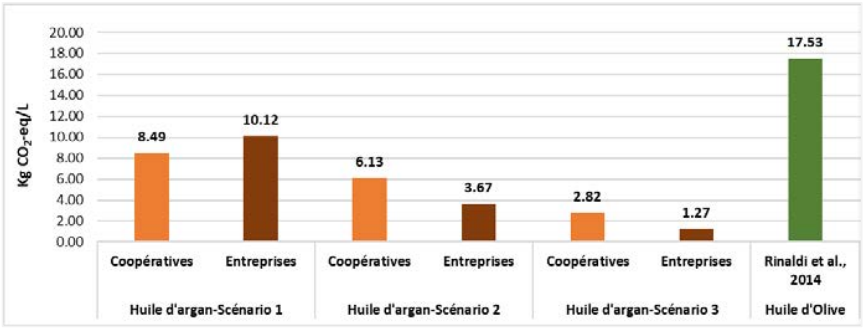


Figure 3. La moyenne de l'empreinte carbone de l'huile d'argan selon les trois scénarios, et leur comparaison avec les données de littérature sur l'empreinte carbone de l'huile d'olive.

DISCUSSION

Les arbres de 14 ans répartis sur une superficie de 50 000 hectares pourraient séquestrer environ 3 177 851 unités de dioxyde de carbone (voir Figure 2). En termes pratiques, cela équivaudrait à la séquestration des émissions de CO2 produites par environ 1 271 140 voitures en moyenne. Cette évaluation est basée sur les émissions moyennes d'une voiture standard utilisant du diesel, ayant parcouru une distance moyenne de 15 000 km à une consommation moyenne de 5,6 %, ce qui équivaut à environ 2,5 tonnes de CO2 équivalent (valeur calculée à l'aide de l'outil « Bilan des Emissions GES-Maroc »). Il est toutefois essentiel de souligner que les estimations concernant les arganiers âgés de 14 ans reposent sur des mesures réalisées dans des parcelles expérimentales soigneusement entretenues situées sur le domaine expérimental Melk Zher de l'INRA. Pour atteindre une séquestration de carbone similaire, il est crucial que les vergers d'arganiculture planifiés bénéficient d'un suivi et d'un entretien rigoureux, notamment en assurant des apports réguliers en eau d'irrigation, en compost, et en favorisant la pratique du paillage ainsi que le revêtement des bassins de plantation pour faciliter le stockage prolongé de l'eau, comme le prévoit la stratégie. En mettant en œuvre des pratiques de gestion des sols appropriées et en intégrant des cultures intercalaires adaptées, il est possible d'augmenter considérablement les taux de séquestration du carbone dans les vergers.

Concernant l'empreinte carbone des coopératives et des entreprises, d'après les résultats, le Scope 3 demeure le poste d'émission le plus important, tant pour les coopératives que pour les entreprises. Pour ces dernières, cette catégorie représente 86.02% des émissions totales de dioxyde de carbone, incluant les exportations, et 61.27% des émissions totales, excluant les exportations. Pour les coopératives, les résultats révèlent une tendance similaire pour le Scope 3, bien que présentant une différence de seulement 10% entre l'inclusion et l'exclusion des exportations. Ceci est attribuable à la pratique courante de non-exportation dans la plupart des coopératives. Les émissions de CO2 provenant du Scope 2, associées à la consommation électrique, sont considérables pour un litre d'huile d'argan au sein des coopératives par rapport aux entreprises, particulièrement lorsqu'on prend en compte les deux scénarios d'exportation. Outre leur faible productivité par rapport aux entreprises, la plupart des coopératives remplissent également le rôle d'unités de dépulpage et de concassage des fruits pour le compte des entreprises et des groupements d'intérêt économique (GIE), ce qui explique leur consommation élevée d'électricité.

Par rapport à l'estimation faite par Rinaldi et al. (2014) [10], l'empreinte carbone de l'huile d'olive est nettement plus élevée que celle de l'huile d'argan selon une méthodologie similaire à celle utilisée dans la présente étude. Il est important de noter que l'évaluation de l'empreinte carbone de l'huile d'olive englobe à la fois ses aspects agricoles et industriels, tandis que pour l'huile d'argan, seule la partie industrielle a été prise en compte. Malgré leurs différences d'origine, en milieu forestier et en verger, une comparaison reste réalisable et peut fournir des informations précieuses. Outre, certaines études [11, 12, 13] sur l'olivier ont montré des émissions pour l'huile d'olive nettement inférieures à celles de l'arganier. Toutefois, ces études ne prennent

pas en compte certaines sources et postes d'émissions prises en compte dans cette étude. La comparaison peut donc être effectuée en analysant les émissions par poste plutôt que par le total des émissions de la chaîne de valeur.

CONCLUSIONS

Les résultats de la présente étude démontrent l'importance des arganiers en tant que précieux fournisseurs de services écosystémiques pour atténuer les effets des changements climatiques. Ils mettent en lumière leur potentiel prometteur en matière de séquestration du carbone, en particulier dans les zones marginales où cette espèce s'adapte particulièrement bien. En adoptant des pratiques de gestion des sols appropriées et en intégrant des plantes intercalaires, telles que des plantes aromatiques et médicinales adaptées, les taux de séquestration du carbone dans les vergers en tant que systèmes agroforestiers pourraient être considérablement améliorés. En ce qui concerne l'empreinte carbone associée à la production d'huile d'argan, il existe une préoccupation notable concernant l'efficacité du système de production d'huile, en particulier parmi les coopératives. Une approche consisterait à améliorer et à moderniser le processus de production au sein des coopératives et à passer à l'électricité solaire. Cela implique d'exploiter et de développer les importantes ressources solaires disponibles dans la RBA.

Remerciements : Dans cette section, vous pouvez reconnaître tout soutien reçu. Cela peut inclure le soutien administratif, financier et technique, ou des dons en nature (par exemple, des matériaux utilisés pour les expériences).

Cette recherche a été menée dans le cadre du Projet de Mise en Œuvre de la Recherche sur les Arganiers, réalisé dans le cadre du Projet de Développement de l'Arganiculture dans les Zones Vulnérables, connu sous le nom de "DARED", avec un financement fourni par le Fonds Vert pour le Climat (GCF). Cette étude a également bénéficié du soutien de l'Agence Nationale de Développement des Zones d'Oasis et des Arganiers (ANDZOA). Abderrahmane Ait Lhaj et Noureddine Ibnezzyn, ainsi que leurs équipes dévouées, ont été activement impliqués. Nous tenons à remercier la Fédération Interprofessionnelle du Secteur de l'Argan (FIFARGANE) pour son aide dans l'accès et l'utilisation de la base de données des acteurs du secteur de l'arganier et pour avoir facilité les premiers contacts.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. FAO. Climate change and food security: risks and responses. FAO, Rome, Italy 2015.

2. Boer, G.; Flato, G.; Ramsden, D. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: Projected climate to the twenty-first century. Clim. Dyn 2000. 16, 427–450. https://doi.org/10.1007/s003820050338

3. IPCC. Emissions scenarios: summary for policymakers : a special report of IPCC Working Group III. WMO (World Meteoro-logical Organization) : UNEP (United Nations Environment Programme), Geneva 2000.

4. Bonan, G.B. Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests. Science 2008, 320, 1444–1449. https://doi.org/10.1126/science.1155121

5. Goulden, M.L.; Munger, J.W.; Fan, S.-M.; Daube, B.C.; Wofsy, S.C. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy. Glob. Change Biol 1996, 2, 169–182. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1996.tb00070.x

6.Robert M. - Rapport sur les ressources en sols du monde. Rome 2002, 55 p.

7. Green Climate, F. FP022: Development of Arganiculture Orchards in Degraded Environment (DARED) Avail-able online: https://www.greenclimate.fund/project/fp022 (accessed on 15 January 2024).

8. Eggelston, Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inven-tories. https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/

9. Picard, N., Saint-André, L., & Henry, M. (2012). Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132499685

10. Rinaldi, S.; Barbanera, M.; & Lascaro, E. Assessment of carbon footprint and energy performance of the extra virgin olive oil chain in Umbria, Italy. Science of the Total Environment, 2014, 482–483(1), 71–79. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.104

11. Pattara, C.; Salomone, R.; & Cichelli, A. Carbon footprint of extra virgin olive oil: a comparative and driver analysis of dif-ferent production processes in Centre Italy. Journal of Cleaner Production, 2016, 127,

533–547. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.152

12. Proietti, S.; Sdringola, P.; Regni, L.; Evangelisti, N.; Brunori, A.; Ilarioni, L.; Nasini, L.; & Proietti, P. Extra Virgin Olive oil as carbon negative product: Experimental analysis and validation of results. Journal of Cleaner Production, 2017, 166, 550–562. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.230

13. Fernández-Lobato, L.; López-Sánchez, Y.; Blejman, G.; Jurado, F.; Moyano-Fuentes, J.; & Vera, D. Life cycle assessment of the Spanish virgin olive oil production: A case study for Andalusian region. Journal of Cleaner Production, 2021, 290. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125677

Exploring the suppressive potential of argan tree soil from a protected Area against *meloidogyne spp*. using metagenomic approch

Obidari T.[1,*], Filali Alaoui I.[1], Braimi A.[1], Mayad E1. A. [1], El Mousadik

[1] *Laboratory of Biotechnologies and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences - Agadir, Ibnou Zohr University, B.P 8106, 80000 Agadir, Morocco*

* *dridori1988@gmail.com*

ABSTRACT

Suppressive soils are those in which soil-borne pathogens do not develop or persist, or develop but cause limited or no symptoms at all. suppressiveness to root knot nematodes are of interest to define the biological agents regulate population density, especially with growing concerns about environmental and human health impacts of chemical nematicides. The present study had two objectives; assessing of the potential suppressive effect of argania soil compared to conventional soil against root-knot nematodes and identifying by metagenomics analysis the biological agents limiting Meloidogyne development in the suppressive soil, especially. The experiment was conducted in the greenhouse of the Faculty of Sciences of Agadir under tomato plants using two type of soils; natural from argania forest and conventional from an agricultural area. We found that argania soils showed 95% reduction in the nematode population density and an 81.5% reduction of the gall index. Fungal diversity was higher in argania soil with 65 fungal genera and 55 species identified, whereas bacterial taxonomic diversity was higher in conventional soils with 46 species detected. In addition, the presence of some bacteria and fungi was correlated to a higher suppression potential in argania soils. Therefore, Arganeraie Biosphere soils can be a source of biological agents which can be used for sustainable management of gall nematodes.

Keywords
biological control, biodiversity, root knot nematode, sustainable. cropping, soil health

RÉSUMÉ

Exploration du potentiel de sol de l'arganier d'une zone protégée contre *meloidogyne spp*. en utilisant une approche métagénomique

Les sols suppresseurs sont ceux dans lesquels les agents pathogènes du sol ne se développent pas ou ne persistent pas, ou se développent mais causent peu ou pas de symptômes. La suppressivité aux nématodes à galles racinaires est d'intérêt pour définir les agents biologiques qui régulent la densité de population, en particulier avec les préoccupations croissantes concernant les impacts des nématicides chimiques sur la santé humaine et l'environnement. La présente étude avait deux objectifs : évaluer l'effet suppresseur potentiel du sol d'arganier comparé au sol conventionnel contre les nématodes à galles racinaires et identifier par analyse métagénomique les agents biologiques limitant le développement de Meloidogyne dans le sol suppresseur. L'expérience a été menée dans la serre de la Faculté des Sciences d'Agadir sur des plants de tomate

Mots clés
lutte biologique, biodiversité, nématode à galles racinaires, culture durable, santé des sols.

en utilisant deux types de sols : naturel de la forêt d'arganier et conventionnel d'une zone agricole. Nous avons constaté que les sols d'argania montraient une réduction de 95 % de la densité de population des nématodes et une réduction de 81,5 % de l'indice de galles. La diversité fongique était plus élevée dans le sol d'argania avec 65 genres fongiques et 55 espèces identifiées, tandis que la diversité taxonomique bactérienne était plus élevée dans les sols conventionnels avec 46 espèces détectées. De plus, la présence de certaines bactéries et champignons était corrélée à un potentiel de suppression plus élevé dans les sols d'argania. Par conséquent, les sols de la biosphère d'Arganeraie peuvent être une source d'agents biologiques utilisables pour la gestion durable des nématodes à galles.

INTRODUCTION

Soil health is a fundamental component for sustainable cropping, with soil biodiversity playing a crucial role in pathogen suppression(Steel and Ferris, 2016; Delgado-Baquerizo et al., 2020). Suppressive soils are those in which soil-borne pathogens do not develop or persist, or develop but cause limited or no symptoms at all (Baker and Cook, 1974; Topalović et al., 2020). There is a significant positive relationship between soil suppressiveness, nematode diversity and soil food web complexity (Carrascosa et al., 2014). The prevalence of predator nematodes in the soil enhance suppression by predation on phytoparasitc genera (Sánchez-Moreno and Ferris, 2007; Steel and Ferris, 2016). Disease suppression relies also upon the antagonistic activities of specific microbial communities in plants rhizosphere (Hussain et al., 2018). However, in agricultural soil, plant soil organisms interactions in the rhizosphere are significantly impacted by management practices such as chemicals, tillage and plants identity, which alter the micro-environment (Tomazini et al., 2008; Neher, 2010).

PPNs stand out as major contributor to damage plant roots, resulting in substantial reduction in crop yields, they affect nearly all crops (Sasser, 1980), and their influence on global agricultural production losses has been quantified at over 25% (Nicol et al., 2011), translating to an economic range 100 to157 billion USD per year (Ali et al., 2014). *Meloidogyne* genus, a root-knot nematode (RKN), emerges as the most polyphagous and damaging plant-parasitic nematode of crops in the world (Jones et al., 2013). Understanding the relationship between root knot nematodes and other soil biota can promote their sustainable management. Over the last tree decade, there was a growing interest on identification of natural enemies of PPNs in the soil, especially nematophagous fungi and bacteria (Stirling, 2014; Topalović et al., 2020).

Notabely, the utilization of high throughput sequencing approaches has provided deep insights into the microbial community composition of rhizosphere soils and their contribution in the suppression of soil-borne pathogens (Mendes et al. 2011; Cha et al. 2016; Chapelle et al. 2016).

While the argan tree has drawn the attention of researchers primarily due to the economic, nutritional, and cosmetic value of its oil (Moukal, 2004;Koufan et al., 2020), few studies have focused on investigating the soils of Arganeraie Biosphere to explore exploitable bioresources beneath the argan trees.

As the first study to investigate soil microbial biodiversity and the suppressive effect of argan tree soils against a soilborne pathogen, this study aimed to evaluate the efficacy of soil nematodes and microbial diversity associated with the argan tree in managing Meloidogyne populations.

MATERIAL AND METHODS

2.1. Collection and description of soils

In late July 2023, two different soils (sandy, and loamy sand) were collected from two different locations in Souss Massa region, Morocco. The first location is a steppe forest with argania tree *(Argania spinosa)* an emblematic endemic plant and euphorbia plants, situated within the Sousss Massa National Park, a protected area with highly diversified flora and fauna. The second location is located outside the park; it is a highly disturbed area with intensive conventional vegetables cropping. At each location, ten composite samples were collected, with approximately 30 L of soil collected from each habitat.

2.2. Nematodes extraction and enumeration

The nematode population was extracted from 100 g of soil sample using the Baermann funnel procedure. Extracted nematodes were identified to family and genus based on nematode morphological characteristics under optical microscope and classified into trophic groups.

2.3. Treatments and experimental design

The ten samples from each location were thoroughly mixed and passed through a sieve with 1 cm^2 openings to remove large aggregates. The two soil collections were then used for an experiment conducted in the greenhouse of the Faculty of Sciences in Agadir. Before placing the soils in 11-cm diameter plastic pots, 8 treatments were prepared: the protected soil was subjected to 4 treatments (100% natural soil, 1/2 autoclaved natural soil, 1/4 autoclaved natural soil, and 100% autoclaved natural soil), while the conventional soil was subjected to 2 treatments (conventional soil and 100% autoclaved conventional soil). The aim of these treatments was to dilute the soil biota. The six treatment combinations were arranged on greenhouse benches in a randomized complete block design with 5 replications. 1g of soil was collected in sterile Eppendorf 2ml tubes from each treatment after thorough mixing. The tubes were stored at -20 °C until DNA extraction and metagenomics assays. On July 31st, a single 2-week-old tomato seedling *(Solanum lycopersicum)* was transplanted into each pot. One day after transplanting, each pot was inoculated with 800 *Meloidogyne* spp. juveniles (J2).

2.3. Nematode assessment

After 67 days, plants growth parameters were measured. Root systems were removed, washed free of soil, determined their fresh weights, and then rated for galling on a 0 (no galling) to 10 (most severe galling) scale (Zeck,1971). Eggs were then extracted from each root system in 1% sodium hypochlorite (Hussey and Barker, 1973) and enumerated as eggs numbers per gram of fresh root. Soil from each pot was mixed, and a 100-cm3 subsample was removed for extraction by Baermann method. Extracted second-stage juveniles (J2) of *Meloidogyne* were counted.

2.4. Soil microorganism characterization: DNA Extraction, Next-Generation Sequencing and Sequence Analysis

The DNA was extracted from 200 mg of each soil sample using the Qiagen DNeasy PowerMax Soil Kit, following the user manual provided by the manufacturer. The V3–V4 regions of the 16S rRNA and Fungal ITS fragments were amplified by PCR. The length and quality of the DNA fragments were detected using Nanodrop. The PCR products were mixed at equal density ratios and purified with the Qiagen Gel Extraction Kit (Qiagen, Hilden, Germany). The libraries were generated using the NEBNext® UltraTM DNA Library Prep Kit for Illumina and quantified using Qubit and qPCR. The libraries were then analyzed using the Illumina platform. Amplicon sequencing of the ITS2 or 16S rRNA genes was carried out using 2 × 250 bp paired-end high-throughput sequencing on an Illumina HiSeq 2500 platform by Novogene (US).

2.5. Data analysis

Parametric tests were conducted after confirming data normality (via normality plot of residuals and Shapiro-Wilk test) and equality of variances (via residuals versus fits plot and Levene's test). Homogeneous groups were then determined through pairwise multiple comparisons using the Tukey's HSD test ($P < 0.05$). Nematode data (Gall index, juveniles' abundance) were subjected to a one-way ANOVA. Histograms were generated using the ggplot2.histogram() function in RStudio version 3.2.4. Trophic groups composition of each soil was determined basing on nematode taxa reported in the soils.

3. RESULTS

3.1. Juveniles (J2) density and gall Index

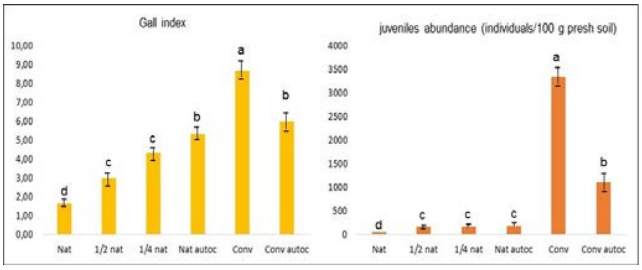


Figure 1. *Meloidogyne* juvenile abundance in 100 g of fresh soil and gall index in roots of tomato 7 weeks' post-inoculation with 1200 juveniles. Soil treatments: 100% argania soil (Nat), 1/2 autoclaved argania soil (½ nat), 1/4 autoclaved argania soil (1/4 nat), 100% autoclaved argania soil (autoc nat), conventional soil (conv) and 100% autoclaved conventional soil (conv aut).

A significant difference was observed for the numbers of J2 between treatments with the highest number was observed in conventional soil and the lowest in the argania soil with no autoclaved part (Figure 1). We found that argania soils showed 95% reduction in the

nematode population density. The highest gall index was reported also in conventional soils, hence, argania soil reduced gall index by 81.5%. we observed also an increasing in the numbers of J2 and gall index following the increasing parts of autoclaved soil in the treatments. The unexpected result was observed in the autoclaved soils from both localities, where the gall index and J2 density were reduced.

3.2. Bacterial and Fungal diversity

The results of next generation sequence showed that argania soil without treatment had the highest fungal diversity, with 65 fungal genera and 55 species identified, whereas 18 species were identified in conventional soil (Fig 2). The taxonomic composition showed that the most abundant genera in 200 mg of argania soil were *Myrothecium* (430 individulas), *Preussia* (331), *Mortierella* (154) *Penicillium* (97), and *Arthrobotrys* (81), *whereas Fusarium* (430), *Chaetomium* (132) *Aspergillus* (99), and *Alternaria* (52) were the most abundant genera in conventional soils. By contrast, bacterial diversity was increased in conventional untreated soil, with 190 genera and 54 species detected. On the other hand, 175 genera and 41 species were identified in argania soil (Table 1).

3.2. Free living nematodes functional diversity

The soil origin and autoclave treatments showed a significant impact on nematode abundance with the highest abundance occurring argania compared to conventional. Conventional soil showed the lowest abundance of all trophic groups with total absence of omnivores and predators. The highest abundance of predators, omnivores and fungivores was observed in argania soil with no treatment. Opposite to expected, bacterivores were present in all treatments.

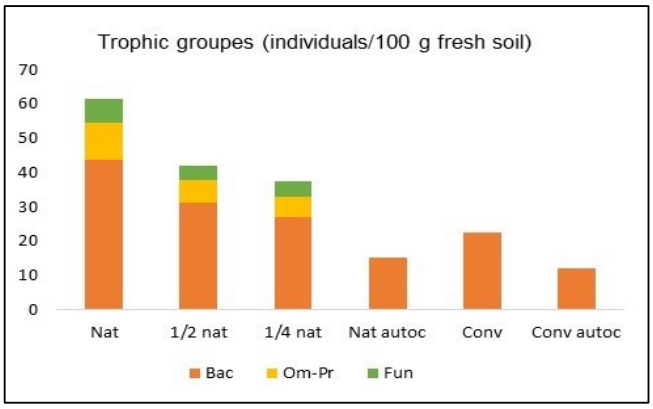


Figure 2. Trophic groups composition of nematode communities in different treatments (number of individuals per 100g of fresh soil). Bacterivore (Bac), omnivore-predator (Om-pr), and fungivore (Fun). Soil treatments: 100% argania soil (Nat), 1/2 autoclaved argania soil (½ nat), 1/4 autoclaved argania soil (1/4 nat), 100% autoclaved argania soil (autoc nat), conventional soil (conv) and 100% autoclaved conventional soil (conv aut).

Table 1 : Taxonomic diversity of fungi and bacteria in argan and conventional soils

	Fungal taxonomy				Bacteria taxonomy			
	Conventional	Argania	Argania 1/2	Argania 1/4	conventional	Argania	Argania 1/2	Argania 1/4
Kingdom	2	3	3	3	54	41	32	29
Phylum	7	6	5	6	35	32	27	28
Class	11	10	12	11	135	117	113	113
Order	17	21	20	19	3	3	3	3
Family	21	41	37	31	190	175	158	154
Genus	25	53	50	34	163	160	147	144
Species	18	42	37	24	97	87	81	81

DISCUSSION

During this study, we demonstrated the positive effect that microbial communities and free-living nematodes could have in reducing root-knot nematode population densities. The suppressive potential of different soil organisms highly relies on the abundance and diversity of free-living nematodes, fungal, and bacterial species present in the soil. Therefore, soil microbial composition is influenced by several intensive cropping practices, which shift the microbial composition and weaken soil health and resilience. Rhizosphere microbes, especially a group of plant-protective microbes, constitute the first line of defense that assists the host plant in protecting itself during nematode invasion (Garrett et al., 2017; Hussain et al., 2018). Several studies have reported that nematophagous fungi (NFs) can be used as effective biocontrol agents against *Meloidogyne* (Kiewnick and Sikora, 2006; Singh et al., 2012; Jamshidnejad et al., 2013, Tazi et al., 2021). The use of local strains of these fungi has shown promising results in combating phytoparasitic nematodes, garnering interest in both developed and developing countries (Askary, 2015). NFs can be classified into toxin-producing fungi, endoparasites, egg and female parasites, and nematode-trapping fungi (Jansson et al., 1997). Among the most important species are *Actylellina*, *Arthrobotrys, Aspergillus, Catenaria, Dactylellina, Hirsutella, Pochonia, Purpureocillium* and *Trichoderma* (Abd Elgawad and Askary, 2018). Bacteria such as *Bacillus, Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens*, and Rhizobium have also been reported as antagonists of phytoparasitic nematodes and can be used in biological control (Sikora et al., 2007). Other studies have confirmed significantly lower reproduction rates of *Meloidogyne* under tomato plants grown in natural soil compared to those grown in sterilized soil, demonstrating the essential role of the soil microbiome in disease suppression and plant health (Adam et al., 2014). Furthermore, in protected soils, soil food webs are more structured with the presence of all trophic groups, reflecting an improved soil health and enhanced resistance to invasive organisms (Briar et al., 2007; Steel and Ferris, 2016).

The results obtained in this study demonstrate that argan tree soils are rich in microbiological resources. These findings provide valuable insights and serve as a baseline for further investigations into the development of microbial-based management strategies for phytoparasitic nematodes.

Acknowledgement

The authors are thankful for the productive partnership between the Faculty of Sciences in Agadir and the direction of Souss Massa National Park. We deeply appreciate the dedicated efforts of the park rangers whose invaluable assistance greatly contributed to our fieldwork and sample collection process.

REFERENCES

Abd-Elgawad, M. M. M., & Askary, T. H. (2018). Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1), 1–24.

Adam, M., Westphal, A., Hallmann, J., & Heuer, H. (2014). Specific microbial attachment to root knot nematodes in suppressive soil. *Applied and Environmental Microbiology,* 80(9), 2679–2686. https://doi.org/10.1128/aem.03905-13

Ali, N., Chapuis, E., Tavoillot, J., & Mateille, T. (2014). Plant-parasitic nematodes associated with olive tree (Olea europaea L.) with a focus on the Mediterranean Basin: A review. *Comptes Rendus Biologies*, 337(7–8), 423–442.

Askary, T. H. (2015). Nematophagous fungi as biocontrol agents of phytonematodes. In *Biocontrol agents of phytonematodes* (pp. 81–125). CABI Wallingford UK.

Baker, K. F., & Cook, R. J. (1974). *Biological control of plant pathogens.* WH Freeman and Company.

Briar, S. S., Grewal, P. S., Somasekhar, N., Stinner, D., & Miller, S. A. (2007). Soil nematode community, organic matter, microbial biomass and nitrogen dynamics in field plots transitioning from conventional to organic management. *Applied Soil Ecology,* 37(3), 256–266. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.08.004

Carrascosa, M., Sánchez-Moreno, S., & Alonso-Prados, J. L. (2014). Relationships between nematode diversity, plant biomass, nutrient cycling and soil suppressiveness in fumigated soils. *European Journal of Soil Biology,* 62, 49–59. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.02.009

Delgado-Baquerizo, M., Reich, P. B., Trivedi, C., Eldridge, D. J., Abades, S., Alfaro, F. D., Bastida, F., Berhe, A. A., Cutler, N. A., & Gallardo, A. (2020). Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution,* 4(2), 210–220. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41559-019- 1084-y

Garrett, R. D., Niles, M. T., Gil, J. D. B., Gaudin, A., Chaplin-Kramer, R., Assmann, A., Assmann, T. S., Brewer, K., de Faccio Carvalho, P. C., & Cortner, O.

(2017). Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems,* 155, 136–146. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00164

Hussain, M., Hamid, M. I., Tian, J., Hu, J., Zhang, X., Chen, J., Xiang, M., & Liu, X. (2018). Bacterial community assemblages in the rhizosphere soil, root endosphere and cyst of soybean cyst nematode-suppressive soil challenged with nematodes. *FEMS Microbiology Ecology,* 94(10), fiy142. https://doi.org/doi: 10.1093/femsec/fiy142

Jamshidnejad, V., Sahebani, N., & Etebarian, H. (2013). Potential biocontrol activity of Arthrobotrys oligospora and Trichoderma harzianum BI against Meloidogyne javanica on tomato in the greenhouse and laboratory studies. *Archives of Phytopathology and Plant Protection,* 46(13), 1632–1640.

Jansson, H. B., Tunlid, A., & Nordbring-Hertz, B. (1997). *Nematodes In: Fungal Biotechnology (T. Anke, ed.)* (pp. 38–50). Chapman & Hall, Weinheim.

Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-lópez, R., Palomares-rius, J. E., Wesemael, W. I. M. M. L., & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology,* 14(9), 946–961. https://doi.org/10.1111/mpp.12057

Koufan, M., Belkoura, I., Mazri, M. A., Amarraque, A., Essatte, A., Elhorri, H., Zaddoug, F., & Alaoui, T. (2020). Determination of antioxidant activity, total phenolics and fatty acids in essential oils and other extracts from callus culture, seeds and leaves of *Argania spinosa* (L.) Skeels. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* (PCTOC), 141, 217–227. https://doi.org/10.1007/s11240-020-01782-w

Moukal, A. (2004). L'arganier, *Argania spinosa* L.(skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire. *Phytothérapie,* 2, 135–141. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10298-004-0041-2

Neher, D. A. (2010). Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil. *Annual Review of Phytopathology,* 48, 371–394. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-073009-114439

Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., Nijs, L. den, Hockland, S., & Maafi, Z. T. (2011). Current nematode threats to world agriculture. *Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions,* 21–43.

Sánchez-Moreno, S., & Ferris, H. (2007). Suppressive service of the soil food web: effects of environmental management. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 119(1–2), 75–87. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.06.0

Sasser, J. N. (1980). Root-knot nematodes: a global menace to crop production. *Plant Disease*, 64(1), 36–41.

Sikora, R. A., Schäfer, K., & Dababat, A. A. (2007). Modes of action associated with microbially induced in planta suppression of plant-parasitic nematodes. *Australasian Plant Pathology,* 36, 124–134.

Singh, U. B., Sahu, A., Singh, R. K., Singh, D. P., Meena, K. K., Srivastava, J. S., & Manna, M. C. (2012). Evaluation of biocontrol potential of Arthrobotrys oligospora against Meloidogyne graminicola and Rhizoctonia solani in Rice (Oryza sativa L.). *Biological Control,* 60(3), 262–270.

Spiegel, Y., & Chet, I. (1998). Evaluation of Trichoderma spp. as a biocontrol agent against soilborne fungi and plant-parasitic nematodes in Israel. *Integrated Pest Management Reviews,* 3, 169–175.

Steel, H., & Ferris, H. (2016). Soil nematode assemblages indicate the potential for biological regulation of pest species. *Acta Oecologica*, 73, 87–96. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2016.03.004

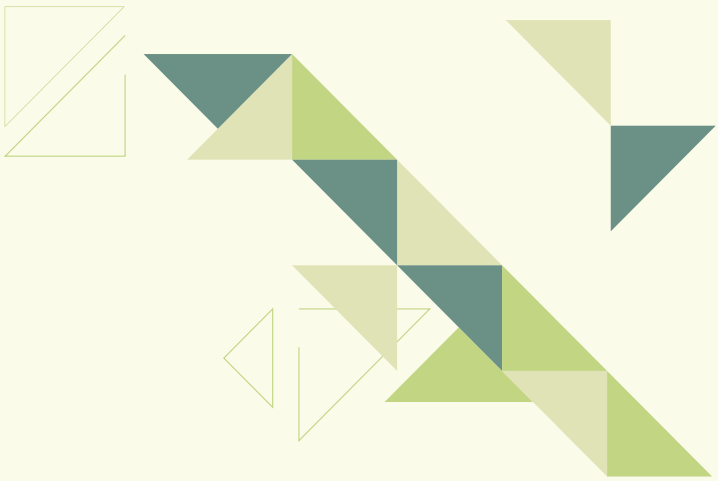
Stirling, G. R. (2014). Biological control of plant-parasitic nematodes: *soil ecosystem management in sustainable agriculture.* CABI. https://doi.org/h t t p s : / / d o i . o r g / 1 0 . 1 0 7 9 /9781780644158.0000

Tazi, H., Hamza, M. A., Hallouti, A., Benjlil, H., Idhmida, A., Furze, J. N., Paulitz, T. C., Mayad, E. H., Boubaker, H., & El Mousadik, A. (2021). Biocontrol potential of nematophagous fungi against Meloidogyne spp. infecting tomato. *Organic Agriculture,* 11, 63–71.

Tomazini, M. D., Ferraz, L., & Monteiro, A. R. (2008). Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. *Nematologia Brasileira,* 32(3), 185–193. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jobm.200710341

Topalović, O., Hussain, M., & Heuer, H. (2020). Plants and associated soil microbiota cooperatively suppress plant-parasitic nematodes. *Frontiers in Microbiology,* 11, 313. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00313

AXE 2
Arganiculture, biotechnologie et amélioration génétique



COMMUNICATIONS ORALES

Aridity's Impact on Morocco's Argan Trees: Analyzing morphological, ecophysiological, and biochemical parameters in the face of climate change challenges

Chaima Afi [1,2,*], Maryem Telmoudi [1,3], Fouad Msanda [2], Jamal Hallam [1] and Naima Ait Aabd [1]

[1] *Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[2] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, P.O. Box 8106 Agadir, Morocco*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Molecular Bioengineering, Faculty of Sciences and Techniques, Cadi Ayyad University, B.P 549, Av.Abdelkarim Elkhattabi, Guéliz, Marrakech, Morocco*

[*] *chaima.afi@edu.uiz.ac.ma*

Keywords
Argania spinosa ; climate change ; phytochemistry ; aridity.

ABSTRACT

Climate change has emerged as one of the most pressing global challenges, leading to various detrimental effects including drought, water scarcity, and increased aridity. In Morocco, home to the endemic *Argania spinosa* L. Skeels species, we have witnessed a decline in argan tree populations. In this study, our objective was to evaluate the impact of aridity on argan trees and underscore the importance of taking proactive measures to ensure the species' sustainability. To achieve this, we conducted morphological, ecophysiological, and biochemical assessments. Our findings revealed significant differences in parameters such as leaf area with a value of 88.79 mm² in Essaouira and 92.98 mm² in Guelmim, relative water content with Guelmim having a value of 48.46% and Essaouira having one of 38.59%. For flavonoids content Essaouira scored a lower value compared to Guelmim with a content of 12.7 and 16.49 mg EQ/ g DW, respectively. Soluble sugars also demonstrated a very highly significant difference. In conclusion, our research highlights the current status of argan trees compared to historical records and underscores the urgent need for decisions such as reforestation efforts and legislative measures to safeguard and preserve the sustainability of the argan tree species.

Mots clés
Argania spinosa ; changement climatique ; phytochimie ; aridité.

RÉSUMÉ

Impact de l'aridité sur les arganiers du Maroc : Analyse des paramètres morphologiques, écophysiologiques et biochimiques face aux défis du changement climatique

Le changement climatique est devenu l'un des défis mondiaux les plus pressants, entraînant divers effets néfastes, notamment la sécheresse, la rareté de l'eau et l'augmentation de l'aridité. Au Maroc, où l'on trouve l'espèce endémique *Argania spinosa* L. Skeels, nous avons observé un déclin des populations d'arganiers. Dans cette étude, notre objectif était d'évaluer l'impact de l'aridité sur les arganiers et de souligner l'importance de prendre des mesures proactives pour assurer la durabilité de l'espèce. Pour ce faire, nous avons effectué des évaluations morphologiques, écophysiologiques et biochimiques. Nos résultats ont révélé des différences significatives dans des paramètres tels que la surface foliaire, avec une valeur de 88,79 mm² à Essaouira et de 92,98 mm² à Guelmim, la teneur en eau relative, avec une valeur de 48,46 % à Guelmim et de 38,59 %

à Essaouira. En ce qui concerne la teneur en flavonoïdes, Essaouira a obtenu une valeur inférieure par rapport à Guelmim, avec une teneur de 12,7 et 16,49 mg EQ/g DW, respectivement. Les sucres solubles ont également montré une différence très hautement significative. En conclusion, notre recherche met en évidence l'état actuel des arganiers par rapport aux enregistrements historiques et souligne le besoin urgent de prendre des décisions telles que des efforts de reforestation et des mesures législatives pour sauvegarder et préserver la durabilité des arganiers.

INTRODUCTION

Morocco, located in North Africa, faces various climate change effects including higher temperatures, increased heat waves, reduced precipitation, and altered rainfall patterns [1-2]. Global warming since the early 20th century has exacerbated these changes, leading to more frequent and severe droughts, particularly in North Africa[3].

Drought, a significant consequence of climate change, triggers physiological and bio-chemical responses in plants, affecting their growth and productivity [4-6]. The argan tree (*Argania spinosa* L.), designated as a UNESCO Biosphere Reserve, faces threats from population growth, agricultural expansion, and habitat loss [7-9].

Efforts to restore argan forests, including the development of arganiculture in vulnerable areas (DARED) project supported by the Green Climate Fund, aim to enhance argan tree productivity and promote sustainable forest management [7,10]. Our study investigates the impact of aridity on argan trees in southern Morocco, highlighting the urgent need for conservation and reforestation to preserve this vital species and maintain ecosystem resilience.

MATERIAL AND METHODS

2.1. Plant Material

Plant material was collected from Essaouira and Guelmim. Leaves were collected from three levels of the tree in four directions, ensuring representativeness. The material was stored at 8°C. Some leaves were dried at 40°C for 48 hours and ground into powder.

2.2. Morphometric Characteristics

Morphometric characteristics of the leaves (surface area, width, length, and ratio of length to width) were measured using the "Portable Leaf Area Meter AM350" device.

2.3. Relative Water Content (RWC)

RWC was calculated using the equation by [11], based on fresh weight, turgid weight (after soaking leaves in distilled water at 4°C for 24 hours), and dry weight (measured after ovendrying the leaves at 70°C for 48 hours).

2.4. Chlorophyll Content

Chlorophyll content was measured using the "Chlorophyll Content Meter CCM-300" device.

2.5. Polyphenols Content

Total polyphenol content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent method with modifications, following the protocol by [12]. The content was expressed in milligrams per gram of dry weight (DW) using gallic acid as a standard.

2.6. Flavonoids Content

The total flavonoid content (TFC) was determined based on the formation of an aluminum-flavonoid complex, according to the method described by Lfitat et al. (2021), using quercetin equivalents per gram of dry weight (mg QE/g DW).

2.7. Antioxidant Activity

Antioxidant activity was assessed using the DPPH assay with modifications as described by [12]. The percentage inhibition of the DPPH free radical was calculated accordingly.

2.8. Soluble Sugar Content

Soluble sugar content was determined following the method of [13], expressed in milligrams per gram of dry weight using a glucose standard curve.

2.9. Statistical Analysis

Data analysis was performed using t-test with SPSS software version 25.

RESULTS

3.1. Morphometric characteristics

The statistical analysis of argan tree leaf surface data showed - no significant difference ($p \leq 0.05$) between the two locations (Table 1). Leaves from trees in

Guelmim exhibit the highest leaf surface area with a value of 92.98 mm², whereas leaves from trees at Essaouira station recorded the lowest values of 88.79 mm². The analysis of leaf width averages indicated no significant difference between leaves between the two stations. However, the highest value was found in Guelmim (8.07 mm) and Essaouira had the lowest (6.17 mm) (Table 1). The analysis of averages showed that the two sites had close values with 22.18 mm for Essaouira and 19.69 for Guelmim, respectively (Table 1). T-test results have demonstrated that there is no significant difference (Table 1). The leaf area ratio results show no significant difference in terms of means.

Table 1. Leaf area, leaf width, length and surface ratio in argan leaves from the two studied lo-calities.

Site	Leaf area (mm²)	Leaf width (mm)	Leaf length (mm)	Leaf area ratio
Essaouira	88,79 ± 16,91	6,17 ± 0,62	22,18 ± 2,66	0,92 ± 0,48
Guelmim	92,98 ± 7,71	8,07 ± 2,87	19,69 ± 2,03	0,71 ± 0,05
LSD (0.05)	0,161NS	0,119NS	0,925NS	0,375NS

*** LSD: Least significant differences; * significant at p < 0.05; *** significant at p < 0.01 ; *** signif-icant at p < 0.001; ns: no significant**

3.2. Chlorophyll content and Chlorophyll ratio

The findings from the analysis of chlorophyll content in the leaves of argan trees are presented in Table 2. The results indicate a very significant difference between the both sites. Essaouira site recorded a mean value of 403.32 mg/m², while the Guelmim recorded a value of 384.24 mg/m², exhibiting a difference of 20 mg/m² between the sites. There is no apparent significant difference among the studied sites concerning the results for the chl a/ b ratio.

Table 2. Chlorophyll content and cholorophyll ratio in argan leaves from the two studied locali-ties.

Site	Chlorophyll content (mg/m²)	Chlorophyll ratio
Essaouira	403,32 ± 113,15	0,92 ± 4,02
Guelmim	384,24 ± 79,19	0,71 ± 0,07
LSD (0.05)	0,003**	0,267NS

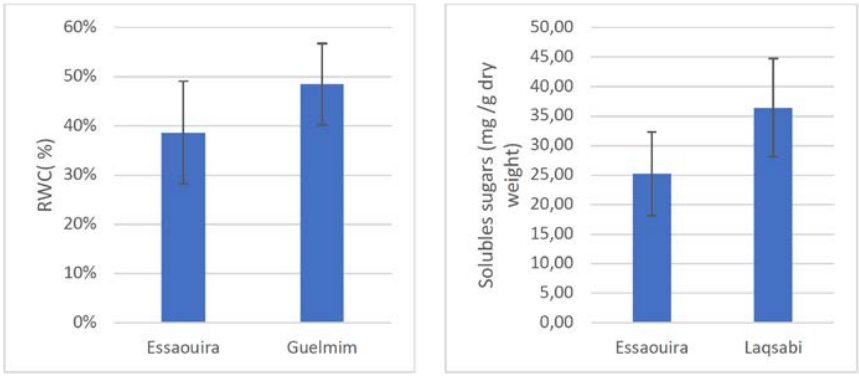
*** LSD: Least significant differences; * significant at p < 0.05; *** significant at p < 0.01 ; *** signif-icant at p < 0.001; ns: no significant**

3.3. Relative water content

The results of the water status of trees from the different sites are reported in figure 1. T-test results have demonstrated that there is a very significant difference. The results showed that Guelmim had a RWC content of (48.46%), while Essaouira station had a value of (38.59%), with a teen percent difference.

3.4. Soluble sugars content

For soluble sugars, the statistical results have shown that is a very highly significant difference. The highest value was noted in trees from the Guelmim site (36.4 mg/g dry weight), while the lowest value was recorded in argan tree leaves in the Essaouira site (25.21 mg/g dry weight) with a content difference of almost 10 mg/g dry weight (Figure 1 (b)).



(a) (b)

Figure 1. (a) The mean of RWC for both locations; (b) The average content of soluble sugars in Argan leaf extract (mean ± SD, n = 15).

3.5. Total polyphenols and flavonoids content

Both sites had close values with Essaouira recording a value of 19.2 mg EGA / g dry weight and Guelmim with a value of 18.17 mg EGA/ g dry weight (Table 3). Statistical results show that there is no significant difference. Flavonoid content results reveal a very significant difference. Essaouira site had a content of 12.7 mg EQ/g dry weight and the Guelmim site had a content of 16.49 mg EQ/g dry weight

3.6. Antioxydant activity

The DPPH test results (Table 3) illustrate that the antioxidant activity of both sites exceeded 90%. Essaouira site scored a scavenging capacity of 91.17% and the Guelmim site a capacity of 90.32%. Nevertheless, there is no significant difference between the results.

Table 3. Relative water, soluble sugar, Polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity in argan leaves from the two studied localities.

Site	Polyphenols content (mg EGA/g DW)	Flavonoids content (mg EQ/g DW)	Antioxydant activity %
Essaouira	19,2 ± 5,52	12,7 ± 3,28	91,17 ± 2,31
Guelmim	18,17 ± 1,21	16,49 ± 3,1	90,32 ± 2,54
LSD (0.05)	0,488 NS	0,003 **	0,348 NS

*** DW : Dry weight ; EGA: Equivalent gallic acid; EQ: Equivalent quercetin; LSD: Least significant differences; * significant at p < 0.05; *** significant at p < 0.01 ; *** significant at p < 0.001; ns: no significant .**

DISCUSSION

Plant growth and productivity are affected negatively by the stressful environmental conditions (drought and aridity). Consequently, plants reacts to this stress via various modifications including morphological, anatomic, physiological and biochemical which permits the maintain of growth, development and production [14]. Despite abundant research, there's an ongoing debate over drought tolerance mechanisms in plants, with responses being complex and varied. Leaf morphometric analysis shows no significant difference in all morphometric parameters. Chlorophyll content significantly varies among two locations, decreasing with increasing aridity gradient [15]. Factors like age, light, and water availability influence chlorophyll levels [16], alongside stationspecific factors such as altitude or irrigation. Relative water content patterns align with previous findings, indicating the remarkable ability of certain species like the argan tree to maintain leaf turgidity under adverse climates [17]. Under environmental stress, plants increase polyphenols and flavonoids production [18]. Antioxidant activity, attributed to high phenolic compound content, exceeds 90% in leaf extracts from different locations

[19]. Soluble sugar levels increase in argan trees under stress as starch reserves convert to soluble sugars. Similar trends were observed in waterdeficient argan tree seedlings, with increased soluble sugar levels and decreased starch concentrations. Moderate stress prompts a notable accumulation of active soluble sugars in argan trees [15]. Overall, It is imperative to prioritize the implementation of a more effective management strategy for the argan tree. This entails promoting its conservation within its natural habitat while adopting agricultural practices that enhance production resilience in the face of rising temperatures and aridity resulting from global change [20].

CONCLUSIONS

This study explores how environmental factors shape the argan tree's resilience and response to threats like climate change and drought. It emphasizes the importance of monitoring biochemical changes in Moroccan argan trees and understanding their adaptation to varying conditions. Action for sustainability is vital, including reforestation efforts and genetic research to identify suitable genotypes for different purposes.

Acknowledgments : This publication was supported by the National Agency of Development of Oasis and Argan area (ANDZOA), within the framework of the project for the Development of Arganiculture in Vulnerable Areas (DARED), a project cofinanced by the Green Climate Fund (GCF).

REFERENCES

[1] S. A. Walters, M. Abdelaziz, and R. Bouharroud, "Local melon and watermelon crop populations to moderate yield responses to climate change in North Africa," *Climate*, vol. 9, no. 8, pp. 1–13, 2021, doi: 10.3390/cli9080129.

[2] W. Hammoudy, R. Ilmen, and M. Sinan, "Impact of climate change on extremes events in Morocco," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1090, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1090/1/012034.

[3] M. A. Bihi, F. AinLhout, A. Hatimi, F. Fahmi, and S. Tahrouch, "Ecophysiological response and morphological adjustment of *Argania spinosa* L. Skeels under contrasting climates: Case study of marginal populations," *Int. J. Plant Biol.*, vol. 12, no. 1, 2021, doi: 10.4081/PB.2021.9404.

[4] A. LE, T. S, O. JE, and T. KK, "Stomatal Responses to Drought Stress and Air Humidity," *Abiotic Stress Plants* - Mech. Adapt., 2011, doi: 10.5772/24661.

[5] M. Noori, M.-M. Dehshiri, and N. Mehrdost, "165-169.pdf," *Int. J. Bot.*, vol. 8, no. 3, pp. 165–169, 2012, doi: 10.3923/ijb.2012.165.169.

[6] A. Chakhchar et *al., Physiological and Biochemical Mechanisms of Drought Stress Tolerance in the Argan Tree.* Elsevier Inc., 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-812689-9.00015-7.

[7] T. E. M. Sinsin, F. Mounir, and A. El Aboudi, "Conservation, valuation and sustainable development issues of the Argan Tree Biosphere Reserve in Morocco," *Environ. Socio-Economic Stud.*, vol. 8, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.2478/environ-2020-0004.

[8] N. Ait Aabd, A. Tahiri, R. Qessaoui, A. Mimouni, and R. Bouharroud, "Self- and Cross-Pollination in Argane Tree and their Implications on Breeding Programs," *Cells*, vol. 11, no. 5, 2022, doi: 10.3390/cells11050828.

[9] A. Nait Douch et al., "Photosynthetic Behavior of *Argania spinosa* (L.) Skeels Induced under Grazed and Ungrazed Conditions," *Sustain.*, vol. 14, no. 19, 2022, doi: 10.3390/su141912081.

[10] GCF, "FP022: Development of Argan orchards in Degraded Environment-DARED," no. September, 2016.

[11] Weatherley P.E., "Studies in the Water Relations of I . the Field Measurement of Water Deficits in Leaves," *New Phytol.*, vol. 49, no. 1, pp. 81–86, 1949.

[12] F. Fahmi, S. Tahrouch, O. Amri, K. El Mehrach, and A. Hatimi, "Assessment of aridity effects on phytochemistry and ecophysiology of *Argania spinosa* (L.)," *Agric. Nat. Resour.*, vol. 54, no. 4, pp. 397–404, 2020, doi: 10.34044/j.anres.2020.54.4.08.

[13] M. Dubois, K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, and F. Smith, "Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances," *Anal. Chem.*, vol. 28, no. 3, pp. 350–356, 1956, doi: 10.1021/ac60111a017.

[14] K. Kara and L. Brinis, "Réponse physiologique au stress hydrique de variétés de blé tendre (Triticum aestivum L.) cultivées en Algérie," *Eur. J. Sci. Res.*, vol. 81, no. 4, pp. 524–532, 2012.

[15] S. Berka and F. Aïd, "Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique," *Sécheresse*, vol. 20, no. 3, pp. 296–302, 2019, doi: 10.1684/sec.2009.0191.

[16] M. Ksontini, P. Louguet, D. Laffray, and M. N. Rejeb, "Comparaison des effets de la contrainte hydrique sur la croissance, la conductance stomatique et la photosynthese de jeunes plants de chenes mediterraneens (Quercus suber, q. faginea, Q. coccifera) en Tunisie," *Ann. des Sci. For.*, vol. 55, no. 4, pp. 477–495, 1998, doi: 10.1051/forest:19980407.

[17]H. MESLEM et al., "Effect of water deficit on Argan tree seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels): Morphological and physiological aspect," *African J. Biotechnol.*, vol. 14, no. 12, pp. 1020–1028, 2015, doi: 10.5897/ajb2014.14377.

[18] F. N. Muanda, "Identification de polyphénols , évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques François Muanda Nsemi To cite this version : HAL Id : tel-01752680 soutenance et mis à disposition de l ' ensemble de la Contact : ddoc-these," p. 160, 2010.

[19] N. Joguet and T. Maugard, "Characterization and quantification of phenolic compounds of *Argania spinosa* leaves by HPLC-PDA-ESI-MS analyses and their antioxidant activity," *Chem. Nat. Compd.*, vol. 48, no. 6, pp. 1069–1071, 2013, doi: 10.1007/s10600-013-0467-6.

[20] J. Luis de la Fuente, M. Zunzunegui, and M. C. D. Barradas, "Physiological responses to water stress and stress memory in *Argania spinosa*," *Plant Stress*, vol. 7, no. January, p. 100133, 2023, doi: 10.1016/j.stress.2023.100133.

Association des caractères d'intérêt par des croisements et des tests de descendances : Initiation à la création variétale chez l'arganier

Naima Ait Aabd[1*], Ali El Boukhari[1,2], Naima Chabbi[1,3], Abdelghani Tahiri[1], Rachid Bouharroud[1], Abderrahim Amarraque[1], Abdelaziz Mimouni[1], Jamal Hallam[1], Redouan Qessaoui[1]

[1] *Centre régional de recherche Agronomique d'Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Avenue Ennasr, BP 415 Rabat, Maroc ;*

[2] *Laboratoire de Biotechnologies et Valorisation des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc;*

[3] *Laboratoire de Biotechnologie et Bioingénierie Moléculaire, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, B.P 549, Av. Abdelkrim El Khattabi, Guéliz, Marrakech, Maroc.*

[*] *naima.aitaabd@inra.ma*

Mots clés
arganier ; amélioration génétique ; croisement ; compatibilité.

RÉSUMÉ

Pour améliorer la production et la résilience de l'arganier face aux changements climatiques, le développement des variétés peut être crucial pour répondre aux exigences des programmes d'arganiculture. Ces variétés sont souvent le résultat des programmes de recherche visant à améliorer les rendements, la qualité de l'huile, la résistance aux maladies et aux conditions environnementales défavorables. Sur la base d'un total de 14 arganiers sélectionnés, 86 combinaisons de croisement diallèle complet ont été réalisées. L'hétérogénéité est significativement plus élevée au niveau des caractères génotypes et phénotypes. Les 86 combinaisons ont produit 2267 fruits dont 76 persistés et seulement 42 descendants sont transplantés sur le terrain. Lors des croisements, certains génotypes s'hybrident facilement et d'autres sont difficiles à croiser ; et un fort avortement des fruits après la nouaison a été observé. Pour confirmer cette observation, l'approche cytogénétique a été adoptée afin de trouver une explication possible.

Keywords
argan tree; genetic improvement; crossing; compatibility.

ABSTRACT

Association of interest characters through crosses and progeny tests: Introduction to varietal creation in the argan tree

To improve the production and resilience of the argan tree in the face of climate change, the development of varieties can be crucial to meet the requirements of argan growing programs. These varieties are often the result of research programs aimed at improving yields, oil quality, resistance to diseases and adverse environmental conditions. Based in 14 selected argan trees, 86 full diallel crossing combinations were carried out. Heterogeneity is significantly higher at the level of genotype and phenotype characteristics. The 86 combinations produced 2267 fruits of which 76 persisted and only 42 descendants were transplanted to the field. When crossing, some genotypes hybridize easily and others are difficult to cross; and strong fruit abortion after fruit set was observed. To confirm this observation, the cytogenetic approach was adopted to find a possible explanation.

INTRODUCTION

Les programmes d'amélioration génétique de l'arganier peuvent être réalisés en intégrant les programmes des croisements et des connaissances des études cytogénétiques des parents potentiels ainsi que d'autres informations sur la variabilité génétique et phénotypique. Toutes les stratégies de conservation et d'amélioration génétique visant la culture de l'arganier nécessitent une bonne évaluation génotypique. Cependant, plusieurs études ont fait l'objet de la caractérisation agronomique, morphologique et moléculaire [1-5].

Pour tout programme de croisement, la compatibilité entre les parents est très importante. Pour l'arganier, le nombre élevé d'échecs de fécondation ou de nouaison est principalement dû à l'incompatibilité [6]. Plusieurs hypothèses ont été suggérées pour expliquer l'incompatibilité entre les parents au cours des croisements combinés.

L'association des caractères d'intérêt par des croisements et la réalisation des tests de descendance sont des étapes cruciales dans la création variétale. Ces étapes permettraient de développer de nouvelles variétés de plantes répondant aux besoins spécifiques des producteurs et des consommateurs dans le cadre des programmes d'arganiculture. L'initiation à la création variétale implique généralement plusieurs étapes, notamment l'identification des caractères d'intérêt, la sélection des parents pour les croisements, la réalisation des croisements, la sélection des descendances et la caractérisation des nouvelles variétés [7].

Cette étude contribue à la maîtrise du matériel végétal candidat pour le programme de sélection génétique pour l'arganiculture. L'analyse de la diversité et l'amélioration génétique de l'arganier sont les démarches clés pour développer la filière de l'Arganier au Maroc.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Choix des caractères d'intérêt

Plusieurs caractères d'intérêt font l'objet de cette étude tel que le rendement (fruits et huile), précocité de la floraison, cycle court de la maturation des fruits (9 mois), facilité de concassage, résistance aux maladies, tolérance aux conditions environnementales (ex. stress hydrique). Ces caractères sont dispersés entre les arganiers.

2.2. Sélection des parents

Le choix des parents dépend des caractères spécifiques qu'on souhaite étudier ou améliorer toute en répondant aux objectifs de cette recherche qu'est la création variétale. Les parents sélectionnés sont caractérisés par plusieurs approches agro-morphologiques, moléculaires et cytogénétiques.

2.3. Croisements

14 arbres parentaux ont été choisis parmi 142 arbres du verger (Domaine Expérimental Melk Zhar (DEMZ), Belfaa, Centre Régional de Recherche Agricole (CRRA), Agadir). Ces 14 arbres ont été répartis en deux groupes selon la synchronisation de la période de floraison. Le premier groupe comprend huit arbres et le deuxième groupe six arbres. Chaque arbre représente à la fois le donneur et le récepteur de pollen dans toute combinaison possible en utilisant une analyse diallèle complète.

2.4. Tests de descendance

Après avoir planifié les croisements diallèles complets entre les parents, un test de descendance a été réalisé pour étudier la transmission des caractères souhaités et mieux comprendre leur héritabilité et leur variabilité génétique.

2.5. Sélection avancée

Les meilleures lignées ou individus parmi la descendance ont été sélectionnées pour des croisements ultérieurs. Ces sélections sont basées sur des critères tels que la précocité de floraison et production, la performance agronomique, la résistance aux maladies, l'intensité florale, etc.

RÉSULTATS

3.1. Analyse des ratios phénotypiques

Une plateforme (demifrères-sœurs) et (pleins frères-sœurs) issus des croisements a été installée depuis 2020 au DEMZ-CRRA-Agadir, (Figure 1), dont on a :

1. 28 pleins frères et sœurs;
2. 12 demifrères et sœurs;
3. 2 descendants issus de l'autofécondation pour créer des lignées pures.

Sur la base d'un total de 86 combinaisons réalisées, la durée pour collecter des descendants matures varie d'un an à un an et demi selon les parents mère. La production des plants issus des croisements pour transplantation varie de deux ans à trois ans. L'âge des plants transplantés varie de 6 mois à 1 an.

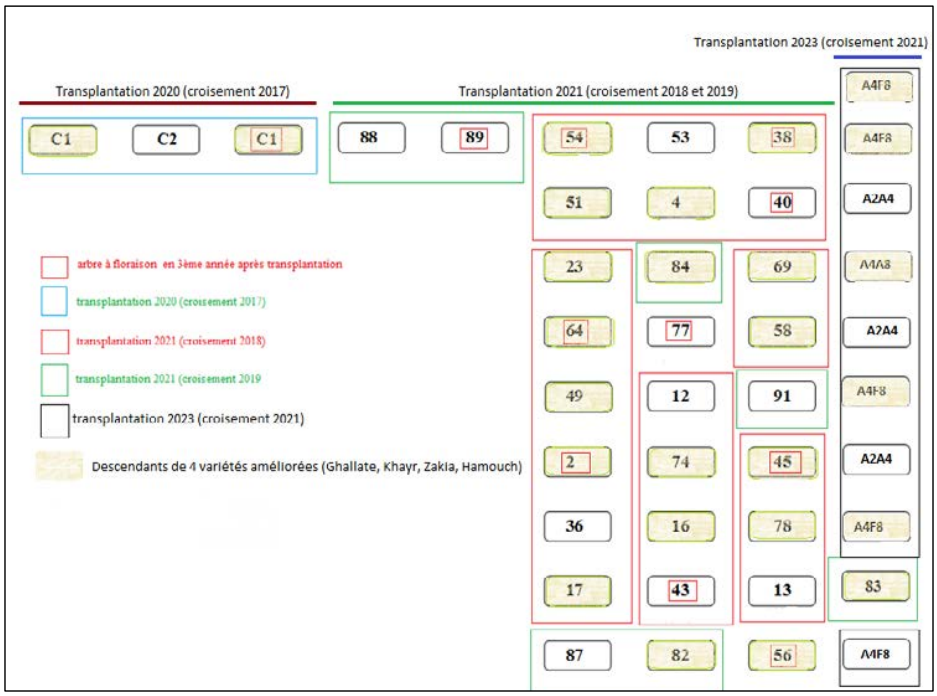


Figure 1. Plan de la plateforme des descendants issus d'une pollinisation contrôlée.and antioxidant activity in argan leaves from the two studied localities.

3.2. Évaluation et sélection des descendants qui présentent les caractères d'intérêt

La plateforme des résultats des croisements réalisés depuis 2017 a été installée en 2020 au DEMZ CRRA-Agadir. Cette plateforme renferme 42 descendants issus de 2267 fruits dont 76 fruits mûrs ont été récoltés (= source de graine) et semés pour étudier :

- Compatibilité du pollinisateur avec les 6 variétés inscrites au catalogue official en 2022,
- Effets métaxéniques ou xéniques des pollens sur la productivité, la qualité et la maturité des fruits,
- Association de certains caractères d'intérêt (Teneur en huile, précocité de floraison, cycle court de maturation des fruits (9 mois), facilité de concassage, etc.).

La précocité de floraison avec un cycle court de maturité sont des caractères rares chez les 42 descendants, dont un seul descendant a entamé la floraison à l'âge de 2 ans et demi indépendamment de la source des pollens. Ce descendant est issu de la variété Ghallate (Figure 2). Pour l'âge de la floraison, il a varié de 3 à 4 ans et presque 52 % des descendants entament la floraison.



Figure 2. Descendant de la variété Ghallate qui a fructifié à l'âge de 3 ans (Ait Aabd, N. 2023).

DISCUSSION

La pollinisation croisée qui consiste à transférer les pollens d'une plante aux stigmates d'une autre a le potentiel d'augmenter la diversité génétique de la prochaine génération [8], ou inversement, peut agir comme un moteur qui limite la diversité génétique au sein d'une espèce, empêchant ainsi la dérive génétique [9-10].

Dans la présente étude, les descendants issus des croisements diallèles complets présentent une variation génotypique considérable même pour le cas de pleins frères et sœurs. Certains caractères ont été observés

au cours des croisements qui sont contrôlés par parent mère tels que la forme de fruit et le cycle de maturité. Des fruits issus du croisement d'un arganier à cycle court de maturité des fruits (9 mois) avec un arganier à cycle long (15 mois) ont montré le caractère du pied mère. Des résultats pareils ont été obtenus avec le caractère de la forme du fruit.

CONCLUSIONS

Les programmes d'amélioration de l'arganier peuvent être accessible en intégrant les connaissances des études cytogénétiques et microsporogenèse des parents ainsi que d'autres informations sur les croisements. Quatorze génotypes sélectionnés parmi 142 arganiers domestiqués ont été évalués pour leur compatibilité inter et intra en utilisant une approche cytologique. Des difficultés de croisement ont été rencontrées dans la plupart des modèles de croisement diallèle ; cela a attiré notre attention pour expliquer l'échec de certains croisments par des études ultérieures.

Remerciements : Ce travail a été soutenu par l'Institut National de Recherche Agronomique, Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, Maroc (ID de subvention : PRMT Arganier 2021-2024). Nous remercions le staff technique du DEMZ-Belfaa : I. El Ouahidi et A. Charkaoui pour l'installation, le suivi et l'entretien des descendants et les deux stagiaires S. Radi et Y. Ben Omar.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] El Mousadik, A. and Petit, R. Chloroplast DNA phylogeography of the argan tree of Morocco. Molecular Ecology (1996a), 5(4): 547-555.

[2] Majourhat, K., Jabbar, Y., Hafidi, A. and Martínez-Gómez, P. "Molecular characterization and genetic relationships among most common identified morphotypes of critically endangered rare Moroccan species *Argania spinosa* (Sapotaceae) using RAPD and SSR markers." Annals of Forest Science. (2008) 65(8): 1.

[3] AIT AABD, N., MSANDA, F. and MOUSADIK, A. "Genetic diversity of the endangered argan tree (*Argania spinosa* L.)(sapotaceae) revealed by ISSR analysis." Basic Res J Agri Sci Rev. (2015). 4: 176-186.

[4] AitAabd N.,Bouharroud, R., Tahiri, A., Wifaya A., Mimouni, A., and El Mousadik, A. Genetic Diversity, Conservation and Breeding of Argan Tree (*Argania spinosa* L. Skeels). J.M. Al Khayri et al. (eds.), Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crops. ChapitreSpringer Nature Switzerland. (2019). pp. 31-56. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23112-5_2

[5] Mouhaddab, J., Msanda, F., Filal imaltouf, A., Belkadi, B., Ferradouss, A., El modafar, C., Koraichi, S. I. and El mousadik, A. "Using microsatellite markers to map genetic diversity and population structure of an endangered Moroccan endemic tree (*Argania spinosa* L. Skeels) and development of a core collection." Plant Gene. (2017).10: 51-59.

[6] Ait Aabd N,Tahiri A, Qessaoui R, Mimouni A, Bouharroud R. Self- and Cross-Pollination in Argane Tree and their Implications on Breeding Programs. Cells. (2022).Vol. 11(5):828

[7] J. Brown, P. Caligari, P. C. Mangelsdorf, An Introduction to Plant Breeding, Blackwell Publishing Ltd, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK (2014)

[8] Fattorini, R., and Glover, B.J. Molecular mechanisms of pollination biology. Annu. Rev. Plant Biol. (2020). 71, 487–515. https://doi.org/10.1146/annurevarplant081519-040003.

.[9] Andrews, C.A. Natural selection, genetic drift, and gene flow do not act in isolation in natural populations. Nat. Educ. Knowl. (2010). 3, 5.

[10] Ramos, S.E., and Schiestl, F.P. Rapid plant evolution driven by the interaction of pollination and herbivory. Science (2019). 364, 193–196.

Evaluation of argan rhizobacteria on argan seed germination

Naima Chabbi[1,2*] , Naima Ait Aabd[2] , Salahddine Chafiki[2,3] , Maryem Telmoudi[1,2] , Said El ab-bassi[2,4] , Abdelaziz Mimouni[2] , Rachid Bouharroud[2] , Rachid Mentag[5] , Khadija Bendiab[1] , Driss Hsissou1 , Redouan Qessaoui[2]

[1] *Laboratory of Agrobiotechnology and Bioengineering, Department of Biology, Faculty of Science Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.*

[2] *Régional Center of Agronomic Research of Agadir, Institut National de Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[3] *AgroBioSciences Department (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University UM6P)*

[4] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, P.O. Box 8106 Agadir, Morocco*

[5] *Régional Center of Agronomic Research of Rabat, Institut National de Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[*] *n.chabbi.ced@uca.ac.ma*

Keywords
Argania Spinosa, PGPR, seedling, biofertilization

ABSTRACT

Argania spinosa is one of the most important species of the Moroccan forest in ecological, environmental, and socio-economic terms. The exploitation of its rhizosphere will be very im-portant for soil enrichment as well as for the better development of the crops. This enrichment can be achieved by different factors: mycorrhizae, plant extracts, algae extracts, and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). The benefits provided by PGPR may include increased nutrient availability, phytohormone production, shoot, and root development, protection against several plant pathogens, and disease reduction. In this study, the effect of rhizobacteria isolated from the Agran rhizosphere was evaluated on germination percentage and radicle length for in vitro tests. 120 bacteria were isolated from the Agran rhizosphere and evaluated for their capacity of phosphate solubilization and IAA production. The results showed that 52 isolates were able to solubilize P with diameters of the solubilization halos varying between 0.56±0.14 cm and 2.9±0.08 cm. Among those 52 isolates, 25 were found tobe positive for IAA production. Those 25 isolates were first tested on maize growth to select the performant isolates. The results showed that 14 bacteria stimulate maize growth significantly for 30% for CN005, CN006 and CN009 compared to the control. Seven isolates (CN005, CN009, CN006, CN004, CN008, CN010 and CN011), that showed plant growth of more than 20%, were selected to evaluate their effect on argan germination rate and radicle length in vitro. The results showed that CN009 increased significantly the germination rate by 95.83%, and the radicle length by 87.22% compared to the control, followed by CN006 and CN008 (70% and 61.66% respectively).

Mots clés
Argania Spinosa, PGPR, semis, biofertilisation

RÉSUMÉ

Amélioration de la germination des graines d'*Argania spinosa* in vitro

Argania spinosa est l'une des espèces les plus importantes de la forêt marocaine en termes écologiques, envi-ronnementaux et socio-économiques. L'exploitation de sa rhizosphère sera très importante pour l'enrichisse-ment du sol ainsi que pour un meilleur développement des cultures. Cet enrichissement peut être réalisé par différents facteurs : mycorhizes, extraits de plantes, extraits d'algues et rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (PGPR). Les avantages fournis par les PGPR peuvent inclure une disponibilité accrue des nutriments,

la production de phytohormones, le développement des pousses et des racines, la protection contre plusieurs agents pathogènes des plantes et la réduction des maladies. Dans cette étude, l'effet des rhizobactéries isolées de la rhizosphère d'Agran a été évalué sur le pourcentage de germination et la longueur de la radicule pour des tests in vitro. 120 bactéries ont été isolées de la rhizosphère d'Agran et évaluées pour leur capacité de solubilisation du phosphate et de production d'AIA. Les résultats ont montré que 52 isolats étaient capables de solubiliser le P avec des diamètres des halos de solubilisation variant entre 0,56±0,14 cm et 2,9±0,08 cm. Parmi ces 52 isolats, 25 se sont révélés positifs pour la production d'AIA. Ces 25 isolats ont d'abord été testés sur la croissance du maïs pour sélectionner les isolats les plus performants. Les résultats ont montré que 14 bactéries stimulent la croissance du maïs de manière significative à hauteur de 30% pour CN005, CN006 et CN009 par rapport au contrôle. Sept isolats (CN005, CN009, CN006, CN004, CN008, CN010 et CN011), qui ont montré une croissance de la plante de plus de 20%, ont été sélectionnés pour évaluer leur effet sur le taux de germination de l'argan et la longueur de la radicule in vitro. Les résultats montrent que CN009 a augmenté significativement le taux de germination de 95,83%, et la longueur de la radicule de 87,22% par rapport au con-trôle, suivi par CN006 et CN008 (70% et 61,66% respectivement).

INTRODUCTION

The argan tree (*Argania spinosa*) is one of the few trees from the tropical family Sapotaceae that have been identified in Moroccan vegetation (Chakhchar et al., 2022).This crop is one of the most important species of the Moroccan forest in ecological, environmental, and socio-economic terms. However, the argan tree is facing very important regressive dynamics due to the combined effects of the aridity of the climate, the scarcity, and the irregularity of rainfall and human pressure (Elmostapha et al., 2022). On the other hand, the regeneration of the argan tree is practically absent in the main area of distribution of the species (Chakhchar et al., 2017). A rescue intervention and rapid safeguarding of the argan groves are necessary. Nevertheless, the water deficit and poverty of the soil reduce considerably the success of the plantations. Its cultivation or domestication will open important economic opportunities for Morocco (Chakhchar et al., 2022), given the growing demand for argan oil and its high price.

The exploitation of rhizospheric soils from different plants has been very important for soil enrichment (biofertilization) as well as for the improved development of crops. This enrichment can be achieved by different mechanisms among them PGPR. These rhizosphere bacteria can enhance plant growth through a wide variety of mechanisms mainly phosphate solubilization, siderophore production, biological nitrogen fixation, rhizosphere production, production of 1- aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACC), production of phytohormones (Auxins, GAs, ABA, and CKs)(Poonam Pandurang, 2021; Qessaoui et al., 2020). In addition to the antifungal activity and production of volatile organic compounds. The beneficial effects of PGPRs on plants also include stimulation of seed germination (Sáenz-Mata et al., 2023a) and plant development, as well as enhancement of mineral elements and water use (Figure 1). The green revolution in agricultural production has increased the use of agrochemical products (pesticides, herbicides, and fertilizers) to increase crop productivity and maintain food security, which is having a deleterious effect on our en-vironment and health (Popp et al., 2013). The aim of the study is to evaluate the effect of rhizospheric bacteria on argan tree germination.

MATERIALS AND METHODS

Soils sample collection

To search for plant growth-stimulating bacteria, 3 samples were taken in the rhizosphere soils of the argan tree at 20-30 cm depth in 3 different regions of Morocco Chtouka Ait Baha Province – Belfaa souss-massa region, Ait Meloul in Souss-Massa region and Laayoune Laayoune-Sakai El Hamra region

Isolation of bacteria

Isolation of rhizospheric bacteria was carried out by taking 1g of soil adherent to the roots for each sample and added to 9 ml of sterile physiological water and shaken for 5min, then a series of dilutions (10 -3 to 10 -8) were made. 0.1ml of each dilution was spread on Petri dish contained nutrient agar (NG). the petri dishes were incubated at 30°C for 48h. The different colonies were pricked out and transferred to a new Petri dish containing GN to obtain pure cultures. A total of 120 isolates were replicated. The isolates were stored at 4 °C on yeast dextrose carbonate (YDC) agar for a short period and at −80 °C in 40% glycerol (Kaur et al., 2007) for a long time.

Evaluation of plant-growth-promoting bacterial characteristics

Screening for phosphate solubilization

The isolates were tested for their capacity of solubilizing phosphate us ing NBRIP solid medium (Qessaoui et al., 2020). The pH of the NBRIP media was adjusted to 6.75 ± 0.25 before autoclaving. A volume of 10µl of each bacterial culture is dropped on the surface of the NBRIP medium. After 7 days of incubation at 30°C, the diameter of the halo around the colony was measured. A positive result of phosphate solubilization was indicated with a transparent halo around the colony.

Screening for indole acetic acid (IAA) production

The capacity of IAA production by bacterial isolates was tested following the method described by Bric et al., (1991). 10µl of each bacterial culture was grown in LB solid medium supplemented with 5mM tryptophan and incubated at 27°C for 3 days. Then, 1 mL of Salkowski reagent (2% 0. 5 M FeCl3 in 35% perchloric acid) was poured into the paper. The presence of IAA in the medium was confirmed by a reddish-to-pink coloration formed around the colony.

Effect of isolate on maize growth

maize seeds were sterilized in 1% sodium hypochlorite for 10 min, followed by three washes with sterile water. Seeds were inoculated by immersion for 1 h in the inoculum solution, with in Xanthan gum 1%, (108 CFU/ml) (Saadaoui et al., 2022). After inoculation, the seedlings were transplanted into plastic pots containing peat. the pots were placed in the greenhouse (T° = 25±2°C, RH = 70±5%). After 45 days, the plant height was measured. 30 seeds were used for each treatment.

In vitro effect of the isolates on the growth of *Argania spinosa* seedlings

The isolates that showed a significant effect on maize growth were test on seed germination of *A. spinosa* in the nutrient broth medium for 24 h at 28 °C separately. The culture was centrifuged and diluted with sterilized distilled water to maintain the cell density at 108 CFU/ml.

Seeds collected from the same plant were first broken to remove the shell. The kernels were sterilized on the surface with a solution of sodium hypochlorite (2%) for 10 min, and rinsed three times with sterile distilled water, and dried in septic conditions. The seeds were inoculated with bacterial suspension combined with xanthan 1%. Control seeds were treated with sterile distilled water combined with xanthan 1%. Treated and control seeds were placed in 9cm-Petri dishes containing filter paper immersed with sterile distilled water (1ml) with 24 kernels for each treatment and 8 kernels in each petri dishes. The plates were incubated for 7 days at 20°C. The germination rate and the radicle length were carried out.

RESULTS

Screening for phosphorate solubilization

The results obtained showed that amoung 120 isolates 52 were able to solubilize Phosohate. The solubilization was manifested by a clear halo around the colonies in medium (figure 1). Furthermore, the halo of solubilization varied from 0.56 ± 0.14 cm to 2.90 ± 0.08 cm for isolates CN003 and CN010 respectively (Table 1).

Screening for indole acetic acid (IAA) production

The 52 isolates that showed phosphate solubilization were tested for their IAA production. The results demonstrated that among 52 bacteria tested, 25 were able to produce IAA in the LBT medium. The isolates CN008, CN009, and CN011 showed the highest production of IAA compared to the other isolates (table 1). The IAA production was manifested by a reddish-to-pink coloration formed around the colony after adding of the Salkowski reagent. The intensity of the color is related to the concentration of IAA produced (figure 1).

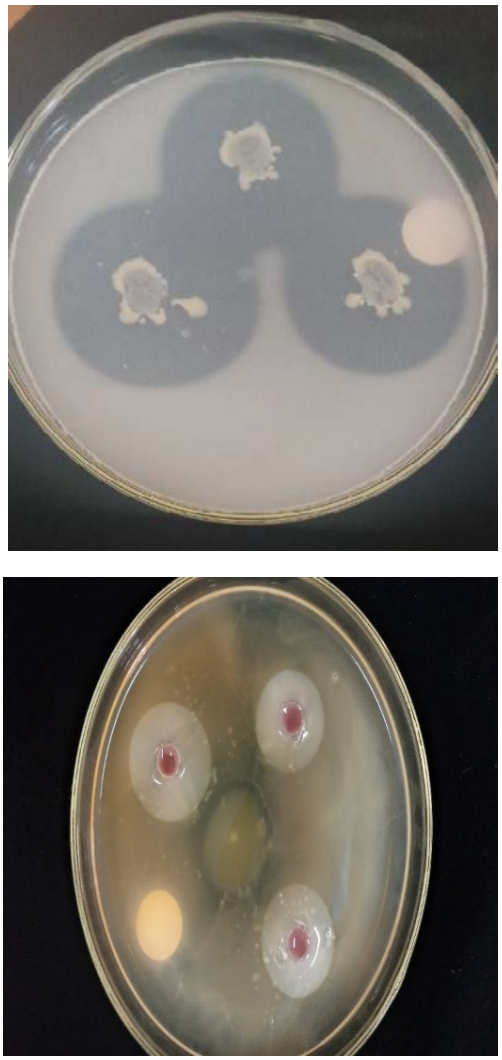


Figure 1 : P-solubilizing and IAA producing bacteria

Table 1: Estimation of the qualitative potential of PGPR isolates in solubilization halo (cm) and IAA production.

Isolats	P-Solubilisation halo (cm)	IAA production	Isolats	P-Solubilisation halo (cm)	IAA production
CN001	1.40±0.00	+	CN083	0.86±0.09	-
CN002	1.63±0.12	+	CN099	0.90±0.00	-
CN003	0.56±0.14	+	CN076	0.96±0.05	-
CN004	1.87±0.05	++	CN061	1.07±0.09	-
CN005	1.33±0.17	++	CN118	1.07±0.17	-
CN006	1.43±0.05	++	CN101	1.10±0.14	-
CN007	1.83±0.12	+	CN120	1.13±0.09	-
CN008	1.47±0.17	+++	CN119	1.17±0.24	-
CN009	2.23±0.05	+++	CN074	1.20±0.08	-
CN010	2.90±0.08	++	CN114	1.23±0.05	-
CN011	1.40±0.00	+++	CN088	1.27±0.05	-
CN012	1.27±0.05	+	CN097	1.30±0.08	-
CN013	1.40±0.08	+	CN102	1.33±0.05	-
CN014	1.30±0.00	+	CN100	1.37±0.05	-
CN015	1.73±0.09	+	CN064	1.40±0.08	-
CN016	1.27±0.12	+	CN098	1.47±0.05	-
CN017	0.87±0.09	+	CN089	1.53±0.05	-
CN018	2.00±0.16	+	CN071	1.55±0.74	-
CN019	2.00±0.00	+	CN108	1.67±0.24	-
CN020	1.90±0.00	+	CN086	1.80±0.00	-
CN021	1.40±0.08	+	CN052	1.86±0.05	-
CN022	1.15±0.05	+	CN080	1.90±0.90	-
CN023	1.30±0.08	+	CN069	2.00±0.24	-
CN024	2.00±0.16	+	CN115	2.03±0.05	-
CN025	1.10±0.00	+	CN109	2.83±0.12	-
CN096	0.80±0.08	-			
CN029	0.83±0.17	-			

In vitro effect of the isolates on the growth of maize seedlings

The 25 isolates that showed the phosphorate solubilization and IAA production were selected to evaluate their PGPR effect on maize growth in greenhouse.

The results showed that among 25 isolates tested, 20 were showed a positive effect on maize growth varied from 4.66 % to 30.90% of gain, showed by CN021 and CN005 isolates respectively compared with control. Statistical analysis showed that the isolates (CN011, CN009, CN010 CN005 CN006 and CN008) showed a highly significant effect on the growth gain of maize plants compared with others(figure2).

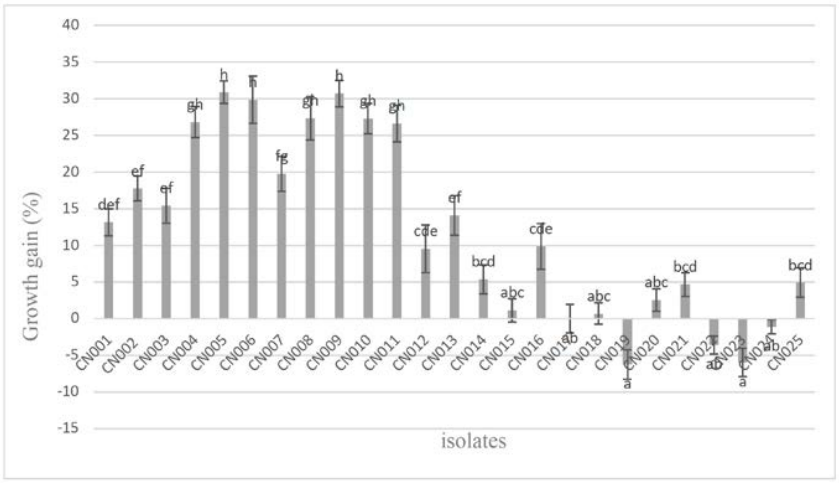


Figure 2: Effect of bacterial isolates on the growth of maize

Effect of the isolates on the growth of *Argania spinosa* seedlings: In vitro test

The results showed that the isolates (CN011, CN009, CN010 CN005 CN006 and CN008), showed a stimulator effect of germination ranging from 50 to 95% (figure 3). The statistical analysis showed that isolate CN009 significantly increased germination by 95.83% compared with the control which is 37.5% (figure 3). For the radical length, the results showed that the 7 isolates significantly improve the radicle length gain ranging from 38.33 to 87.22% for CN010 and CN009 respectively (figure 4).

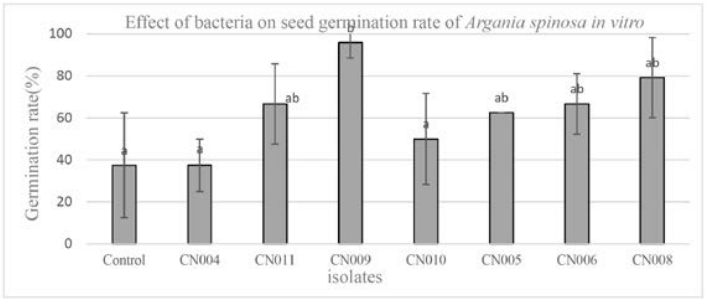


Figure 3: Effect of bacteria on the germination rate of argan seeds *in vitro.*

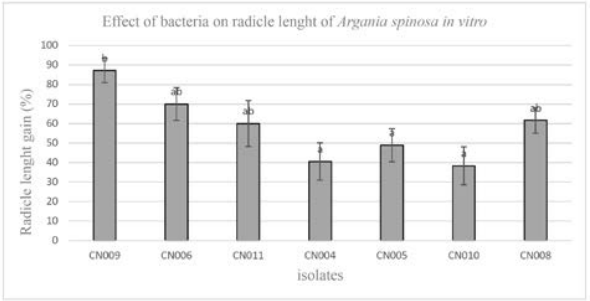


Figure 4: Effect of bacteria on radicle length of argan seeds *in vitro*



Figure 5: Effect of bacterial isolates on seed germination of *Argania spinosa in vitro* after 72 h of incubation in the dark at 25 °C (a) Control without any rhizobacteria inoculation, (b) inoculated with plant-growth-promoting rhi-zobacteria.

DISCUSSION

In this context, a collection of 120 rhizobacteria was isolated from argan rhizospheric and examined for their performances. Our isolates showed in vitro positive PGPR traits, such as the solubilization of phosphate and the production of IAA. Furthermore, the use of Compared to the control, PGPR significantly increases the germination-related variables. The radicle length also increased by 87.22%, and the germination of the CN009 isolate significantly improved by 95.83%. Improvement in this parameter were observed in other isolates, such as CN004 and CN010, ranging from 40.55% to 38.33%. Previous studies have shown that the inoculation with different PGPR enhance root length, A. radioresistens promoted an increase of 135%. Similar enhancement of seed germination parameters has been reported across various cereals, including sorghum and pearl millet, by all isolates of Pseudomonas fluorescens with 92% improvement (Raj et al., 2004). Rodriguez et al. (2001) revealed that the use of Azospirillum spp. improved germination of tomato and bell pepper seeds. Likewise, Basavaraju et al (2002) also found that inoculation with Azotobacter choococcum strain C2 significantly increased germination percentage in radish. The PGPR-induced improvement in seed germination has also been observed in the case of wheat and sunflower. Some PGPRs induced an increase in seed emergence and achieved up to 100% more than the controls (Gholami et al, 2009). It is well proven that growth stimulation in response to PGPR inoculation can implicate different action mechanisms. Such as IAA, where Exogenous IAA controls a wide variety of processes in plant development and plant growth: low concentrations of IAA can stimulate primary root elongation, whereas high IAA levels stimulate the formation of lateral roots, decrease primary root length and increase root hair formation(Patten & Glick, 2002). The inoculation of seeds with a PGPR in vitro showed that many PGPR may increase the number and/or length of lateral roots (Chamam et al., 2013), and stimulate root hair elongation in vitro (Dobbelaere et al., 2003). Consequently, the uptake of minerals and water, and thus the growth of the whole plant, can be increased. Some of these effects, including increased root and shoot biomass, are also documented for PGPR-inoculated plants growing in soil.

CONCLUSION

This study tried to expose the rhizosphere of the argan tree and more precisely the bacteria that could both solubilize phosphate, produce auxin, and give important results during inoculation for different plants. This study concluded that the utilization of native PGPR either alone as bioinoculants improves *Argania spinosa*, rate germination, and radicle length in vitro. Seed, soil, and plant inoculation with PGPRs is a promising approach to improve global agricultural production and optimize nutrient use efficiency. In the present study, we highlight that the plant rhizosphere is a valuable source of potent rhizobacteria that can serve as an ecological solution for biofertilization by different mechanisms without compromising the safety of the environment. In the future, it is necessary studies on the effects of the inoculation of bacteria on productivity and fruit quality of Argan tree.

In conclusion, the results of this study suggest that simultaneous screening of rhizobacteria for growth and yield promotion under pot and field experiments is an efficient tool to select effective PGPR for biofertilizer development biotechnology.

REFERENCES

1. Gholami, S. S. and S. N. (2009). The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize . *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering.*.

2. Bric, J. M., Bostock, R. M., & Silverstone, S. E. (1991). Rapid In Situ Assay for Indoleacetic Acid Production by Bacteria Immobilized on a Nitrocellulose Membrane. *Applied and Environmental Microbiology,* 57(2), 535. https://doi.org/10.1128/AEM.57.2.535-538.1991

3. Chakhchar, A., Ben Salah, I., El Kharrassi, Y., Filali-Maltouf, A., El Modafar, C., & Lamaoui, M. (2022). Agro-Fruit-Forest Systems Based on Argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results. *Frontiers in Plant Science,* 12, 3195. https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.783615/BIBTEX

4. Chakhchar, A., Haworth, M., El Modafar, C., Lauteri, M., Mattioni, C., Wahbi, S., & Centritto, M. (2017). An assessment of genetic diversity and drought tolerance in argan tree (*Argania spinosa*) populations: Potential for the development of improved drought tolerance. *Frontiers in Plant Science,* 8, 276. https://doi.org/10.3389/FPLS.2017.00276/BIBTEX

5. Chamam, A., Sanguin, H., Bellvert, F., Meiffren, G., Comte, G., Wisniewski-Dyé, F., et al. (2013). Plant secondary metabolite profiling evidences strain-dependent effect in the Azospirillum-Oryza sativa association. Phytochemistry 87, 65–77. doi: 10.1016/j.phytochem.2012.11.009

6. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. Critical Reviews in Plant Sciences, 22(2), 107–149. https://doi.org/10.1080/713610853

7. Patten, C. L., & Glick, B. R. (2002). Role of Pseudomonas putida indoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental

Microbiology, 68(8), 3795–3801. https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3795-3801.2002/ASSET/A25B82B9-3425-4F76-9838-7FAD1812F5FA/ASSETS/GRAPHIC/AM0822027001.JPEG

8. Elmostapha, O., Hanane, D., Rachid, B., & Lahcen, O. (2022). Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolates from Semi-arid Mediterranean Ecosystems as Biofertilizers in Argan Tree Development. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 944–955. https://doi.org/10.1007/S42729-021-00704-9/METRICS

9. Kaur, R., Singh, R. S., & Alabouvette, C. (2007). Antagonistic activity of selected isolates of fluorescent Pseudomonas against Fusarium oxysporum f. sp. ciceri. *Asian Journal of Plant Sciences,* 6(3), 446–454. https://doi.org/10.3923/AJPS.2007.446.454

10. Poonam Pandurang, K. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) : A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 10(4), 882–886. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1004.093

11. Popp, J., Pető, K., & Nagy, J. (2013). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 243–255. https://doi.org/10.1007/S13593-012-0105-X/FIGURES/4

12. Qessaoui, R., Bouharroud, R., Benhima, R., Mayad, E. H., Chebli, B., & Serghini, M. A. (2020). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on Citrus macrophylla rootstock. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences,* 1(2), 79–83. https://techagro.org/index.php/MJAS/article/view/833

13. Raj, S. N., Shetty, N. P., & Shetty, H. S. (2004). Seed bio-priming with Pseudomonas fluorescens isolates enhances growth of pearl millet plants and induces resistance against downy mildew. *International Journal of Pest Management,* 50(1), 41–48. https://doi.org/10.1080/09670870310001626365

14. Saadaoui, N., Silini, A., Cherif-Silini, H., Bouket, A. C., Alenezi, F. N., Luptakova, L., Boulahouat, S., & Belbahri, L. (2022). Semi-Arid-Habitat-Adapted Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Allows Efficient Wheat Growth Promotion. *Agronomy* 2022, Vol. 12, Page 2221, 12(9), 2221. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12092221

15. Sáenz-Mata, L.-A. ;, Fortis-Hernández, J. ;, Navarro-Muñoz, M. ;, Palacio-Rodríguez, C. E. ;, Preciado-Rangel, R. ;, Pérez-García, L.-A.,. (2023a). Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Germination and Bioactive Compounds in Cucumber Seedlings. *Agronomy* 2023, Vol. 13, Page 315, 13(2), 315. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13020315

Caractérisation d'une sélection de têtes de clones de six variétés d'Arganier

Ali El Boukhari [1,2], Rachida El Boullani [2], Abdelhamid El Mousadik [2], Meriyem Koufan [1], Abdelghani Tahiri [1], Rachid Mentag [3], Hamid Benyahia [4], Rachid Bouharroud [1] et Naima Ait Aabd [1,*]

[1] *Institut National de la Recherche Agronomique, Unité de Recherche Ressources Naturelles et Produits de Terroir CRRA-Agadir, Maroc ;*

[2] *Laboratoire de Biotechnologies et Valorisation des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc ;*

[3] *Institut National de la Recherche Agronomique, Unité de Recherche en Biotechnologie, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Rabat, Maroc ;*

[4] *Institut National de la Recherche Agronomique, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Kenitra, Maroc.*

[*] *aitaabdnaima@gmail.com ;*

RÉSUMÉ

Argania spinosa L. Skeels est une espèce endémique à vocation oléo-agro-sylvo-pastorale du centre ouest du Maroc, caractérisée par une grande variabilité morphométrique et génétique dans son milieu naturel. Actuellement, une transition de paysages à base d'arganier uniquement à l'état sauvage dans des espaces forestiers, vers des plantations assistées à partir de semis ou parfois de plants issus de la multiplication végétative, constitue un élément fondamental pour sa domestication. Dans ce contexte, le présent travail est une contribution originale pour le développement de l'arganiculture basée sur la sélection. Pour cela, notre objectif est de caractériser, au niveau moléculaire et cytogénétique, des génotypes (tête de clones) déjà sélectionnés et inscrits par l'Institut National de la Recherche Agronomique. Cette sélection a été, entre autres, sur la base de critères agro-morphologique liés au rendement en fruits. Les principaux résultats obtenus par des marqueurs génétiques révélés en masse (Inter Simple Sequence repeats) ont nettement illustré une distinction entre les six génotypes (Têtes de clones : Ghallate, Khayr, Mazhar, Naama, Zakia et Hamouch). Par ailleurs, l'approche cytogénétique, moyennant la cytométrie en flux, a permis de mettre en évidence des variations d'émission d'intensité de la fluorescence allant jusqu'à 28% environ (150-210 U).

Mots clés
Argania spinosa ; têtes de clones ; cytométrie en flux ; marqueurs génétiques.

ABSTRACT

Characterization of a selection of clone heads of Argan new varieties

Argania spinosa L. Skeels is an endemic species with an oleo-agro-sylvo-pastoral vocation from central-west Morocco. It is characterized by great morphometric and genetic variability in its natural environment. Currently, a transition from landscapes based on argan trees only in the wild in forest areas, to assist plantings from seedlings or sometimes plants resulting from vegetative propagation, constitutes a fundamental element for its domestication. In this context, the present work is an original contribution to the development of arganiculture based on selection. For this, our objective is to characterize, at the molecular and cytogenetic level, genotypes (head of clones) already selected and registered by the National Institute of Agronomic Research. This selection was, among other traits, based on agro-morphological criteria linked to fruit yield. The main results of genetic markers revealed in mass (Inter Simple Sequence repeats) clearly illustrated a distinction between the six genotypes (Clone heads: Ghallate, Khayr, Mazhar, Naama, Zakia, and Hamouch). Furthermore, the cytogenetic approach, using flow cy-tometry, made it possible to demonstrate variations in fluorescence in-tensity emission of up to approximately 28% (150-210 U).

Keywords
Argania spinosa ; clone heads ; Distinction ; flow cytometry ; genetic markers.

INTRODUCTION

Dans le centre ouest du Maroc, l'arganier, une espèce de la famille des Sapotacées, pousse naturellement dans la région. Cet arbre appartient à une flore thermophile bien adaptée aux climats arides et semi-arides [1] offrant une richesse botanique unique caractérisée par une forte variabilité intraspécifique, plusieurs usages et de nombreux services écosystémiques [2, 3, 4]. La stratégie en matière de valorisation et de conservation de l'arganier suite à sa dégradation continue dans le temps et dans l'espace, un programme national visant la domestication de l'arganier à travers l'arganiculture a été entrepris par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Dans ce cadre, l'INRA suite à l'évaluation d'une plantation à la Station Expérimentale Melk-Zhar de l'ensemble des arbres, six arbres élites ont été sélectionnés pour servir de source de futures plantations dans le programme prévu de l'arganiculture par l'Agence Nationale pour le Dévelop-pement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA). Ce travail de sélection est le résultat d'une évaluation pluriannuelle de certains caractères intéressants liés à la phé-nologie et au rendement en fruits. L'objectif du présent travail est de mettre en évidence des outils permettant l'identification variétale de ces variétés en se basant sur l'exploitation du polymorphisme de certains marqueurs non couteux, rapides et faciles à utiliser. Aussi, ce travail vise à chercher l'existence d'une variation au niveau quantitatif de l'ADN.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le matériel végétal correspond aux variétés productives inscrites en 2022 au catalogue officiel nommées comme suit : Ghallate, Khayr, Mazhar, Naama, Zakia et Hamouch. Ces têtes de clones, résultats d'une sélection sur plusieurs années et sur différents caractères d'intérêt agroéconomique de la collection nationale de l'arganier plantée depuis 2010 dans la plateforme d'arganiculture du domaine expérimental de Melk-Zhar relevant du centre régional de la recherche agronomique d'Agadir (INRA) à Belfaa. Afin de vérifier la particularité de chacune de ces variétés, nous avons opté pour une caractérisation à l'aide de deux outils : analyse en cytométrie en flux et l'analyse moléculaire. L'analyse en cytométrie en flux a été réalisée pour déceler les variations du profil cytométrique. En effet, une portion de 5 mm2 de feuilles de chaque arbre est dilacérée dans un tampon d'extraction puis filtrée. Ensuite, un tampon de coloration à base de DAPI (CyStainTM UV Precise P) a été ajouté, deux échantillons ont été analysés par variété dont lesquelles des dizaines de cellules ont été montés et la fluorescence émise est collectée au cytomètre par Cyflow® Space sysmex. Pour l'analyse moléculaire, neuf marqueurs universels de type ISSR (5 décrits par [5] et 4 décrits par [6]) ont été utilisés (tableau 1).

L'amplification PCR a été réalisée selon le protocole cité par [5]. Ensuite, les profils ISSR ont été convertis en une matrice binaire (présence/absence), le nombre total de bandes et le nombre de bandes polymorphes ont été notés. De ce fait, la distance génétique de Nei est calculée entre ces variétés avec le logiciel GenAlex 6.5b3 et l'analyse a été projetée en coordonnées principales représentant la majorité de la variance exprimée.

Tableau 1. Motif et conditions d'amplification des amorces

No	Code amorce	Motif	Température d'hybridation en °C	[$MgCl_2$] mM
1	ISSR807	(GA)8C	52,0	1,5
2	ISSR3/8	(GA)8YG	56,8	2
3	ISSR8/8	(CTC)8	59,8	2
4	ISSR4/8	(AC)8YG	55,0	1,5
5	ISSR7/8	(AGC)6	60,5	2
6	ISSR2	(GT)8GC	58,3	2
7	ISSR4	(AC)8CT	57,2	2
8	ISSR5	(GA)8CC	58,1	2
9	ISSR6	(CA)8AC	58,1	2

RÉSULTATS

1. Cytométrie en flux

L'analyse en cytométrie en flux a révélé une différence entre les variétés en matière de l'intensité émise des cellules colorées au DAPI (Figure 1). En effet, cette intensité reflète le contenu en ADN dans les cellules, ce qui signifie que les spécimens analysés sont différents en ce qui concerne la quantité d'ADN, voire la taille du génome malgré la faible sensibilité du colorant utilisé (DAPI). Les pics d'intensité enregistrés varient entre 150 U et 210 U. Résultat, les variations extrêmes d'émission d'intensité de la fluorescence sont de l'ordre de 28%.

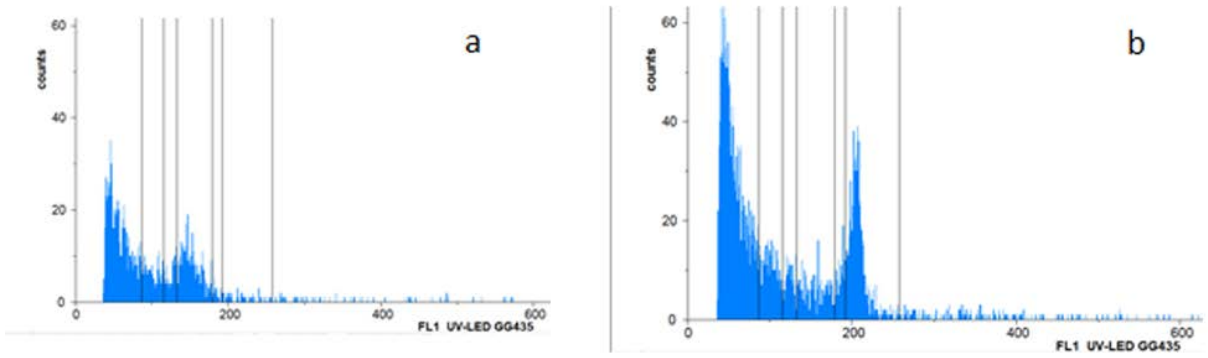


Figure 1. Profils d'intensité de la fluorescence émise des cellules analysées des variétés étudiées en cytométrie en flux: (a) Profil cytométrique qui représente le pic d'intensité la plus basse. (b) Profil cytométrique qui représente le pic d'intensité la plus haute. Dans les axes des ordonnées : nombre de cellules analysées en flux. Dans les axes des abscisses : intensité de la fluoréscence émise.

2. Distance génétique

L'analyse moléculaire à travers des marqueurs discriminants (ISSR) a montré que la distance génétique entre les variétés est assez importante (Figure 2). En effet, la projection PCoA sépare les variétés bien largement en utilisant les deux premiers axes de la variance qui expriment 56,59% de la variance totale. En plus, les 9 marqueurs utilisés ont permis d'amplifier 57 bandes, dont 40 polymorphes.

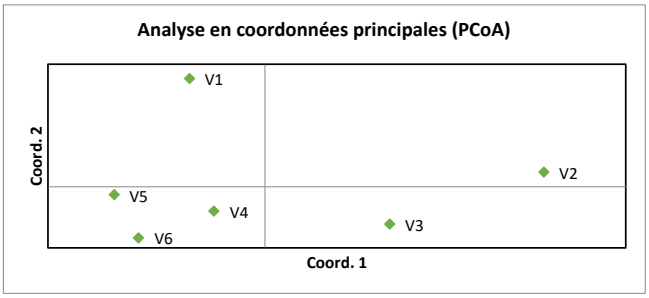


Figure 2. Analyse en coordonnées principales représentée par les deux premiers axes à base de la matrice de distance génétique calculée par GenAlex. V1 : Ghallate, V2 : Naama, V3 : Mazhar, V4 : Khayr, V5 : Zakia, V6: Hamouch.

DISCUSSION

La marge d'intensité détectée en cytométrie en flux confirme la variation détectée à l'échelle cytologique (taille du génome). En effet, cette variation est majoritairement due à la variation du nombre chromosomique cité chez l'arganier [4]. De plus, la distance génétique calculée entre ces variétés est évidente et marque la particularité à l'échelle moléculaire. En effet, la détermination des relations génétiques permettra d'améliorer encore l'efficacité de l'échantillonnage et de l'utilisation de ces ressources génétiques [7]. L'utilisation de la variation existante dans une grande collection d'arganiers pourrait être grandement consolidée en se limitant à ce nombre de variétés très distants génétiquement. Ces variétés méritent d'être têtes de clones pour la multiplication végétative et la suite des études de stabilité, d'homogénéité et de singularité en vue du développement de la filière de l'arganiculture.

CONCLUSIONS

Ces travaux ont permis de retracer la distinctivité variétale entre les têtes de clone sélectionnées au sein de la collection du domaine expérimental Melk-Zhar. En effet, chaque variété est distincte de points de vue cytologique et moléculaire.

Remerciements : Nous sommes profondément reconnaissants pour le soutien technique apporté par le staff technique du Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir et du Centre Regional de la Recherche Agronomique de Kenitra. Ce travail a été soutenu et financé par l'Institut National de Recherche Agronomique d'Agadir, Maroc (ID de subvention. PRMT 2020-24).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Msanda, F., Mayad, E. H., & Furze, J. N. Floristic biodiversity, biogeographical significance, and importance of Moroc-co's Arganeraie Biosphere Reserve. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 45, 64156-64165.

2. Ait Aabd, N. A., El Asbahani, A., El Alem, Y., El Finti, A., Msanda, F., & El Mousadik, A. Variation in oil content and fatty acid composition in preselected argan trees with morphological characters and geographical localiza-tion. Mediterranean *Journal of Nutrition and Metabolism,* 2013, 3, 217-225.

3. Karmaoui, A. Ecosystem services of the argan forest, the current state and trends. *Advances in Research*, 2016, 1, 1-13.

4. El Boukhari, A., Salma, T. A. B. I., El Mousadik, A., El Boullani, R., Tahiri, A., Koufan, M., ... & Ait Aabd, N.

Flow cytom-etry and chromosome numbers variation in argan tree *Argania spinosa* (L.) Skeels. *Notulae Scientia Biologicae*, 2023, 1, 11451-11451.

5. Ait Aabd, N. A., Msanda, F., & Mousadik, A. E. Genetic diversity of the endangered argan tree (*Argania spinosa* L.) (sap-otaceae) revealed by ISSR analysis. *Basic Res. J. Agric. Sci. Rev,* 2015, 4, 176-186.

6. Konate, I., El-Bekkay, B., & Filali-Maltouf, A. Inter-simple sequence repeat markers variation among natural accessions of Moroccan carob tree *(Ceratonia siliqua). International Journal of Agriculture and Biology*, 2009, 2, 168-172.

7. Mouhaddab, J., Ait Aabd, N., Achtak, H., Msanda, F., Zahidi, A., Filali-Maltouf, A., ... & El-Mousadik, A. Patterns of ge-netic diversity and structure at fine scale of an endangered Moroccan endemic tree (*Argania spinosa* L. Skeels) based on ISSR polymorphism. *Notulae Botanicae, Horti Agrobotanici, Cluj-Napoca*, 2015, 2, 528-535.

The combined effect of subsurface water retention technology and compost application on soil moisture and argan seedlings growth and physiology under field condition in the Essaouira region

Boujemaa Fassih[1], Mohamed Ait El Mokhtar[2,*], Abderrahim boutasknit[4], Raja Ben Laouane[5], Abdelilah Meddich[1,3] and Said Wahbi[1,3]

[1] *Laboratory of AgroFood, Biotechnologies and Valorization of Plant Bioresources (AGROBIOVAL), Department of Biology, Faculty of Science Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakesh, 40000, Morocco;*

[2] *Lab. Biochemistry, Environment & Agrifood URAC 36, Dept. of Biology, Faculty of Science and Techniques – Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, Mohammedia, 28800, Morocco;*

[3] *Centre d'Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche labellisée CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05), Cadi Ayyad University, Marrakesh, Morocco ;*

[4] *Dept. of Biology, Multidisciplinary faculty of Nador, Mohammed Ist University, Oujda, Morocco.*

[5] *Laboratory of Environment and Health, Department of Biology, Faculty of Science and Techniques, Errachidia 52000, Morocco*

[*] *mohamed.aitelmokhtar@gmail.com*

Keywords
argan seedlings; compost; subsurface water retention technology; growth; physiological responses

ABSTRACT

This study investigates the combined effect of the subsurface water retention technology (SWRT) and compost use on soil moisture and argan seedlings growth and physiology in open field in the Essaouira region, Morocco. One yea rold argan seedlings were transplanted in the presence and the absence of biodegradable plastic and 5% green waste compost. After 12 months of seedlings transplanting, soil moisture profile and argan shoot elongation (SE), stomatal conductance (gs), and chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) were monitored during the seasons of the year. The results indicate that the application of SWRT and/or compost improved soil profile moisture at different depths by up to 486%. In addition, these treatments also resulted in a significant improvement in argan seedling SE, gs, and Fv/Fm by up to 352, 53, and 16% respectively. The combined application of SWRT and compost seems to be the most effective treatment on the assessed parameters. In conclusion, the simultaneous use of both treatments shows promising potential for improving the growth and physiology of argan seedlings and soil moisture in semiarid region, subsequently offering important prospects for the conservation and restoration of argan ecosystem in Morocco.

RÉSUMÉ

Effet combiné de la technologie de rétention d'eau souterraine et de l'application de compost sur l'humidité du sol et la croissance et la physiologie des plants d'arganier dans des conditions de terrain dans la région d'Essaouira

Mots clés
plants d'arganier ; compost ; subsurface water retention technology ; croissance ; réponses physiologiques

Cette étude examine l'effet combiné de l'utilisation de la subsurface water retention technology (SWRT) et du compost sur l'humidité du sol et sur la croissance et la physiologie des plants d'arganier en plein champ dans la région d'Essaouira, au Maroc. Des plants d'arganiers d'un an ont été transplantés en présence et en l'absence de plastique biodégradable et de 5 % de compost de déchets verts. Après 12 mois de transplantation des plants, le profil d'humidité du sol et l'élongation aérienne (EA), la conductance stomatique (gs) et la

fluorescence chlorophyllienne (Fv/Fm) de l'arganier ont été suivis pendant les saisons de l'année. Les résultats indiquent que l'application de SWRT et/ou de compost a amélioré l'humidité du profil du sol à différentes profondeurs jusqu'à 486 %. En outre, ces traitements ont également entraîné une amélioration significative de la EA, de la gs et de la Fv/Fm des plantules d'arganier, jusqu'à 352, 53 et 16 % respectivement. L'application combinée de SWRT et de compost semble être le traitement le plus efficace sur les paramètres évalués. En conclusion, l'utilisation simultanée des deux traitements montre un potentiel prometteur pour améliorer la croissance et la physiologie des plants d'argan et l'humidité du sol dans les régions semiarides, offrant ainsi des perspectives importantes pour la conservation et la restauration de l'écosystème de l'arganier au Maroc.

INTRODUCTION

During the last decades, the argan forest area were reduced, leading to a significant decline in the average density of argan trees. This density dropped by around 70%, from 100 to less than 30 trees per hectare [1] which makes this ecosystem more vulnerabe under a changing climate. Many Argan reforestation programs were initiated but with limted succes rate [2], which is mainely due to the harsh environment especially water availability as a limiting factor. In this critical context, the present study was carried out to look for more effective and sustainable practices and techniques to ensure the success of the Argan reforestation. To do this, we examine the effects of two potentially beneficial agricultural practices: subsurface water retention technology (SWRT) and compost applied seprately and in combination in improving soil moisture and the growth and physiology of field-transplanted argan seedlings in the Essaouira region. The results of this study revealed that SWRT and compost can be considered as innovative practices for promoting water management, soil fertility, and the Argan reforestation success.

METHODS

2.1. Plant material, treatments and experimental design

One-year-old argan seedlings of the Essaouira ecotype were transplanted in the field in the Essaouira region. The SWRT technology was implemented using one square meter of biodegradable plastic (36-months lifespan, 80 µm thickness) buried at a depth of 60 cm forming a U-shape. Two kilograms of green waste based organic amendment was mixed with the rhizospheric soil of each argan seedlings.

The transplanted argan plants were regularly irrigated at a rate of 40 liters per plant per month. The experimental design included four treatments: the control (Ct) treatment without SWRT and compost application, SWRT treatment, compost (C) treatment and C+SWRT with the combined application of SWRT and compost. Treatments were randomly arranged, and each one consisted of 30 replicates, for a total of 120 plants. The experiment was carried out under field condition starting from January 2023.

2.2. Measured parameters and statistical analysis

Physiological parameters such as stomatal conductance (gs), chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), and shoot elongation as well as soil moisture profile were assessed during the different seasons. All measurements were taken on the 25th day after irrigation between 9h and 14h. Measurements were monthly performed and averrages were calculated for seasonal reported values. A statistical analysis (one-way ANOVA) was carried out to assess the differences between the applied treatments. The honest Tukey test was used at a significance level of 5% ($p \leq 0.05$)

RESULTS

3.1. Soil moisture profil

The application of SWRT technology results in higher moisture values than those recorded for the control (Ct) at different depths and throughout seasons (Figure 1). It is particularly noticeable that the highest values were observed at all depths during au-tumn under SWRT treatment. This effect could be linked to the role of SWRT in maintaining higher soil water content. The most significant difference between treatments with and without SWRT was recorded at a depth of 40 cm during the winter season (486%), while the least marked difference was observed at a depth of 20 cm during the autumn season (60%).

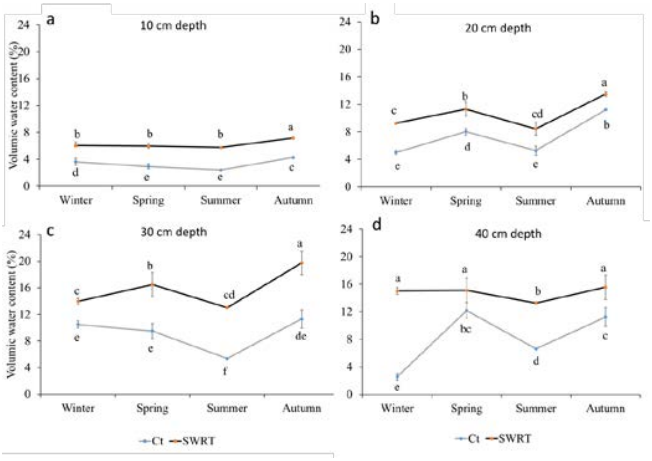


Figure 1. Variation of soil moisture profile in the absence and the presence of SWRT at different soil depths following seasons: (a) 10 cm depth, (b) 20 cm depth, (c) 30 cm depth, (d) 40 cm depth. Ct: control, SWRT: subsurface water retention technology. Different letters within denote signifi-cant differences at $p < 0.05$ based on Tukey's test.

3.2. Argan shoot elongation

Shoot elongation (SE) progressively increased following the seasons with the application of SWRT and compost (C) (Figure 2). Both treatments improved SE when applied seprately or in combination compared with the control with the highest increase values recorded after the application of C+SWRT treatment in all seasons (269, 197, 217, and 224% repectively in winter, spring, summer, and autumn) in comparison to the control.

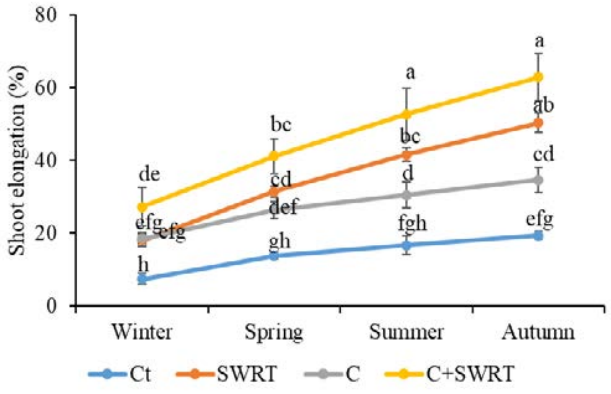


Figure 2. Variation of shoot elongation in the absence and the presence of SWRT and/or compost following seasons. Ct: control, SWRT: subsurface water retention technology, C: compost, C+SWRT: compost+subsurface water retention technology. Different letters within denote signifi-cant differences at $p < 0.05$ based on Tukey's test.

3.3. Argan physiologic parameters

3.3.1. Chlorophyll fluorescence

The obtained chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) results (Figure 3) show a significant variation between treatments and seasons. A significant increase in Fv/Fm was observed with the application of SWRT and compost both after separate and combined use. Maximum increases were recorded under C+SWRT treatment during autumn and spring seasons (16 and 9% respectively) compared with the control. However, the lowest recorded values were observed under the control treatment (between 0.68375 and 0.74875) for all seasons. This result could be explained by the benefcial effects of both SWRT and compost on water and nutrient content which induced an improvedplant photosyntetic activity.

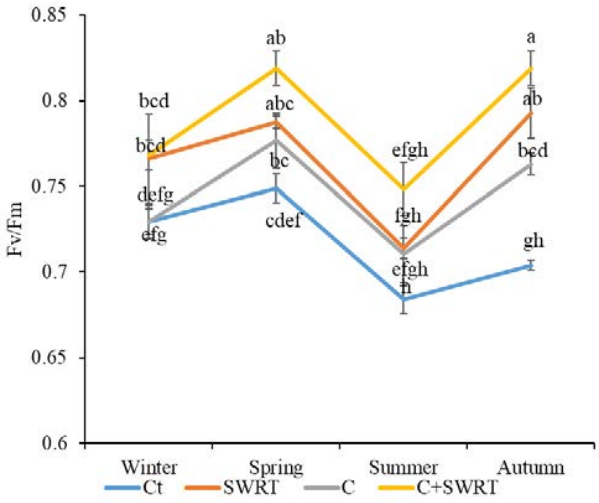


Figure 3. Variation of chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) in the absence and the presence of SWRT and/or compost following seasons. Ct: control, SWRT: subsurface water retention technology, C: compost, C+SWRT: compost+subsurface water retention technology. Different letters within de-note significant differences at $p < 0.05$ based on Tukey's test.

3.3.2. Stomatal conductance

The results related to the application of SWRT and compost on stomatal conductance (gs) revealed significant effect of the applied treatments following seasons (Figure 4). Variation in gs was found to be significantly influenced by SWRT and/or compost application compared with the control, with the highest value recorded under C+SWRT combination (~160 mmol.m-2 s-1) during the autumn and spring seasons. However, the lowest values of this parameter were observed during spring for all treatments (between 84 and 100 mmol.m-2 s-1). The recorded positive effect of SWRT and compost on gs is linked to their role in increasing soil water content which induces an improvement of plant water status.

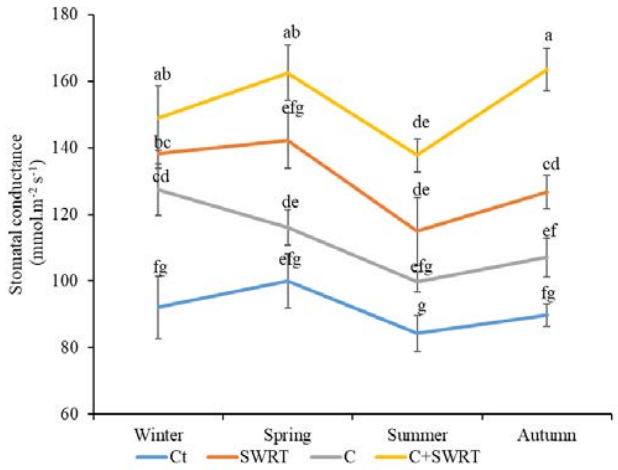


Figure 4. Variation of stomatal conductance in the absence and the presence of SWRT and/or compost following seasons. Ct: control, SWRT: subsurface water retention technology, C: compost, C+SWRT: compost+subsurface water retention technology. Different letters within denote signifi-cant differences at $p < 0.05$ based on Tukey's test.

DISCUSSION

This study focuses on evaluating the effects of the separate and combined use of the SWRT technique and compost on argan seedlings transplanted in the field. The main objective is to evaluate the effectiveness of this combined approach on soil moisture and argan seedlings growth and physiology. Our results show that SWRT application improves groundwater retention compared with the control at all depths which is attributable to the presence of impermeable biodegradable membrane that prevents infiltration. Previous studies have also shown that the adoption of SWRT technology enables more efficient management of water use [3], offering a promising prospect for the reduction of water losses [4].

The results of this study also showed that the application of SWRT and/or compost significantly improved the growth rate of the aerial part of the argan seedlings under field conditions. Adopting SWRT would lead to progressive improvements in soil health, through promoting soil water and nutrient content, which stimulates biomass production [5]. Furthermore, recent studies have shown that the use of compost leads to an increase in growth [6] and biomass [6,7] due to its richness in essential nutrients and its improved water holding capacity.

Analysis of the results also showed that the use of SWRT in combination with compost improved Argan physiological status even in absolutely hot seasonal conditions such as summer. This improvement can be explained by the availability of water and soil nutritional quality resulting from the joint application of SWRT and compost. In this con-text, a range of studies have demonstrated that Fv/Fm and gs improvement leads to promoted photosynthetic capacity and net photosynthetic rate through compost applica-tion [8], while SWRT improves these parameters through providing enough water and nutrient required for these processes [3].

CONCLUSIONS

The use of the SWRT technology and/or compost improved soil moisture profile, shoot elongation, chlorophyl fluorescence, and stomatal conductance. SWRT using biodegradable plastic and compost could represent an effective solution for improving reforestation success and optimizing seedling growth in arid and semi-arid environments, thus offering a valuable tool for the resilience of forestry systems in the face of climate change.

Acknowledgements : This study was funded by PRIMA project (SALAM-MED) from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement N°2131. Special thanks to l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) for all their support during this project.

REFERENCES

1. Chakhchar A, Ben Salah I, El Kharrassi Y, Filali-Maltouf A, El Modafar C, Lamaoui M. Agro-fruit-forest systems based on argan tree in Morocco: A review of recent results. *Front in Plant Sci*, 12, p.783615. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.783615

2. Belghazi B, Ourous O, Ponette Q, Belghazi T, Dallahi Y. La problématique de la régénération de l ' arganier : Quelle innovation en matière de production des plants de qualité ? Published online 2011:155-164.

3. Lahbouki S, Meddich A, Ben-Laouane R, Outzourhit A, Pari L. Subsurface Water Retention Technology Promotes Drought Stress Tolerance in Field-Grown Tomato. *Energies*. 2022;15(18). doi:10.3390/en15186807

4. Roy PC, Guber A, Abouali M, Nejadhashemi AP, Deb K, Smucker AJM. Crop yield simulation optimization using precision irrigation and subsurface water retention technology. *Environ Model Softw*. 2019;119(June 2018):433-444. doi:10.1016/j.envsoft.2019.07.006

5. Nkurunziza L, Chirinda N, Lana M, et al. The Potential Benefits and Trade-Offs of Using Sub-surface Water Retention Technology on Coarse-Textured Soils: Impacts of Water and Nutrient Saving on Maize Production and Soil Carbon Sequestration. *Front Sustain Food Syst*. 2019;3(September):1-10. doi:10.3389/fsufs.2019.00071

6. Ait-El-Mokhtar M, Ben-Laouane R, Boutasknit A, et al. Evaluation of Young Date Palm Tolerance to Salinity Stress under Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Compost Application. Published online 2022:15. doi:10.3390/environsciproc2022016015

7. Ouhaddou R, Meddich A, Ikan C, et al. Enhancing Maize Productivity and Soil Health under Salt Stress through Physiological Adaptation and Metabolic Regulation Using Indigenous Biostimulants. *Plants.* 2023;12(21). doi:10.3390/plants12213703

8. Boutasknit A, Anli M, Tahiri A, et al. Potential Effect of Horse Manure-green Waste and Olive Pomace-green Waste Composts on Physiology and Yield Of Garlic (Allium sativum L.) and Soil Fertility. *Gesunde Pflanz.* 2020;72(3):285-295. doi:10.1007/s10343-020-00511-9

Reprise des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) après transplantation : Effets des techniques d'économie d'eau combinées saux types d'amendements et de l'âge du matériel forestier reproducteur

Ferradous Abderrahim[1,*], Chakib El Hassan[1], Belghazi Tarik[1], Aoujdad Jalila[1], Oubrahim Hayat[1], Magri Najib[1], Ouajdi Mohamed[1] et Rabhi Amar

[1] *Centre d'Innovation, Recherche et Formation, Rabat (CIRF)*

* *ferabder1@gmail.com*

Mots clés
Arganier, water box, water retainer, Polyter, amendement organique

RÉSUMÉ :

Dans le but de restaurer les écosystèmes forestiers d'arganier *(Argania spinosa* L. skeels) dégradés et pour améliorer les taux de reprise mitigés obtenus au cours des opérations de régénération assistée, un dispositif expérimental en criss-cross sous split-plot a été installé sur un hectare en zone aride pour tester les effets de 3 facteurs, en l'occurrence, 1) les techniques d'économie d'eau avec 4 variantes (Water-box, Water retainer, Polyter et irrigation d'appoint de20l/ plants), 2) l'amendement au sol avec 3 variantes (Mycorhizes, Biocompost et témoin) et enfin 3) la durée de séjour des plants en pépinière avec 2 variantes 12 mois et plus de 24mois. Le dipositif été répété en 3 blocs adjacents de24 unités expérimentales dont chacune est de 9 plants soit un total de 648 plants. Le water box a permis d'obtenir des taux de reprises dépassant les 93% quelque soit l'âge des plants et le type d'amendement. Les plants de deux ans ont montré une vigueur plus importante que ceux d'une année. A ce stade de l'étude, les autres techniques n'ont pas donné de différences significatives par rapport aux témoins.

Keywords
Argan tree, transplantation, water box, water retainer, Polyter, organic amendment

ABSTRACT :

Resumption of argan plants (*Argania spinosa* L. Skeels) after transplantation : Effects of water saving techniques combined with the types of amendments and age of the reproductive forest material

With the aim of restoring degraded argan forest ecosystems (*Argania spinosa* L. skeels) and to improve the recovery rates obtained during assisted regeneration operations, an experimental criss-cross device under split-plot was installed on one hectare in an arid zone to test the effects of 3 factors, 1) water saving techniques with 4 variants (Water-box, Water retainer, Polyter and supplemental irrigation of 20l/plants), 2) the soil amendment with 3 variants (Mycorrhizae, Bio compost and control) and finally the length of stay of the plants in the forest nursery with 2 variants 12 months and more than 24 months. The device was repeated in 3 adjacent blocks of 24 experimental units, each of which is 9 plants, for a total of 648 pl. The water box made it possible to obtain recovery rates exceeding 93% regardless of the age of the plants and the type of amendment. Two-year-old plants showed greater vigor than one-year-old plants. At this stage of the study, the other techniques did not give significant differences compared to the controls.

INTRODUCTION

Au cours de l'histoire du Maroc, la sécheresse a toujours été une composante importanteimpactant l'économie et l'écologie du pays (Stockton, 1988). Cependant, ces périodes de sécheresse ont pris un caractère structurel et sont devenues de plus en plus sévères (Stour et Agoumi, 2008). Le couvert végétal subit les conséquences négatives de cette récurrence de périodes de sécheresse. On remarque le dépérissement de plusieurs ligneux réputés résistants à la sécheresse comme l'arganier. Les programmes de régénération assistée de l'arganier par voie des plants de l'année se heurtent aux difficultés de reprise. A cet égard, les projets de recherche sont par conséquent appelés à explorer toutes les voies possibles pour l'amélioration de la régénération depuis l'élevage des plants jusqu'à la réalisation des plantations au terrain (Wifayaet al., 2018). La priorité est donc l'amélioration du bilan hydrique des plants en utilisant des techniques innovantes. Parmi les techniques les plus utilisées récrément on peut citer les hydro rétenteur (Shooshtarianet al., 2012) etles water box (Baillères et al., 2012). La durée de séjour des plants en pépinière peut influer la réussite de la reprise en terrain de transplantation (Zahri et Harrouni, 1999).

Notre étude a pour objectif d'améliorer significativement les taux de reprise à la transplantation et la croissance des plantations d'arganier par trois actions; comparer les effets de différentes techniques d'économie d'eau sur le taux de reprise des plants à la parcelle; évaluer les effets de durée de séjour des plants à la pépinière (âge) et d'inoculation de mycorhize ;Tester l'effet des amendements organique du sol sur le bilan hydrique et la croissance des plants.

MATERIEL ET METHODES

La parcelle d'essai d'une superficie de 1ha relève du périmètre de régénération de Sidi Bousehab 4 (Forêt Mesguina/Amskroud : 30°27'00.2"N 9°19'47.9"W). L'altitude est de 160 m avec des précipitations moyennes annuelles de 200mm, le sol est de type limono-argilo-sableux. Les maxima thermiques de 39°C et les minima de 15°C. La végétation dominée par *Argania spinosa*, *Ziziphus lotus* et des annuelles. La zone fait partie de l'association végétale *Euphorbioe-chini-Arganietumspinosae* (barbero et al, 1982).

L'expérimentation porte sur l'étude des effets de 3 facteurs sur le taux de reprise des plants et leur croissance : Séjour des plants en pépinière, techniques d'irrigation et types d'amendements.

Les plants sont de deux types :

- Les plants d'une année de séjour en pépinière élevés sur des conteneurs de 500 ml avec substrat composé de tourbe et terreau avec des proportions 4 :1 ;
- Les plants de deux ans élevés dans des sachets de polyéthylène d'une capacité de 2 litres sur substrat composé de tourbe et terreau dans des proportions 50 :50.

Quatre traitements d'économie d'eau ont été testés :

- Cocon Water box : récipient d'une capacité de 15 litres, muni d'un fil régulant le débit d'eau, pouvant être réutilisable sur plusieurs périmètres s'il n'est pas endommagé. La durée de vie constructeur est d'environ 8 ans ;
- Polyter : rétenteur d'eau permettant de "stocker" l'eau et les éléments fertilisants pour permettre une économie d'arrosage pouvant atteindre 50% ;
- Water retainer : liquide à base organique qui aide les plantes à absorber l'eau et diminue les effets de la sécheresse et de la déshydratation ;
- Arrosage d'appoint : arrosage mensuel des plants par 20 litre d'eau.

Deux types d'amendements organiques en plus d'un témoin ont été appliqués lors de la plantation :

- Bio compost à raison de 3kg/plant pour améliorer la qualité physique, chimique et biologique du sol dans la rhizosphère des semis dont les caractéristiques sont : pH d'eau : 6 ; carbone total (%) : 35 ; M.O (%) :60 ; azote total (%) :3 ; rapport C/N : 11,6 ; P(%) : 2 ; K (%) : 2 ;
- Inoculum mycorhuzien composé de Glomus intraradices à raison de 4000 spores/gramme ;
- Témoin sans aucun amendement.

Dans le dispositif expérimental, le facteur type d'amendement au sol (a) est en bande croisée avec les techniques d'irrigation (c) (Criss-cross) et le tout sous(d) Split-plot du facteur âge des plants pépètés dans 3 blocs (hétérogénéité du terrain et répétition des essais). L'unité expérimentale est un rectangle composé de 9 plants avec un tracé de 3x4 m.

Quatre compagnes de suivi ont été réalisées depuis la plantation (février 2022) en mesurant le taux de reprise ainsi que les hauteurs et diamètre au collet des plants vivants.

Durant la campagne de juillet 2022, les potentiels hydriques de base et de midi ont été mesurés.

Les Water Box ont été enlevés progressivement : 1/3 après une année de croissance et 1/3 après18 mois.

Les analyses de variance ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS 2021 pour estimer les effets des différents traitements sur la survie et la croissance des plants.

RESULTATS ET DISCUSSION :

1- Reprise des plants :

Dix-huit mois après plantation, l'analyse de la variance a montré que seul le mode d'irrigation a un effet hautement significatif sur le taux de reprise des plants après transplantation (tableau 1). Le waterbox se distingue des autres modes d'irrigation avec un taux de reprise de plus de 93% significativement des autres modes d'irrigation dont le taux est autours de 60% (Tableau2).

Tableau 1 : Analyse de la variance pour les paramètres des plants (Viabilité, hauteur, diamètre au collet, potentiel hydrique de base et de midi)

		Signification					
Source	DDL	Reprise	Hauteur	Croissance hauteur	Diamètre	Potentiel hydrique de base	Potentiel hydrique Midi
année	1	0,962	0,003**	0,872	0,015*	0,054	0,246
irrigation	3	0,002**	0,005**	0,750	0,214	0,073	0,476
amendement	2	0,561	0,2	0,4464	0,427	0,615	0,65
bloc	2	0,697				0,561	0,45

Tableau 2 : Groupes homogènes pour le taux de reprise (en %) des plants en fonction des modes d'irrigation

		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
irrigation		1	2
Student-Newman-Keuls[a]	Polyter	53,09	
	Aroosage	59,88	
	Water retainer	63,58	
	Water box		93,21
	moyenne	67,47	1

Le Water Box montre sa performance dans l'amélioration de la reprise des plants après transplantation dans les zones arides, ce qui confirme les résultats obtenus par plusieurs auteurs : Silva et al (2019) à Caatinga, une zone aride dans la forêt Bréziliènnene, pour les espèces *Crataeva tapia, Erythrina mulungu, Handroanthus impetiginosus, Tabebuia aurea et Ziziphus joazeiro.* Même résultat obtenu par Baillères et al. (2012) sur les Eucalyptus.

2- Paramètres morphologiques :

L'analyse de la variance pour la hauteur des plants a montré que cette grandeur est influencée par l'âge des plants à la plantation est aussi par le mode d'irrigation. Les plants sur water box atteignent des hauteurs moyennes de 61,32 cm après 18 mois significativement différent des autres modes d'arrosage (Tableau 3). Les hauteurs moyennes des plants de deux ans sont de 64,67 cm significativement différentes des 47,72 cm pour les plants d'un an (Tableau 4).

Tableau 3 : Groupes homogènes pour hauteur des plants (cm) en fonction du mode d'arrosage

		Sous-ensemble	
irrigation		1	2
Student-Newman-Keuls[a,b,c]	Waterretaier	52,0485	
	Polyter	52,7619	
	Arrosage	56,0825	
	Water box		61,32
	Sig.		0,177

Pour le diamètre au collet, les plants de deux ans présentent une valeur de 10,37 cm significativement différents des plants d'une année avec 7,36cm (Tableau 4).

D'une manière générale, les plants de deux années ont montré une vigueur supérieure à ceux d'une année, certains plants de deux ans ont dépassé 1,50m après une année de croissance. En raison du fait que lacroissance en hauteur n'ait pas montré de différences significatives entre les traitements (Tableau 1), d'autres paramètres comme la robustesse ou le nombre de branches devraientêtre mesurées pour confirmer la différence d'aspect général entre les plants d'une année et de deux ans surtout que la variance pour la hauteur est très grande. Par ailleurs, dans une autre étude sur l'arganier, la transplantation des jeunes plantules d'arganier de quatre âges différents (1, 2, 4 et 6 mois) réagissent mal vis-à-vis du déficit hydrique, alors que les plantules âgées de 22 mois ont, elles, donné un bon pourcentage de reprise (> 75 %) indépendamment du régime hydrique (Zahri et Harrouni 1999).

Tableau 4: Moyennes des hauteurs et diamètres des plants en fonction de l'âge des plants à la plantation

	Hauteur		Diamètre	
Ages des plants à la plantation	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1 an	47,724	15,54771	7,3647	2,72541
2 ans	64,673	18,57689	10,37	3,41515

La croissance en hauteur n'a pas montré de différences significatives pour tous les caractères (Tableau1).

3- Potentiel hydrique :

A ce stade de croissance, pas de différences significatives entre les traitements pour les potentiels hydriques de base et de midi (Tableau 1).

CONCLUSION :

Dans cette étude, le Water box s'est révélé être le moyen le plus indiqué pour assurer le maximum de reprise des plants d'arganier après transplantation en zones arides .Contrairement à d'autres études Les hydro – rétenteurs tels que Polyter ou Water retainer n'ont pas amélioré significativement les taux de reprise comparativement à l'arrosage normal des plants.

La parcelle sera suivie pour plusieurs années pour s'enquérir davantage sur l'évolution des plants en fonction des traitements appliqués. Une attention particulière sera réservée au comportement de plants (croissance, phytomasse, état physiologique) après l'enlèvement des cocons Water Box.

BIBLIOGRAPHIE:

Baillères Henri, Mc Gavin Rob, Harding Kevin, Kennedy Michael. (2012). Increasing sub/tropical eucalypt timber plantation profitability by value adding to thinnings. In : 2012 IUFRO Conference. Division 5 Forest products, 8-13 July 2012, Lisbon, Portugal : final program, proceedings and abstracts book. IUFRO, ISA, CEF. Vienne : IUFRO, Résumé, 111-112. 2012 IUFRO Conference Division 5 Forest Products, Lisbonne, Portugal, 8 Juillet 2012/13 Juillet 2012.

Barbero M., Benabid A., Quezel P., Rlvas-Martinez S. et Santos A. (1982). Contribution à l'étude des AcacioArganietalia du Maroc occidental. Documents phytosociologiques, N.S. Vol .VI Camerino.

Harrouni M.C., Zahri S., El Hemaîd A. (1995). Transplantation des jeunes plantules d'arganier: effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. Actes du colloque international La forêt face à la désertification « cas des Arganeraies », faculté des sciences, Agadir, 26, 27 et 28 octobre: 115-33

Jamal Asif; Hussain Sadam; Hussain Saddam; Matloob Amar; Awan Tahir Hussain; Irshad Farida; Ali Basharat; and Waraich, Ejaz (2022) "Super absorbent polymer application under suboptimal environments: implications and challenges for marginal lands and abiotic stresses," *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 46: No. 5, Article 6. https://doi.org/10.55730/1300-011X.3034

Shooshtarian, J. Abedi-Kupai, A. TehraniFar (2012). Evaluation of Application of Superabsorbent Polymers in Green Space of Arid and SemiArid Regions with emphasis on Iran, International Journal of Forest, Soil and Erosion, 2 (1):24-36.

Silva, Lennon Kledson dos Santos, Maria ClaudjaneJerônimoLeite, Renato Nunes, DayaneMércia Ribeiro, Jania Claudia Camilo dos, Flávia de Barros Prado, Jessé Marques da Silva, José Vieira (2019). *Gas Exchange and Photochemical Efficiency of Caatinga Plants Submitted to Different Water Management Strategies*.Journal of Agricultural Science, 11 (11). p. 53. ISSN 1916-9752

Stockton C.W., 1988. Current research progress toward understanding drought. In proceed. Confer. On drought, water management an food production, 21-24 novembre 1988. Agadir Maroc : 21-35

Stour L., Agoumi A. (2008) - Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies, Hydroécologie appliqué, Volume16, pp. 215-232

Zahri S., Harrouni M.C. (1999). Optimisation de la reprise après transplantation chez l'arganier (Argania spinosa L. Skeels). First International conference onbiodiversity and naturel ressource preservation. Bookof abstract.

Contribution à l'étude des endophytes des graines d'*Argania spinosa* : étude des différences dans les structures des communautés bactériennes et fongiques sur six sites

Hourfane Sohaib[1,*], Mahamadou Sakho[1], Morgan Fays[2], John Riviére[3], Noureddine El aouad[1], Nicolas Desoignies[2,4]

[1] *Laboratory of Life Sciences and Health, Faculty of medicine and Pharmacy, route de rabat km 15 Gzenaya BP 365 Tanger, Abdelmalek Essaadi University, Tetouan 92000, Morocco*

[2] *Phytopathology, Microbial and Molecular Farming Lab, Centre D'Etudes et Recherche Appliquée-Haute Ecole Provinciale du Hainaut Condorcet, Ath, Belgium.*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Applied Biology, Haute Ecole Provinciale de Hainaut-Condorcet, Hainaut, Belgium*

[4] *University of Liege - Gembloux Agro-Bio Tech, TERRA - Teaching and research center, Plant Sciences Axis, 5030 Gembloux, Belgium.*

[*] *hourfane.sohaib@gmail.com*

Mots clés
Argania spinoza, Endophytes, graines

RÉSUMÉ

Les microbes endophytes vivent à l'intérieur des plantes et peuvent jouer un rôle essentiel dans leur santé, leur croissance et leur adaptation aux conditions environnementales. La diversité de ces communautés endophytes a longtemps été sous-estimée à cause des limites des techniques de culture microbiennes. Le profilage métagénomique permet maintenant de les caractériser sans passer par la culture. L'arganier (*Argania spinosa*) est une espèce écologiquement et économiquement importante au Maroc, mais son microbiome endophyte reste peu étudié. Cette étude visait à comparer de manière métagénomique les communautés bactériennes et fongiques endophytes associées aux graines d'arganier provenant de six sites marocains. L'ADN bactérien et fongique a été extrait, amplifié par PCR ciblant les gènes 16S et ITS, puis séquencé par Illumina. Les analyses ont identifié des profils taxonomiques dominants au niveau des phyla et des genres. Les communautés bactériennes étaient dominées par les *Rhodoligotrophos*, tandis que les champignons variaient entre *Ascomycota* et *Basidiomycota* selon les sites. Des profils différents ont émergé entre les différents sites, avec une variation dans la composition des endophytes. Cette première exploration du microbiome endophyte de l'arganier démontre l'influence de l'environnement sur sa structure communautaire. Bien que limitée, cette étude fournit une base pour étudier le rôle des interactions plante-endophytes dans l'adaptation de cette espèce clé.

Keywords
Argania spinoza, Endophytes, seeds

ABSTRACT :

Resumption of argan plants (*Argania spinosa* L. Skeels) after transplantation: Effects of water saving techniques combined with the types of amendments and age of the reproductive forest material

Microbial endophytes live inside plants and can play a key role in their health, growth and adaptation to environmental conditions. Their diversity within plants has long been underestimated because of the limitations of microbial culture techniques. Metagenomic profiling now allows these communities to be characterized independently of cultures. The argan (*Argania spinosa*) is an ecologically and economically important species in Morocco, but its endophyte microbiome remains little unexplored. This study was aimed at metagenomically comparing bacterial and fungal endophyte communities associated with argan

seeds from six Moroccan sites. Bacterial and fungal DNA was extracted and amplified by PCR targeting 16S and ITS genes, and then sequenced by Illumina. The analyses identified the dominant taxonomic profiles at the level of phyla and genus. Bacterial communities were mined by *Rhodoligotrophos*, while mushrooms varied between *Ascomycota* and *Basidiomycota* depending on the sites. Different profiles have emerged between the different sites, with a variation in endophytes. This first exploration of the endophyte microbiome of the argan demonstrates the influence of the environment on its community structure. Although limited, it provides a basis for studying the role of plantendophytes interactions in the adaptation of this key species.

INTRODUCTION

Les endophytes sont des micro-organismes qui résident de manière asymptomatique dans les tissus végétaux et forment des relations complexes avec leurs plantes hôtes [1]. Ils jouent de multiples rôles dans la promotion de la croissance des plantes, la tolérance au stress, la production de métabolites secondaires et le recyclage des nutriments [2, 3]. On les trouve sur toutes les parties de la plante, des racines aux graines, et le rôle des endophytes des graines a été bien étudié [4, 5].

De nombreuses études ont rapporté la composition endophytique des plantes marocaines [6, 7], dont certaines sur des espèces endémiques comme *Argania spinosa*. L'arganier est une plante emblématique du Maroc adaptée aux climats aride et semiarides grâce à son microbiome [8]. Source d'huile et soutien à la biodiversité [9], l'élucidation de son microbiome pourrait permettre des applications agricoles, médicales et écologiques.

Traditionnellement, les endophytes sont étudiés à l'aide de cultures, offrant un aperçu partiel de leur isolement et de leur croissance rapide[10]. La métagénomique permet désormais de profiler directement leurs populations entières dans les plantes [11]. Bien que leurs modes d'action commencent à être décryptés [12], les potentiels des endophytes de l'arganier restent indéterminé à ce jour.

Pour combler ces lacunes, cette étude a analysé par métagénomique l'ADN bactérien et fongique extrait de graines d'arganier de six sites différents, examinant la variation des communautés entre sources.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Description de la zone de recherche

L'étude s'est déroulée dans la région semi-aride du centre-ouest du Maroc, près d'Agadir le long de la côte atlantique. Cette zone est caractérisée par des températures moyennes de 20-25°C en avril et des précipitations annuelles de 200-400 mm. Cette région abrite l'arganeraie, forêt emblématique du Maroc constituée de l'arganiers (*Argania spinosa*) [13].

Collecte et préparation des échantillons

Les graines d'arganier ont été récoltés sur six sites différents marqués T1, T2, T3, T4, T5 et T6. Pour chaque localité, des arbres sains dont les graines présentant des caractéristiques de couleur, de calibre et d'aspect relativement similaires ont été choisis. Les sites de collecte (T1, T4, T5 et T6) des échantillons étaient distants d'au moins 50 km. Cependant, les sites T2 et T3 étaient plus proches, à une distance d'environ 3 km, en raison de leur emplacement dans des reliefs différents (T2 dans une plaine et T3 près d'une montagne). Leur inclusion était délibérée et visait à tester les influences édaphiques et topographiques potentielles sur la composition de la communauté des endophytes sur une petite échelle spatiale. Les coordonnées GPS des sites sont indiquées en Figure 1.

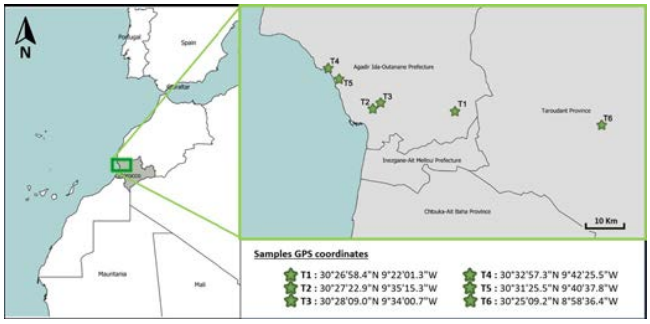


Figure 1. Répartition géographique des points d'échantillonnage

Pour chaque arbre, 3 graines saines tombées au sol ont été collectées aseptiquement sous la canopée à l'aide d'une perche, soit un total de 180 graines (30 par site). Le choix s'est porté sur des graines homogènes, de calibre, couleur et aspect similaires pour chaque localité.

Cette méthode d'échantillonnage aléatoire le long d'un transect visait à capturer la variation spatiale potentielle des communautés endophytes à l'échelle régionale et paysagère.

Métagénomique par séquençage de nouvelle génération (NGS).

L'ADN génomique total a été isolé à partir des graines et le microbiome endophytique de chaque graine a été extrait et séquencé individuellement. L'extraction de

l'ADN a été réalisée à l'aide d'un kit FastDNA SPIN soil pour minimiser les risques de contamination. La qualité de l'ADN a été évaluée par électrophorèse sur gel d'agarose et les concentrations d'ADN ont été mesurées à l'aide d'un fluorospectromètre NanoDrop 3300.

Des amplifications par PCR ont été effectuées pour les cibles bactériennes et fongiques. La structure de la communauté bactérienne a été déterminée en séquençant la région variable V3-V4 du gène de l'ARNr 16S, tandis que la communauté fongique a été déterminée en séquençant l'ITS2. Les produits PCR ont été vérifiés par électrophorèse sur gel d'agarose.

Les amplicons obtenus ont été purifiés, indexés et amplifiés par une deuxième PCR. Les échantillons ont ensuite été purifiés à l'aide de billes SparQ PureMag. Avant de regrouper les échantillons en bibliothèques, la concentration de chaque amplicon a été mesurée et normalisée. Les bibliothèques d'amplicons ont été créées en regroupant les échantillons en quantités équimolaires.

Les bibliothèques préparées ont été séquencées sur une plateforme Illumina MiSeq. Les fichiers Fastq ont été générés pour chaque échantillon, puis une analyse bioinformatique a été réalisée. Un pipeline interne a été utilisé pour attribuer une taxonomie aux séquences et compter leur nombre pour chaque échantillon. Les données taxonomiques ont été normalisées en abondance relative et analysées à l'aide de graphiques.

RÉSULTATS

3.1 Structure, diversité et richesse microbiennes

• Communauté bactérienne

Une analyse métagénomique des amplicons du gène de l'ARNr 16S a été réalisée pour étudier la diversité des communautés bactériennes endophytes dans les graines (amandons) d'arganier. Les résultats ont révélé que le phylum *Pseudomonadota* était dominant dans tous les échantillons de semences, suivi par les phyla *Bacillota* et *Actinomycetota*. Le genre le plus abondant était *Rhodoligotrophos*, représentant entre 88% et 99% des bactéries. D'autres genres tels que *Pseudomonas, Paraburkholderia, Ralstonia* et Ba-cillus ont également été détectés, mais leur proportion variait selon le site d'origine des semences. L'analyse de la distribution des genres bactériens a montré des genres communs à tous les sites ainsi que des genres spécifiques à certains sites. Cette étude met en évidence la diversité et la spécificité des communautés bactériennes associées aux graines d'arganier, soulignant l'importance des interactions entre les plantes et les micro-organismes dans cet écosystème particulier.

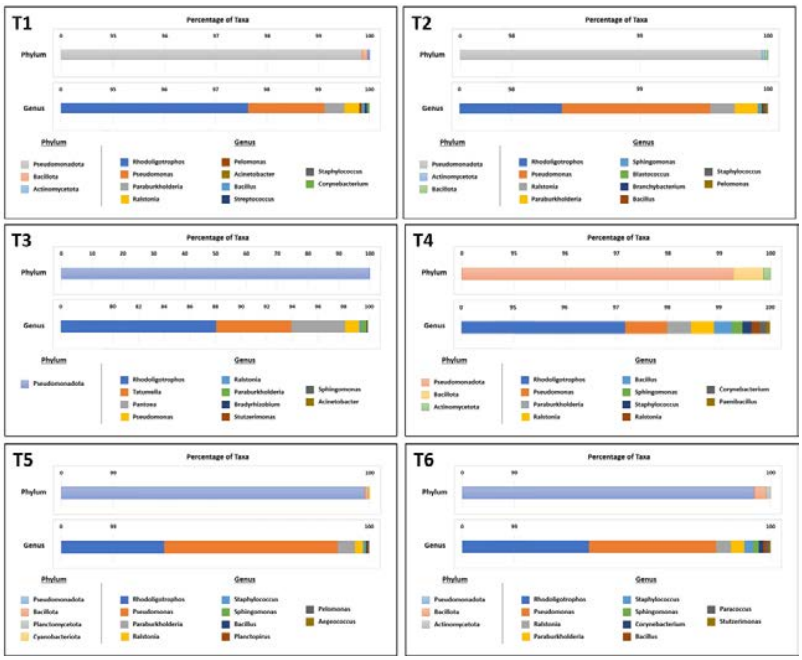


Figure2. Pourcentages du phylum et des 10 genres bactériens les plus représentatifs dans tous les échantillons.

• Communauté fongique

Les communautés fongiques jouent un rôle important dans la santé des graines d'arganier, et leur composition varie selon les niches environnementales. L'analyse des communautés fongiques dans les échantillons de semences a révélé une dominance de l'embranchement Ascomycota, suivi de Basidiomycota. Le genre Penicillium était dominant dans la plupart des sites, à l'exception du site 3. D'autres genres tels qu'Alternaria,

Ma-lassezia, Cladosporium et Aspergillus étaient présents à des faibles pourcentages dans tous les sites. Les différences dans la composition fongique selon l'origine géographique des graines pourraient influencer les propriétés des graines [14]. Des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre le rôle écologique et les interactions de ces champi-gnons avec l'arganier. L'analyse de la distribution des genres fongiques révèle à la fois des genres communs à tous les territoires et des genres spécifiques à certains territoires, soulignant la complexité de ces associations fongiques dans l'écosystème de l'arganier.

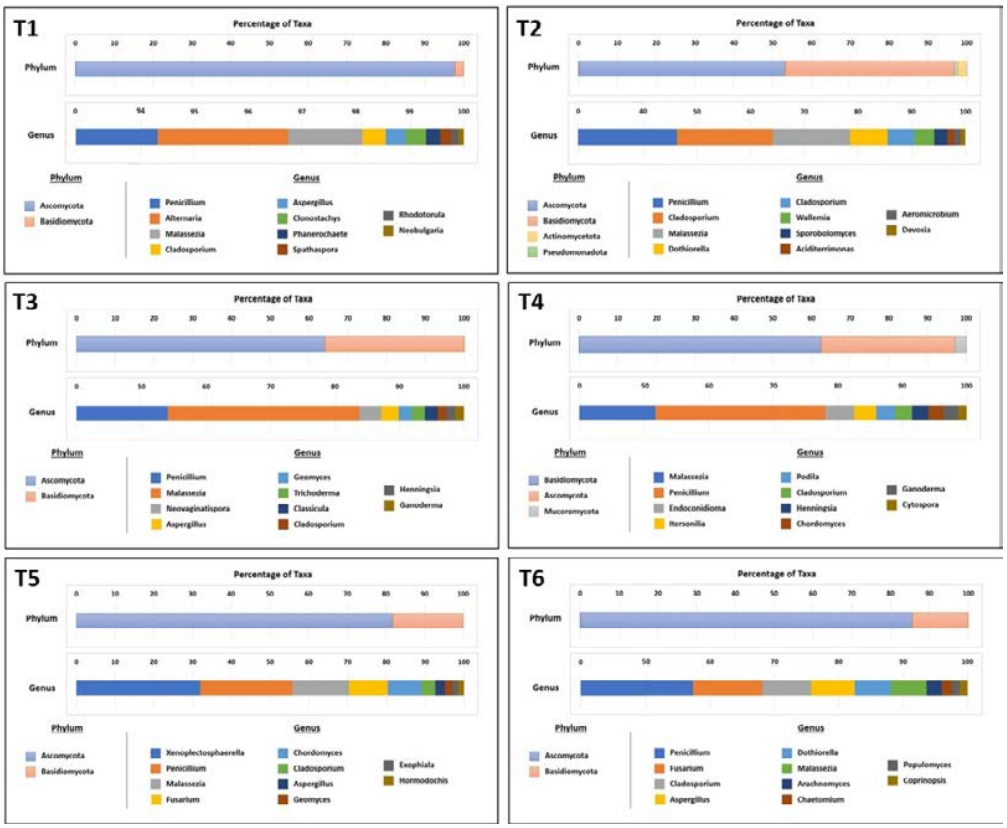


Figure3. Pourcentages du phylum et des 10 genres fongiques les plus représentatifs dans tous les échantillons.

DISCUSSION

Les interactions entre les plantes et leurs communautés endophytiques microbiennes sont complexes, pouvant aller du mutualisme au parasitisme [15, 16]. Les endophytes jouent un rôle positif majeur dans la croissance des plantes et leur défense contre les pathogènes, notamment via la biofertilisation, la phytostimulation et le biocontrôle [17].

Plusieurs genres bactériens (*Pseudomonas, Bacillus*) et fongiques *(Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Fusarium*) sembleraient particulièrement prometteurs en tant qu'agents de biocontrôle grâce à leur capacité à produire des métabolites secondaires antimicrobiens ou favorisant la croissance [18, 19].

Aucune étude ne s'est aventurée à explorer l'étude des endophytes au niveau des graines, cependant, des études ont exploré la diversité endophytique des racines de l'arganier. Les résultats obtenus ont permis d'identifier une multitude de communauté microbienne dont certains jouent un rôle potentiel dans la croissance et la santé de l'arbre [20, 21].

Les endophytes présents sur les graines (amandons), notamment les genres *Rhodoligo-trophos* et *Pseudomonas*, pourraient également présenter des rôles écologiques importants tels que l'adaptation aux stress environnementaux ou le fonctionnement des cycles bio-géochimiques [22-24].

CONCLUSIONS

Cette étude fournit la première caractérisation et comparaison des communautés endo-phytes bactériennes et fongiques associées aux graines d'argan de six localisations géographiques dans la région centre-ouest du Maroc en utilisant une approche métagéno-mique. Les résultats montrent une dominance des *Pseudomonadota* au niveau bactérien, et des *Ascomycota* au niveau fongique. Cependant, une variabilité significative de la composition endophytique a été observée entre les sites, tant au niveau bactérien

que fongique. L'analyse multivariée confirme l'existence de profils endophytiques spécifiques à chaque site, suggérant l'hypothèse de l'influence des conditions pédoclimatiques sur la sélection des communautés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Petrini, O., *Fungal endophytes of tree leaves, in Microbial ecology of leaves*. 1991, Springer. p. 179-197.

2. Higa, T. and J.F. Parr, *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. Vol. 1. 1994: International Nature Farming Research Center Atami.

3. Santos, L.F. and F.L. Olivares, *Plant microbiome structure and benefits for sustainable agriculture*. Current Plant Biology, 2021. 26: p. 100198.

4. Jeong, S., et al., *Invasive Lactuca serriola seeds contain endophytic bacteria that contribute to drought tolerance*. Scientific reports, 2021. 11(1): p. 13307.

5. Pal, G., et al., *Seed inhabiting bacterial endophytes of maize promote seedling establishment and provide protection against fungal disease*. Microbiological Research, 2022. 255: p. 126926.

6. Debbab, A., et al., *Bioactive secondary metabolites from the endophytic fungus Chaetomium sp. isolated from Salvia officinalis growing in Morocco*. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 2009. 13: p. 229-234.

7. Imane, C., S. Laila, and A. Jamal, *Endophytic Fungi Isolated from Crocus sativus* L. *(Saffron) as a Source of Bioactive Secondary Metabolites*. Pharmacognosy Journal, 2018. 10(6): p. 1143-1148.

8. Mechqoq, H., et al., *Ethnobotany, phytochemistry and biological properties of Argan tree (Argania spinosa (L.) Skeels)(Sapotaceae)-A review*. Journal of Ethnopharmacology, 2021. 281: p. 114528.

9. Mechqoq, H., et al., *Comparative study on yields and quality parameters of argan oils extracted by conventional and green extraction techniques*. Grain & Oil Science and Technology, 2021. 4(3): p. 125-130.

10. Moore, F.P., et al., *Endophytic bacterial diversity in poplar trees growing on a BTEX-contaminated site: the characterisation of isolates with potential to enhance phytoremediation*. Systematic and applied microbiology, 2006. 29(7): p. 539-556.

11. Hassa, J., et al., *Metagenome, metatranscriptome, and metaproteome approaches unraveled compositions and functional relationships of microbial communities residing in biogas plants*. Applied microbiology and biotechnology, 2018. 102: p. 5045-5063.

12. Wani, A.K., et al., *Prospects of advanced metagenomics and meta-omics in the investigation of phytomicrobiome to forecast beneficial and pathogenic response*. Molecular Biology Reports, 2022. 49(12): p. 12165-12179.

13. Msanda, F., A. El Aboudi, and J.-P. Peltier, *Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine*. Cahiers Agricultures, 2005. 14(4): p. 357-364 (1).

14. Wang, J., et al., *Effects of oat varieties and growing locations on seed-borne fungal communities*. Frontiers in Microbiology, 2021. 12: p. 724999.

15. Hardoim, P.R., L.S. van Overbeek, and J.D. van Elsas, *Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth*. Trends in microbiology, 2008. 16(10): p. 463-471.

16. Porras-Alfaro, A. and P. Bayman, *Hidden fungi, emergent properties : endophytes and microbiomes*. Annual review of phytopathology, 2011. 49: p. 291-315.

17. Bloemberg, G.V. and B.J. Lugtenberg, *Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria*. Current opinion in plant biology, 2001. 4(4): p. 343-350.

18. Atallah, O.O., et al., *Polyphasic characterization of four Aspergillus species as potential biocontrol agents for white mold disease of bean*. Journal of Fungi, 2022. 8(6): p. 626.

19. Islam, M.T., *Current status and future prospects of Cladosporium sp., a biocontrol agent for sustainable plant protection*. Biocontrol Science, 2022. 27(4): p. 185-191.

20. Abdallah, N., et al., *Diversity of endophytic fungal community associated to the roots of Argania spinosa (L.) Skeels growing in the arid and semi-arid regions of Algeria*. Acta agriculturae Slovenica, 2019. 114(1): p. 103-111.

21. Mapelli, F., et al., *Unveiling the microbiota diversity of the xerophyte Argania spinosa L. skeels root system and residuesphere*. Microbial ecology, 2020. 80: p. 822-836.

22. Bhatt, K., et al., *New insights into engineered plant-microbe interactions for pesticide removal*. Chemosphere, 2022. 309: p. 136635.

23. Fukuda, W., et al., *Rhodoligotrophos appendicifer gen. nov., sp. nov., an appendaged bacterium isolated from a freshwater Antarctic lake*. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 2012. 62(Pt_8): p. 1945-1950.

24. Gupta, G., et al., *Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture*. J Microb Biochem Technol, 2015. 7(2): p. 096-102.

Développement d'une base de données SSR à l'échelle du génome d'*Argania spinosa* pour la caractérisation du matériel génétique

Slimane KHAYI [1*], Rachid MENTAG [1], Driss IRAQI [1]

[1] *Unité de Recherche Biotechnologie, Centre Régional de Recherche Agronomique de Rabat, Institut National de Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415, 10090 Rabat, Maroc ;*

[*] *slimane.khayi@inra.ma*

RÉSUMÉ

L'étude porte sur la génomique d'*Argania spinosa* L. Skeels, une espèce végétale endémique du Maroc, célèbre pour son huile d'argan. L'objectif principal est le développement de nouveaux marqueurs SSR polymorphes basés sur le génome complet de l'arganier pour faciliter sa conservation et son exploitation durable. Les méthodes utilisées incluent l'identification des marqueurs SSR, la conception d'amorces, la cartographie in silico des marqueurs sur le génome, et enfin l'annotation des SSR pour comprendre les processus biologiques associés. Les résultats ont révélé un grand nombre de SSR identifiés, avec une prédominance des répétitions mononucléotidiques, ainsi que des amorces de marqueurs uniques et un polymorphisme in silico significatif. L'annotation des SSR a permis de mettre en évidence des gènes associés à des fonctions biologiques importantes, offrant des perspectives pour la sélection et la conservation de l'arganier. Ce travail contribue à une meilleure compréhension de la diversité génétique de l'arganier et ouvre la voie à des applications pratiques dans la gestion des ressources génétiques de cette espèce précieuse.

Mots clés
Séquence génomique, SRR, variabilité génétique, marqueurs moléculaires, sélection génomique

ABSTRACT

Development of a Genome-Wide SSR Database for Characterization of *Argania spinosa* Ge-netic Material

The study focuses on the genomics of *Argania spinosa* L. Skeels, a plant species endemic to Morocco, famous for its argan oil. The main objective is the development of new polymorphic SSR markers based on the complete genome of the argan tree to facilitate its conservation and sustainable exploitation. The methods used include identification of SSR markers, primer design, in silico mapping of markers onto the genome, and finally annotation of SSRs to understand associated biological processes. Results revealed a large number of identified SSRs, with a predominance of sin-gle-nucleotide repeats, as well as unique marker primers and significant in silico polymorphism. The annotation of SSRs made it possible to highlight genes associated with important biological functions, offering perspectives for the selection and conservation of the argan tree. This work contributes to a better understanding of the genetic diversity of the argan tree and opens the way to practical applications in the management of the genetic resources of this precious species.

Keywords
Genomic sequence, SSR, genetic variability, molecular markers, genomic selection

INTRODUCTION

Argania spinosa L. Skeels est une espèce végétale endémique du centre-ouest du Maroc, où les arbres sont cultivés depuis des siècles, jouant un rôle écologique et socio-économique crucial dans sa situation géographique. La forêt de l'arganier a été reconnue par diverses entités des Nations Unies, elle a été désignée réserve de biosphère de l'Arganeraie par l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) en 1988. De plus, en 2014, l'arganier a été inscrit sur la liste représentative de l'UNESCO le patrimoine culturel immatériel de l'humanité. De plus, en décembre 2021, l'Assemblée générale des Nations Unies a proclamé le 10 mai Journée internationale de l'Argania (https://www.un.org/en/observances/argania-day). L'espèce pousse dans les zones arides et semi-arides définissant un écosystème connu sous le nom d'Arganeraie, riche en flore endémique et servant une population dense grâce à ses utilisations forestières, agricoles et d'élevage. L'utilisation la plus importante de l'arganier est l'huile d'argan de renommée mondiale, extraite des graines et qui a de multiples applications, notamment en médecine traditionnelle et complémentaire et dans les industries culinaires et cosmétiques. L'impact du changement climatique et la surexploitation sont les principales causes de la détérioration des arganiers conduisant à une diminution considérable de la densité forestière de 44,5% entre 1970 et 2007 [1]. Par conséquent, la gestion et la conservation des ressources génétiques restantes de cette espèce sont des priorités urgentes. Dans ce contexte, la nouvelle stratégie agricole « Génération Verte 2020-2030 » lancée en 2020 par le gouvernement du Maroc (https://www.agriculture.gov.ma/fr/ministere/generation-green-2020-2030) vise augmenter la superficie consacrée à l'arganier à 400 000 ha en développant l'arganiculture à travers des vergers modernes. Pour ce faire, une caractérisation exhaustive de la diversité génétique de la population d'arganiers afin d'en extraire les clones ou écotypes présentant des particularités en termes de productivité, de qualité d'huile, de tolérance à la sécheresse et à la salinité. L'objectif étant de sélectionner des variétés élites connues et reconnues par les pouvoirs publics, afin qu'elles puissent être multipliées, puis commercialisées et utilisées en arganiculture dans des vergers modernes.

L'avènement des technologies de séquençage de nouvelle génération (NGS) et la réduction des coûts de séquençage ont permis la recherche génomique sur plusieurs espèces végétales, contribuant ainsi à l'augmentation du nombre de séquences du génome vé-gétal publiées dans les bases de données publiques au cours des deux dernières décennies, fournissant ainsi des ressources de données considérables pour le développement de nouveaux marqueurs pour la recherche et l'amélioration génétique. Parmi les marqueurs moléculaires basés sur l'ADN, les marqueurs de répétitions de séquence simple (SSR), également connus sous le nom de microsatellites, sont de courts motifs répétés en tandem variant en nombre de répétitions à un locus donné et ils présentent plusieurs avantages, par rapport aux marqueurs moléculaires courants, offrant une haute reproductibilité, multi-allélisme, abondance génomique et co-dominance [2,3]. Ils sont largement utilisés dans l'analyse de la diversité génétique de plusieurs espèces végétales.

Le schéma conventionnel de développement de la RSS est considéré comme long et laborieux. En effet, avec le développement des outils bioinformatiques, les approches in silico, combinant identification, conception et cartographie des SSR, ont été appliquées sur le génome de plusieurs plantes fournissant des milliers de bases de données de marqueurs moléculaires SSR pertinents, notamment chez le lilium [4], les agrumes [5], l'orge [6] et les épinards [7].

À l'ère de la génomique, une impulsion supplémentaire a été donnée à la recherche sur la génomique d'*A. spinosa*, facilitant ainsi le développement des premiers marqueurs moléculaires polymorphes elfiques basés sur SSR en 2014, basés sur une procédure typique d'enrichissement de bibliothèque séquencée à l'aide de la technologie 454[8] en plus, de l'assemblage du premier projet de génome nucléaire et chloroplastique complet de l'espèce en 2020 [9,10]. En conséquence, la caractérisation de la diversité génétique des espèces est l'étape clé pour atteindre les principaux objectifs des programmes de sélection végétale et de conservation des ressources génétiques. De plus, à l'exception des 11 SSR développés précédemment [8], tous les SSR utilisés pour évaluer la diversité génétique de la population d'*A. spinosa* ont été développés chez des membres de la famille des Sa-potacées tels que Manilkara huberi [11] et Vitellaria paradoxa [12-16]. Outre les pertes plausibles d'informations sur la diversité génétique, la transférabilité de ces SSR repose essentiellement sur la distance génétique entre *A. spinosa* et ces espèces, car il a été rapporté que les SSR sont plus transférables au sein des espèces du même genre ou entre espèces apparentées au sein des familles qu'entre genres éloignés et familles différentes [17]. Par conséquent, l'identification des SSR spécifiques à *A. spinosa* pourrait apporter des informations plus approfondies sur la diversité génétique au sein et entre les populations de l'espèce. En outre, ces SSR pourraient être utilisés pour retracer l'empreinte moléculaire des variétés élites sélectionnées d'*A. spinosa.*

L'objectif de ce travail est de développer, d'annoter de nouveaux marqueurs polymorphes SRR basés sur la séquence complète du génome d'*A. spinosa.*

La classification sera basée sur une approche de génotypage in silico de l'ensemble sélectionné de marqueurs.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Séquence génomique de la ressource A. spinosa

La séquence du génome d'*A. spinosa* (nommée Argane AMGHAR) a été assemblée à l'aide d'une approche d'assemblage hybride de novo combinant des lectures de séquençage courtes et longues. Le génome est constitué de 75 327 contigs totalisant 671 Mbp avec un N50 de 49,9 Kb [9]. La séquence (QLOD00000000.1) est récupérée de GenBank, puis filtré les contigs inférieurs à 1 Kpb. Les séquences génomiques nettoyées, utilisées pour la recherché des SRR, sont composées de 41 221 contigs totalisant 654 Mbp et le N50 est augmenté pour atteindre 51 Kb.

2.2 Identification des marqueurs SSR et conception des marqueurs

L'outil SSRMMD [18] a été utilisé pour identifier des SRR parfaits sur la séquence du génome d'*A. spinosa* avec les paramètres suivants : 1=12,2=5,3=5,4=5,5=5,6=5,7=5,8=5 où la gauche d'égal est la longueur du motif et la droite d'égal est le nombre minimum de répétitions. La longueur de la séquence d'accompagnement a été fixée à 1 000 bases.

Le script Perl ConnectorToPrimer3.pl du logiciel SSRMMD est utilisé pour concevoir des amorces sur les SSR identifiés, avec des plages de taille de produit de 120 à 400 pb.

2.3 Cartographie de marqueurs in silico sur le génome d'A. spinosa

Pour évaluer le niveau de polymorphisme du marqueur conçu, une e-PCR a été réalisée à l'aide du composant e-Mapping de l'outil GMATA (19). Les réglages des paramètres étaient la marge 3000, aucun écart dans la séquence d'amorce, aucune inadéquation dans la séquence d'amorce, une plage de taille autorisée de 100 à 400, une taille de mot (–w) 12 et un mot contigu (–f) 1. Cette étape permettra de choisir dans le marqueur est le plus précieux en termes d'efficacité d'amplification, de nombre et de taille d'allèles.

2.4 Annotation du marqueur SSR

L'annotation des marqueurs SSR a été réalisée selon deux approches afin d'obtenir des informations sur les processus biologiques associés aux SSR identifiés. Dans le premier, les séquences flanquantes (1 000 pb) de chaque SRR ont été extraites de l'étape de conception de marqueurs à l'aide d'un script python maison (https://github.com/SolayMane/Useful-Scripts/blob/master/SSRMMD2template.py) puis ont été utilisé pour prédire les ORF par l'outil TransDecoder (v5.5.0) (https://github.com/TransDecoder/TransDecoder), y compris les recherches d'homologie comme critères de rétention ORF comme décrit dans la documentation. Les ORF prédits ont ensuite été annotés à l'aide de Trinotate (v 3.2.1) [20] qui fournissent une annotation fonctionnelle automatique en utilisant des recherches de similarité des ORF par rapport aux bases de données SwissProt [21], UniProt et PFAM [22] (mises à jour du 31/08/ 2021). Dans la deuxième approche, les emplacements des séquences modèles SSR ont été utilisés pour découvrir les chevauchements avec les gènes annotés dans les génomes d'*A. spinosa* (annotation non publiée) à l'aide de BEDTools (intersect -a -b -wa -wb) (23).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Identification des SSR

Dans la séquence génomique d'*A. spinosa*, un total de 728 176 SSR ont été identifiés, avec une moyenne de 1 112 SSR par Mb. Le type d'unités répétées identifiées est composé de mono, di, tri, tétra, penta, hexa, hepta et octanucléotides. Le type de répétition mononucléotidique était le plus abondant dans la séquence du génome correspondant à 61,5 % du total des SSR suivi de 33,1 % des répétitions dinucléotidiques, les répétitions tétra, penta, hexa, hepta et octanucléotidiques présentaient moins de 5 % du total des SRR (fig 1, tableau 1). Sur la base de la classification de longueur SSR [24], le type de classe II (< 20 pb) est le plus abondant dans le génome d'*A. spinosa* par rapport au type de classe I (> 20 pb). En effet, l'analyse a mis en évidence 659 888 (90,62 %) SSR appartenant à la classe II et 68 288 (9,37 %) au type classe I. Sinon, nous avons observé que l'apparition de SSR diminue avec l'augmentation de la longueur du SSR (Figure 1).

Concernant la composition des motifs SSR, les motifs mono-nucléotidiques T et A ont le plus grand nombre d'occurrences avec respectivement 29,6 % et 29,4 % suivis des motifs dinucléotidiques AT/TA, AG/GA, TC/CT avec 18 % (10,3 % + 7,7%), respectivement 6% (3,7% + 2,3%) et 5,9% (3,3% + 2,6%) (Figure 1). En général, l'analyse a révélé que les motifs dominants étaient tous riches en A/T tandis que les motifs les moins abondants étaient riches en G/C, conformément à la faible teneur en GC de l'espèce (Figure 1).

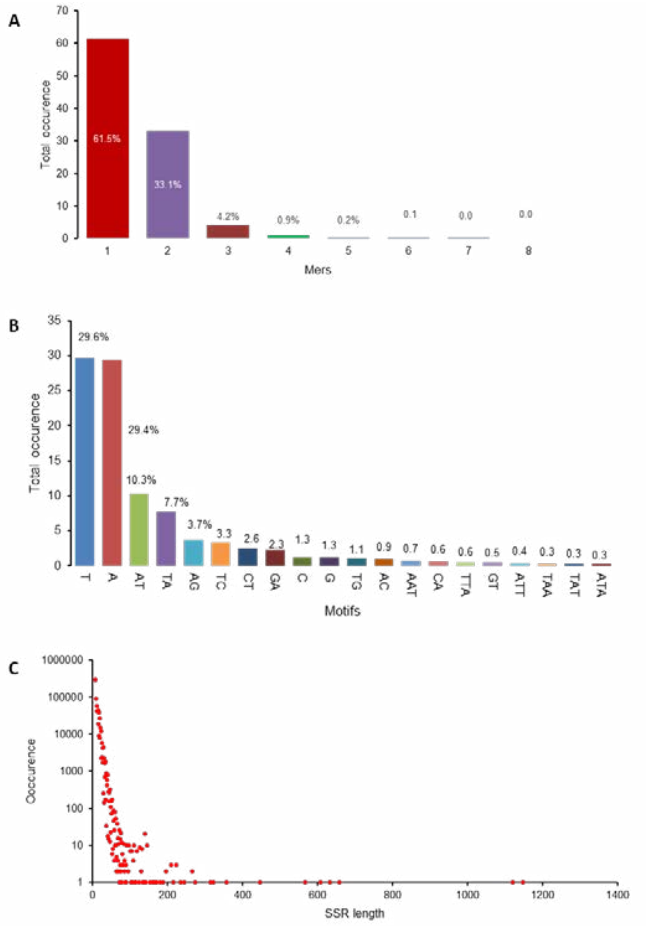


Figure 1. Statistique sur les SSR identifiées. A. Pourcentage des motifs SRR, B. le top 20 des motifs SRR, C. la distribution de la taille des SRR et leur occurrence.

3.2 Conception d'amorces de marqueurs et analyse de polymorphisme in silico

Afin de caractériser un nouvel ensemble génique de marqueurs SSR sur la séquence entière du génome d'*A. spinosa*, les séquences adjacentes des SSR ont été utilisées pour concevoir des amorces PCR à l'aide du logiciel SSRMD. L'étape de conception du marqueur a généré un total de 705 998 paires d'amorces correspondant à 96,95 % du total des locus SSR identifiés. Après avoir supprimé les marqueurs redondants, 567 939 marqueurs uniques restants ont été conservés. La taille des amplicons des marqueurs variait de 120 pb à 400 pb avec une taille moyenne de 308 pb. Aucun des 11 marqueurs développés précédemment n'a été trouvé dans le nouvel ensemble de marqueurs. Pour sélectionner des marqueurs précieux, il est important d'obtenir des informations supplémentaires en termes d'efficacité d'amplification, de nombre et de taille d'allèles. Par conséquent, nous étudions le niveau de polymorphisme de l'ensemble de marqueurs conçus en utilisant une approche in silico basée sur le génome d'*A. spinosa*. L'analyse a montré qu'un total de 126 595 (17,93 %), 277 775 (39,34 %) et 247 384 (35,04 %) des marqueurs conçus amplifient respectivement un, deux ou trois allèles (Figure 2A). La tendance générale montre que le nombre de marqueurs diminue à mesure que le nombre d'allèles amplifiés augmente (Figure 2B).

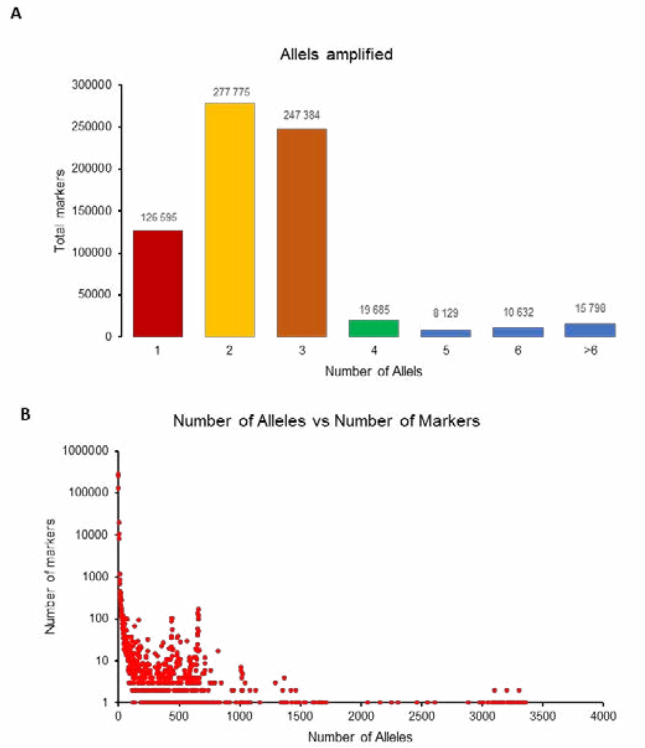


Figure 2. Statistique sur les SSR amplifiées in silico. A. Pourcentage d'allèles amplifiés par marqueurs. B. Distribution du nombre d'allèles vs le nombre de marqueurs.

3.3 Annotation des SSR

Pour l'annotation, 728 176 séquences modèles, hébergeant des SSR identifiés, ont été transmises via TransDecoder pour prédire les ORF. Le nombre total d'ORF prédits était de 167 766 dont 114 132 ORF complets, 30 285 ORF partiels 5prime, 23 305 ORF partiels 3prime et 44 ORF internes. Le processus d'annotation utilisant la recherche d'homologie dans les bases de données SwissProt, UniProt et PFAM a abouti à 146 011 transcriptions avec une annotation attribuée représentant 87,03 % du total des ORF prédits.

Les recherches BLAST dans la base de données SwissProt ont abouti à 158 539 résultats avec BLASTX et à 63 547 résultats avec BLASTP et les informations sur l'ontologie génétique (GO) ont été obtenues à partir de ces résultats. Les annotations GO ont été classées en trois catégories principales, à savoir le composant cellulaire (CC), la fonction moléculaire (MF) et le processus biologique (BP), avec respectivement 344 934, 382 919 et 412 728 occurrences et 45 sous-catégories GO (Figure 3). Pour la classification

Ontologie, le nombre le plus élevé de résultats dans la catégorie CC a été attribué aux sous-catégories Nucleus (38 862), Composant intégral de la membrane (37 564) et Membrane plasmatique (27 271), tandis que pour la catégorie MF, le plus grand nombre le nombre de résultats était associé aux sous-catégories de liaison atp (25 108), de liaison métallique (23 164) et de liaison à l'ADN (12 203). La catégorie BP a le plus petit nombre de réponses, les trois chiffres les plus élevés concernant les sous-catégories Régulation de la transcription (7713), Intégration de l'ADN (6379) et Réponse de la Défense (5275).



Figure 3. Statistique sur l'annotaion des SSR . A. Pourcentage d'allèles amplifiés par marqueurs. B. Distribution du nombre d'allèles vs le nombre de marqueurs.

De plus, nous avons utilisé l'annotation (GFF) de la séquence génomique d'*A. spinosa* (non publiée) pour déterminer les gènes cartographiés avec les modèles SSR. Cela apportera des informations sur le processus fonctionnel associé au marqueur SSR. Sur 728 176 séquences modèles, nous avons constaté que 317 087 étaient cartographiées sur au moins un gène prédit sur le génome d'*A. spinosa.* De plus, pour chaque gène individuel, nous avons compté le nombre de séquences modèles SRR liées.

Sur la base de l'analyse, nous avons constaté que les gènes à fonction inconnue (protéine hypothétique) étaient les plus associés au modèle SSR, représentant 76 % (259 829). Il est intéressant de noter que plusieurs gènes importants sont associés aux SSR, tels que les gènes Aquaporines (PIP) (389 SRR au total), précédemment impliqués dans l'ajustement du bilan hydrique des plantes en réponse aux conditions environnementales changeantes [25], les gènes dépendants de la Ferrédoxine. le gène de la glutamate synthase (GLU1_2) impliqué dans le processus d'assimilation de l'azote inorganique [26] (63 SSR) et les gènes de la Callose synthase 10 (CALS10_2) (88 SSR) qui s'avère impliqué dans plusieurs processus biologiques fondamentaux, allant du développement des plantes à la réponse aux stress abiotiques et biotiques [27]. La figure 4 présente les 20 principaux gènes avec un nombre élevé de séquences modèles SRR associées.

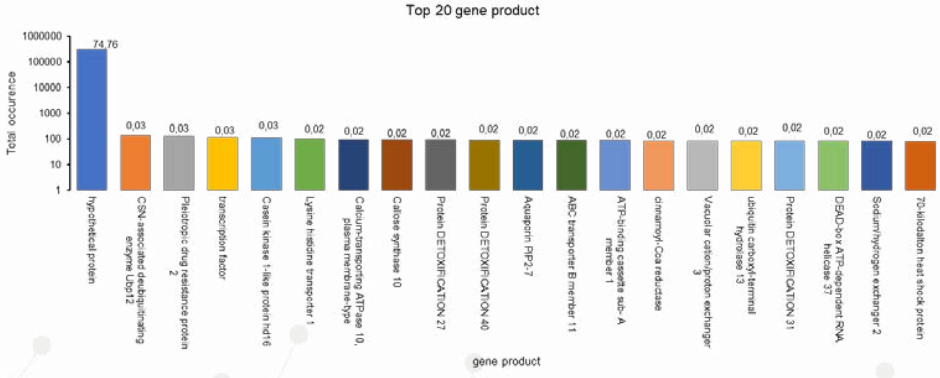


Figure 4. Les top 20 gènes associées aux SRR identifiées sur le génome d'*Argania spinosa*.

De plus, nous avons étudié le nombre d'allèles amplifiés pour chaque gène lié à une matrice SRR. L'analyse montre qu'un nombre élevé d'allèles sont amplifiés sur des gènes à fonction inconnue (87,9 %), suivis du gène du composant complexe Exocyst (exo84b) (2861 allèles) et du gène de la protéine ribosomale S15 (rpS15) (224 allèles).

CONCLUSIONS

La caractérisation de la diversité génétique de l'*Argania spinosa* L. Skeels revêt une importance cruciale dans le contexte de sa conservation et de son utilisation durable, compte tenu de son statut d'espèce endémique du Maroc et de son rôle écologique et socio-économique vital. Ce travail de recherche a permis de franchir des étapes significatives dans la compréhension de la génétique de cette espèce, en mettant en œuvre une approche intégrée combinant séquençage du génome et analyse bioinformatique avancée.

L'identification de 728 176 marqueurs SSR sur la séquence génomique d'*A. spinosa* offre une vision globale sur le répertoire des séquences répétés a l'échelle du génome qui permettrait de mieux étudier la diversité génétique en utilisant des marqueurs propres à l'espèce. La conception de cette base de données de marqueurs uniques constitue une ressource précieuse pour les études de population et les programmes de sélection.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. le Polain de Waroux, Y.; Lambin, E.F. Monitoring Degradation in Arid and Semi-Arid Forests and Woodlands: The Case of the Argan Woodlands (Morocco). Applied Geography 2012, 32, 777–786, doi:10.1016/j.apgeog.2011.08.005.

2. Tautz, D. Hypervariability of Simple Sequences as a General Source for Polymorphic DNA Markers. Nucleic Acids Research 1989, 17, 6463–6471, doi:10.1093/nar/17.16.6463.

3. Powell, W.; Machray, G.; Provan, J. Polymorphism Revealed by Simple Sequence Repeats. Trends in Plant Science 1996, 1, 215–222, doi:10.1016/S1360-1385(96)86898-0.

4. Biswas, M.K.; Bagchi, M.; Nath, U.K.; Biswas, D.; Natarajan, S.; Jesse, D.M.I.; Park, J.-I.; Nou, I.-S. Transcriptome Wide SSR Discovery Cross-Taxa Transferability and Development of Marker Database for Studying Genetic Diversity Population Structure of Lilium Species. Sci Rep 2020, 10, 18621, doi:10.1038/s41598-020-75553-0.

5. Duhan, N.; Meshram, M.; Loaiza, C.D.; Kaundal, R. citSATdb: Genome-Wide Simple Sequence Repeat (SSR) Marker Database of Citrus Species for Germplasm Characterization and Crop Improvement. Genes 2020, 11, 1486, doi:10.3390/genes11121486.

6. Tan, C.; Chapman, B.; Wang, P.; Zhang, Q.; Zhou, G.; Zhang, X.; Barrero, R.A.; Bellgard, M.I.; Li, C. BarleyVarDB: A Database of Barley Genomic Variation. Database 2020, 2020, baaa091, doi:10.1093/database/baaa091.

7. Bhattarai, G.; Shi, A.; Kandel, D.R.; Solís-Gracia, N.; da Silva, J.A.; Avila, C.A. Genome-Wide Simple Sequence Repeats (SSR) Markers Discovered from Whole-Genome Sequence Comparisons of Multiple Spinach Accessions. Sci Rep 2021, 11, 9999, doi:10.1038/s41598-021-89473-0.

8. El Bahloul, Y.; Dauchot, N.; Machtoun, I.; Gaboun, F.; Van Cutsem, P. Development and Characterization of Microsat-ellite Loci for the Moroccan Endemic Endangered Species *Argania Spinosa* (Sapotaceae). Appl Plant Sci 2014, 2, doi:10.3732/apps.1300071.

9. Khayi, S.; Azza, N.E.; Gaboun, F.; Pirro, S.; Badad, O.; Claros, M.G.; Lightfoot, D.A.; Unver, T.; Chaouni, B.; Merrouch, R.; et al. First Draft Genome Assembly of the Argane Tree (*Argania Spinosa*). F1000Res 2020, 7, 1310, doi:10.12688/f1000research.15719.2.

10. Khayi, S.; Gaboun, F.; Pirro, S.; Tatusova, T.; El Mousadik, A.; Ghazal, H.; Mentag, R. Complete Chloroplast Genome of *Argania Spinosa*: Structural Organization and Phylogenetic Relationships in Sapotaceae. Plants 2020, 9, 1354, doi:10.3390/plants9101354.

11. Azevedo, V.C.R.; Kanashiro, M.; Ciampi, A.Y.; Grattapaglia, D. Genetic Structure and Mating System of Manilkara Huberi (Ducke) A. Chev., a Heavily Logged Amazonian Timber Species. Journal of Heredity 2007, 98, 646–654, doi:10.1093/jhered/esm074.

12. Yatrib, C.; Belkadi, B.; Laboratory of Microbiology and Molecular Biology, Faculty of Science, Mohammed Vth Uni-versity, Rabat, Morocco; Medraoui, L.; Laboratory of Microbiology and Molecular Biology, Faculty of Science, Mohammed Vth University, Rabat, Morocco; Pakhrou, O.; Laboratory of Microbiology and Molecular Biology, Faculty of Science, Mohammed Vth University, Rabat, Morocco; Alami, M.; Laboratory of Microbiology and Molecular Biology, Faculty of Sci-ence, Mohammed Vth University, Rabat, Morocco; Mousadik, A.E.; et al. Genetic Diversity and Population Structure of the Endangered Argan Tree (*Argania Spinosa* L. Skeels) in Morocco as Revealed by SSR Markers: Implication for Conservation. Australian Journal of Crop Science 2017, 11, 1304–1314, doi:10.21475/ajcs.17.11.10.pne602.

13. Majourhat, K.; Jabbar, Y.; Hafidi, A.; Martínez-Gómez, P. Molecular Characterization and Genetic Relationships among Most Common Identified Morphotypes of Critically Endangered Rare Moroccan Species *Argania Spinosa* (Sapota-ceae) Using RAPD and SSR Markers. Annals of Forest Science 2008, 65, 805–805, doi:10.1051/forest:2008069.

14. Mouhaddab, J.; Msanda, F.; Filali-Maltouf, A.; Belkadi, B.; Ferradouss, A.; El Modafar, C.; Koraichi, S.I.; El Mousadik, A. Using Microsatellite Markers to Map Genetic Diversity and Population Structure of an Endangered Moroccan Endemic Tree (*Argania Spinosa* L. Skeels) and Development of a Core Collection. Plant Gene 2017, 10, 51–59, doi:10.1016/j.plgene.2017.05.008.

15. Chakhchar, A.; Haworth, M.; El Modafar, C.; Lauteri, M.; Mattioni, C.; Wahbi, S.; Centritto, M. An Assessment of Ge-netic Diversity and Drought Tolerance in Argan Tree (*Argania Spinosa*) Populations: Potential for the Development of Improved Drought Tolerance. Frontiers in Plant Science 2017, 8, doi:10.3389/fpls.2017.00276.

16. Cardi, C.; Vaillant, A.; Sanou, H.; Kelly, B.A.; Bouvet, J.-M. Characterization of Microsatellite Markers in the Shea Tree (Vitellaria Paradoxa C. F Gaertn) in Mali. Molecular Ecology Notes 2005, 5, 524–526, doi:10.1111/j.1471-8286.2005.00980.x.

17. Mnejja, M.; Garcia-Mas, J.; Audergon, J.-M.; Arús, P. Prunus Microsatellite Marker Transferability across Rosaceous Crops. Tree Genetics & Genomes 2010, 6, 689–700, doi:10.1007/s11295-010-0284-z.

18. Gou, X.; Shi, H.; Yu, S.; Wang, Z.; Li, C.; Liu, S.; Ma, J.; Chen, G.; Liu, T.; Liu, Y. SSRMMD: A Rapid and Accurate Algo-rithm for Mining SSR Feature Loci and Candidate Polymorphic SSRs Based on Assembled Sequences. Front. Genet. 2020, 11, 706, doi:10.3389/fgene.2020.00706.

19. Wang, X.; Wang, L. GMATA: An Integrated Software Package for Genome-Scale SSR Mining, Marker Development and Viewing. Front. Plant Sci. 2016, 7, doi:10.3389/fpls.2016.01350.

20. Bryant, D.M.; Johnson, K.; DiTommaso, T.; Tickle, T.; Couger, M.B.; Payzin-Dogru, D.; Lee, T.J.; Leigh, N.D.; Kuo, T.-H.; Davis, F.G.; et al. A Tissue-Mapped Axolotl De Novo Transcriptome Enables Identification of Limb Regeneration Fac-tors. Cell Reports 2017, 18, 762–776, doi:10.1016/j.celrep.2016.12.063.

21. Boutet, E.; Lieberherr, D.; Tognolli, M.; Schneider, M.; Bansal, P.; Bridge, A.J.; Poux, S.; Bougueleret, L.; Xenarios, I. UniProtKB/Swiss-Prot, the Manually Annotated Section of the UniProt KnowledgeBase: How to Use the Entry View. Meth-ods Mol Biol 2016, 1374, 23–54, doi:10.1007/978-1-4939-3167-5_2.

22. Finn, R.D.; Bateman, A.; Clements, J.; Coggill, P.; Eberhardt, R.Y.; Eddy, S.R.; Heger, A.; Hetherington, K.; Holm, L.; Mistry, J.; et al. Pfam: The Protein Families Database. Nucleic Acids Res 2014, 42, D222-230, doi:10.1093/nar/gkt1223.

23. Temnykh, S. Computational and Experimental Analysis of Microsatellites in Rice (Oryza Sativa L.): Frequency, Length Variation, Transposon Associations, and Genetic Marker Potential. Genome Research 2001, 11, 1441–1452, doi:10.1101/gr.184001.

Propagation de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) : Le pouvoir de la multiplication végétative

Meriyem Koufan [1,*], Mouaad Amine Mazri [1], Ali El Boukhari[1, 2], Mouaad Oumahmoud[1, 2], Abdelghani Tahiri [1], Bouharroud Rachid[1], Abdelaziz Mimouni[1], Ilham Belkoura[3]

[1] *National Institute of Agricultural Research, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[2] *Ibn Zohr University, Faculty of Sciences, BP 8106, Agadir, Morocco*

[3] *National School of Agriculture, BP S/40, 50001 Meknes, Morocco*

* *meriem.koufan@inra.ma*

Mots clés
Propagation ; Micropropagation ; Greffage ; Microgreffage ; Bouturage ; Microbouturage ; Organogenèse

RÉSUMÉ

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) est un arbre endémique qui joue des rôles socio-économiques et agroécologiques cruciaux au Maroc. Il constitue une source de revenus essentielle pour les communautés locales, en particulier dans la production d'huile d'argan et d'autres produits cosmétiques et pharmaceutiques. De plus, cette espèce protège les sols de l'érosion et préserve la biodiversité. Malheureusement, l'arganier est menacé par de nombreux facteurs biotiques et abiotiques tels que la sécheresse, les activités humaines, le surpâturage et l'expansion urbaine. En outre, cette essence agroforestière présente de nombreuses difficultés lors de sa propagation. Par conséquence, de nombreux efforts ont été déployés pour développer des techniques de multiplication végétative à la fois conventionnelles et de micropropagation qui pourrait contribuer à la propagation rapide et à grande échelle de l'arganier. Cette étude met en lumière les avancées majeures de la propagation de l'arganier en examinant les différentes approches de micropropagation et de propagation conventionnelle décrites dans la littérature. Le développement de systèmes de propagation ou de micropropagation efficaces contribuera non seulement à la préservation de l'écosystème de l'arganier au Maroc, mais également à l'introduction de cette espèce dans de nouveaux environnements, ainsi qu'à la création de vergers diversifiés avec des génotypes améliorés.

Keywords
Propagation; Micropropagation; Grafting; Micrografting; Cutting; Microcutting; Organogenesis

ABSTRACT

Propagation of Argan Tree (*Argania spinosa* L. Skeels): The Power of Vegetative Propagation

The Argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) is an endemic species that plays crucial socioeconomic and agroecological roles in Morocco. It serves as a vital source of income for local communities, particularly through the production of argan oil and other cosmetic and pharmaceutical products. Additionally, this species protects soils from erosion and preserves biodiversity. However, the Argan tree faces threats from various biotic and abiotic factors such as drought, human activities, overgrazing, and urban expansion. Furthermore, propagating this agroforestry species presents numerous challenges. Consequently, significant efforts have been directed towards developing both conventional and micropropagation techniques that could facilitate rapid and largescale propagation of the Argan tree. This study highlights major advances in Argan tree propagation by examining various approaches in micropropagation and conventional propagation documented in the literature. The development of efficient propagation or micropropagation systems will not only contribute to the preservation of the Argan ecosystem in Morocco but also facilitate the introduction of this species into new environments and the establishment of diverse orchards with improved genotypes.

INTRODUCTION

Aujourd'hui, la propagation clonale, l'amélioration génétique et la conservation de l'arganier sont devenus des sujets de recherche prioritaires. Parallèlement, la demande mondiale croissante pour les produits dérivés de l'arganier souligne l'importance de ces recherches [1]. Dans cette perspective, la compréhension et la maitrise de différentes techniques de propagation de l'arganier aideront à discerner les différentes possibilités de restaurer l'écosystème de l'arganier et d'introduire cette espèce dans d'autres régions. Récemment, il y a eu un grand nombre d'études se focalisant sur les deux aspects de la multiplication végétative. En l'occurrence, les techniques conventionnelles telles que le greffage et le bouturage, et les techniques de micropropagation, particulièrement, le microgreffage, le microbouturage et l'organogenèse. Ces méthodes de multiplication, et surtout celle de micropropagation, offrent la possibilité de produire en grande quantité des génotypes élites d'arganier, caractérisés par un rendement élevé en fruits, une teneur élevée en huile et une résistance accrue aux stress biotiques et abiotiques. Cette approche contribuera à la restauration des écosystèmes d'arganier dégradés et à l'expansion de son aire de distribution.

PROPAGATION DE L'ARGANIER PAR LES TECHNIQUES CONVENTIONNELLES

Etant donné que la propagation végétative garantit la production de plantes conformes, elle peut être considérée comme l'une des approches les plus adaptées pour établir de nouveaux vergers d'arganiers de génotypes supérieurs et pour préserver les ressources génétiques de cette espèce. En outre, la propagation végétative des espèces agroforestières contribue à leur domestication et à la réduction de la dégradation environnementale. Le greffage et le bouturage sont les principales techniques utilisées pour la propagation végétative des espèces agroforestières.

2.1 Greffage

Le greffage est une technique capitale pour propager différentes espèces horticoles, du moment qu'elle permet de préserver précisément les caractéristiques souhaitées du greffon, telles que la précocité, la productivité élevée et le rendement. En outre, le greffage résout les difficultés d'enracinement associées au bouturage chez certaines espèces telles que l'arganier. Chez l'arganier, le greffage en fente apicale simple est le plus recommandé, vu qu'il présente des taux de survie allant jusqu'à 65%, tandis que celui de la technique de greffage à l'anglaise est seulement de 25% [2]. Il a été également observé qu'utiliser des portegreffes âgés de 6 à 8 mois conduit à un faible taux de réussite, inférieur à 30%. En revanche, les portegreffes plus jeunes (âgés de 18 jours à 6 semaines) ont montré des taux de réussite plus élevés, allant de 65 à 93%, en fonction de divers facteurs tels que la saison de greffage, l'âge et l'origine géographique du greffon [2]. Metougui et al. [3] ont constaté, après avoir comparé la propagation de l'arganier par bouturage et par greffage, que le greffage est plus approprié. En effet, selon cette même étude, le taux d'enracinement le plus élevé obtenu avec le bouturage était de 66,7%, alors que le pourcentage de de reprise des greffons s'élevait à 95,8% un mois après le greffage.

2.2 Bouturage

La propagation par bouturage est une technique efficace pour produire en grande quantité et à moindre coût des plantules génétiquement uniformes. Cependant, les études issues de la littérature indiquent que la réussite de cette technique chez l'arganier dépend de plusieurs facteurs tels que le type des boutures, l'âge des pieds mères ainsi que la période de prélèvement des boutures [3- 6]. Le génotype est également un facteur déterminant à considérer, car il peut avoir un impact significatif sur la capacité d'enracinement des boutures [3-7]. Ainsi, de nombreuses études ont été menées pour déterminer les conditions optimales permettant d'induire la formation des racines dans les boutures d'argan. Benbya et al. [5] ont souligné que le type et la position des boutures et la solution nutritive agissant sur la capacité des boutures à s'enraciner. Ainsi, ils ont recommandé l'utilisation des boutures herbacées et semi-herbacées et les irriguées avec la solution de Hoagland. Cette méthode a abouti à un taux d'enracinement de 63,81%. Or, Metougui et al. [7] ont souligné que le calcium a un effet très bénéfique sur la capacité d'enracinement des boutures de l'arganier. Son utilisation engendre un taux d'enracinement de 66,67 %. Ferradous et al. [8], de leur part, ont souligné que les boutures juvéniles issues de semis de moins de deux mois montrent plus d'aptitude à l'enracinement avec des taux allant jusqu'à 100%. Selon cette même étude, les boutures issues des rejets âgés de deux ans présentent des pourcentages d'enracinement variant de 9 à 46 %. De leur part, Ait Hammou et al. [4] ont confirmé à travers leur étude que l'âge et la position des boutures ont un effet hautement significatif sur l'enracinement et ont conclu que le meilleur taux d'enracinement (100 % d'enracinement) a été obtenu en utilisant des boutures apicales et médianes issues des rejets d'arbres jeunes.

Plusieurs études rapportées dans la littérature démontrent la faisabilité de la propagation végétative de l'arganier par bouturage. Cependant, la difficulté majeure de cette technique réside dans l'induction de l'enracinement à partir des boutures issues des arbres adultes. D'où l'intérêt d'approfondir d'avantage les recherches afin de déterminer la concentration hormonale optimale et la période de prélèvement des boutures la plus appropriée.

MICROPROPAGATION DE L'ARGANIER

3.1 Microbouturage

La micropropagation par microbouturage, est une technique largement utilisée en culture in vitro pour produire des plantes conformes aux pieds mères. Cette méthode est souvent utilisée pour la propagation de nombreuses espèces ligneuses, en particulier celles qui ne se propagent pas facilement par organogenèse directe et indirecte ou embryogenèse somatique. A l'heure actuelle, très peu de travaux ont été publiés sur la micropropagation de l'arganier par microbouturage. En effet, deux facteurs majeurs entravent l'utilisation de cette technique : premièrement, l'établissement de cultures axéniques est difficile car les boutures sont collectées à partir de plantes en plein champ deuxièmement, la formation des racines adventives à partir des pousses régénérées pose également un défi primordial à relever. Dans cette synthèse, nous allons mettre le point principalement sur les études phares ayant traités le problème d'enracinement in vitro. En effet, Bousselmame et al. [9] ont examiné comment différents traitements hormonaux influençaient l'induction et l'allongement des racines à partir des pousses développés in vitro. Leur recherche a révélé que la combinaison de 5 mg l−1 d'IBA (Acide Indole-3-Butyrique) et 5 mg l−1 de NAA (Acide Naphtalène Acétique) entraîne les taux d'induction de racines les plus élevés, atteignant 85% en utilisant des microboutures issues d'arbres adultes. De leur part, Lamaoui et al. [10] ont examiné les effets de différentes concentrations d'AIA (Acide Indole 3-Acétique), d'AIB et d'ANA dans un milieu 1/4MS sur l'induction racinaire. L'étude avait permis de conclure que le taux d'enracinement le plus élevé (54,85 %) a été observé dans le milieu contenant la combinaison de 5 mg l−1 d'IBA et 1 mg l−1 de NAA.

3.2 Microgreffage

Le microgreffage de l'arganier est une approche nouvelle et prometteuse pour multiplier des génotypes précieux et induire la revitalisation du matériel adulte. Le microgreffage consiste alors, à insérer l'extrémité de la pousse d'une plante, sur le porte-greffe qui est un semis développé dans des conditions in vitro. Cette technique a été utilisée chez de nombreuses espèces. Récemment, ce système de propagation par microgreffage a été décrit pour la première fois chez l'arganier par Koufan et al. [11]. Cette étude avait engendrait des taux de reprise des plants microgreffés qui varient entre 65 et 100% (après deux mois de culture). L'établissement de la soudure entre le greffon et le porte-greffe a été confirmé par des coupes histologiques.

3.3 Organogenèse

Un système de régénération in vitro par organogenèse a été rapporté récemment chez deux génotypes d'arganiers (Mejji et R'zwa) en utilisant des explants zygotiques. Bien que ce processus de régénération ait été réalisé à partir des explants zygotiques, il peut être considéré comme une étape importante vers l'identification des facteurs affectant l'organogenèse de l'arganier, et peut permettre une application plus large des processus biotechnologiques à la propagation, la conservation et l'amélioration génétique [12].

CONCLUSIONS

Récemment, des avancées importantes ont été réalisées pour améliorer les techniques de propagation conventionnelle de l'arganier, en se concentrant principalement sur le bouturage et le greffage, afin de garantir une production durable et continue en plantes homogènes. Parallèlement, la propagation par culture in vitro a également progressé. Cependant, des défis subsistent, notamment la difficulté à enraciner les boutures et les microboutures, en particulier lorsqu'elles proviennent d'arbres adultes. D'autre part, l'embryogenèse somatique, une technique fréquemment employée dans de nombreuses espèces végétales, demeure inexploitée à ce jour dans l'arganier et mérite d'être explorée. Cette méthode offre un potentiel pour diverses applications biotechnologiques telles que la propagation rapide et à grande échelle de cultivars supérieurs, l'amélioration géné-tique et la conservation du germoplasme.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Elame, F.; Erraoui, E.; Lionboui, H. Economic Analysis of The "Argan" Sector In Morocco. REMSES, ISSN: 2489-2068 2021,6,3.

2. Mokhtari, M., Benismail, M.C., Ijirri, L., Nassiri, S., 2011. Développement d'un système de production de plants d'arganier par greffage. In : Proceedings First International Congress on Argan, Agadir, Morocco, pp. 100-108

3. Metougui, ML., Mokhtari, M., Machati, I., Azeroual, I., Benlhabib, O., 2017. Multiplication végétative de l'arganier (*Ar-gania spinosa*) par bouturage et par greffage. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 5, 428–436.

4. Hammou, R. A., Daoud, S., & Harrouni, M. C. (2018). Effet de l'âge, des têtes de clones, de la position du ramet et du traitement à l'AIB sur l'enracinement des boutures de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Revue Marocaine des Sci-ences Agronomiques et Vétérinaires, 6(4), 446-453.

5. Benbya, A., Mdarhri Alaoui, M., Gaboun, F., Delporte, F., Cherkaoui, S., 2018. Vegetative propagation of *Argania spinosa* (L.) Skeels cuttings : Effects of nutrient solution. Int. J. Environ. Agric. Biotechnol. 3, 1369–1381.

6. Nouaim, R., Mangin, G., Breuil, M.C., Chaussod, R., 2002. The argan tree *(Argania spinosa*) in Morocco: propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. Agroforest. Syst. 54, 71–81.

7. Metougui, ML., Machati, I., Mokhtari, M., 2015. Multiplication végétative de l'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels.) par bouturage. In: Proceedings Third International Congress on Argan, Agadir, Morocco, pp. 254–257.

8. Ferradous, A., Alifriqui, M., Bellefontaine, R., 2011. Optimisation des techniques de bouturage sous mist chez l'arganier. In: Proceedings First International Congress on Argan, Agadir, Morocco, pp. 135–144.

9. Bousselmame, F., Kenny, L., Chlyah, H., 2001. Optimisation des conditions de culture pour l'enracinement in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L.). Life Sci. 324, 995–1000.

10. Lamaoui, M., Chakhchar, A., El Kharrassi, Y., Wahbi, S., Ferradous, A., El Mousadik, A., Ibnsouda-Koraichi, S., Filali Maltouf, A., El Modafar, C. 2019. Selection and Multiplication of Argan (*Argania spinosa* L.) superior clones for con-servation purposes. Acta Sci. Agric. 3, 116–123.

11. Koufan, M., Mazri, M.A., Essatte, A. Moussafir, S., Belkoura, I., El Rhaffari, L., Toufik, I., 2020b. A novel regeneration system through micrografting for *Argania spinosa* (L.) Skeels, and confirmation of successful rootstock-scion union by histological analysis. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 142, 369–378.

12. Amghar, I., Diria, G., Boumlik, I., Gaboun, F., Iraqi, D., Labhilili, M., Mentag, R., Meziani, R., Mazri, M.A., Ibriz, M., Ab-delwahd, R., 2021. An efficient regeneration pathway through adventitious organogenesis for the endangered *Argania spinosa* (L.) Skeels. Vegetos 34, 355–367.

Integrating agronomic research with economic analysis to evaluate Argan seedling nursery practices

OUMAHMOUD Mouad [1,2,*] , ALOUANI Mohamed [2] , ELAME Fouad [1] , TAHIRI Abdelghani [1] , BOUHARROUD Rachid [1] , QUESSAOUI Redouan [1] , MIMOUNI Abdelaziz [1] and , KOUFAN Meriyem[1] .

[1] *National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[2] *Laboratoire de Biotechnologies et Valorisation des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc ;*

** mouadoumahmoud@gmail.com*

Keywords
substrate; container; seedlings; shade; cost-benefit

ABSTRACT

Adopting good nursery practices for the production of highquality argan seedlings is a promising approach to addressing the major threats facing the argan tree. These threats include overexploitation for oil production, urbanization, successive droughts, and low natural regeneration, resulting in a loss of argan grove area. By cultivating highquality argan seedlings in nurseries, we can help mitigate these threats and ensure the survival of this iconic tree. Therefore, the adoption of novel substrate composition and container size as well as shade covering as studied approaches to improve seedling quality is privileged. For that, our study consisted of implanting two experiments aiming to determine the best substrate composition and container size as well as shade level recommended to be adopted as nursery practices. To implant these two experiments, we sown argan seeds in six substrate compositions at two shaded levels (0% and 80 %). Similarly, 0 % and 80% shaded covering levels were adopted to assess argan quality seedlings based on four sizes of containers. Besides, a cost-benefit analysis was realized based on the outcomes of the plant production cost assessment of each treatment with the benefits recorded in major morphological measurements after six months of seeding. This economic analysis concluded that T1 followed by T3 and T6 were the most efficient substrate composition, while for the containers, D2 followed D4 by and D3 appeared to be the profitable container size. Also, the two experiments agreed that the use of 80% shaded covering did not influence plant growth. However, it could decrease the seedling quality.

Mots clés
substrat ; contenant ; semis ; ombre ; analyse coût-bénéfice

RÉSUMÉ

Intégration de la recherche agronomique à l'analyse économique pour évaluer les pratiques de pépinières de plants d'arganier

L'adaptation des bonnes pratiques culturelles en pépinière pour la production des plantules d'arganier de bonne qualité constitue une approche prometteuse pour faire face aux principales menaces traitant l'existence de l'arganier. Ces menaces comprennent la surexploitation des fruits d'arganier destinés à l'extraction de l'huile, l'urbanisation, la sécheresse et le faible taux de régénération naturelle entraînant une diminution de superficie d'arganiers. En cultivant des plants d'arganier de haute qualité dans des pépinières, nous pouvons contribuer à atténuer ces menaces et assurer la survie de cet arbre iconique. Par conséquent, l'adoption des nouvelles compositions de substrat et de différents volumes et formes de conteneurs ainsi qu'une couverture de serre par ombrage comme des approches innovatrices pour améliorer la qualité des plantules est privilégiée. Pour cela, notre étude consiste à mettre en œuvre deux expérimentes visant à déterminer la meilleure composition du substrat et le volume du conteneur ainsi

que le pourcentage de couvrement de serre en pépinière. Pour implanter ces deux expérimentes, nous avons semé des graines d'arganier dans les six compositions de substrat à deux niveaux d'ombrage (0 % et 80 %). De même, les mêmes niveaux de couvrement de serre par ombrage de 0 % et 80 % ont été adoptés pour évaluer la qualité des plants d'arganier en évaluant les quatre volumes de conteneurs. En outre, une analyse coût-bénéfice a été réalisée sur la base des résultats de l'évaluation des coûts de production de chaque traitement avec les résultats enregistrés en termes de mesures morphologiques après six mois de semis. Cette analyse économique a conclu que T1 suivi de T3 et T6 étaient les compositions de substrat la plus efficace, tandis que pour les conteneurs, D2 suivi de D4 et D3 semblaient être les conteneurs les plus rentable. De plus, les deux expérimentes ont conclus que l'utilisation d'un pourcentage de 80 % de couvrement de serre par ombrage n'influence pas la croissance des plantes. Cependant, cela pourrait diminuer la qualité des plants.

INTRODUCTION

Argania spinosa is considered one of the old sapotaceous that currently continues to be growing in the subtropical zone with an age surpassing 80 million years [1]. It exhibits a remarkable tolerance to drought and extreme weather conditions. Argan tree is one of the largest endemic species in Morocco [2] and is continuing to grow in the Souss Valley region. Its area of growth is considered among the largest forest area in Morocco covering 1.4 million hectares, playing an important socioeconomic role by creating employment opportunities for the local population, particularly in harvesting argan kernels and transforming them into edible oil production, and nutraceutical and cosmetic product [3]. In the last decades, the argan surface has reduced to 800 000 ha due to land use, lower natural argan regeneration, and currently climate change effect [4]. Lately, its area has whispered to more than 950,000 ha thanks to the PMV (Plan Maroc Vert) regeneration project [5]. Several researchers promoted the argan tree thanks to its oil quality by introducing it in other countries such as Kuwait [6], Argentina [7], and Spain [8]. Thus, argan oil is whispered on all continents and reaches Japan, North America, and Europe markets with a significant importation from France and Germany of 100 to 650 tons. For that, the argan natural forest is suffering an overexploitation of goat overgrazing and oil extraction due to the high demand from cosmetic companies [9-10]. Other factors impact the argan grove area, particularly, climate change, urbanization, demographic pressure, and the increase of tourism activity [11]. In this context, it is mandatory to adopt an argan domestication program to decrease argan forest loss and provide and secure resources for oil extraction from the future orchards to be settled. Therefore, Argan seedling production practices in nurseries became a necessity since they ensure high-quality argan seedling production with a high survivability in orchards and therefore a high possibility of argan oil production increase to meet the demand of the market in the future without the overuse of forest resources. The production of argan seedlings in the nursery is also known by container utilization filled with fertile growth media with or without the use of shade. The adoption of the growth media, container, and shade can be fruitful in the production of high-quality seedlings [12]. Growth media such as peat moss or biochar are known for their enhancement of seed germination and growth of seedlings since they cover the needs for nutriment, ensure water use efficiency, and protect from diseases as well as provide a good development of roots which leads to successful transplantation and survival of plants in the orchards [13], similarly to container use, it improves root development and photosynthesis process, while shade improves soil porosity and favors lower evapotranspiration that contributes in less water demand. This latest will be very helpful in the current situation of successive drought [12]. On the other hand, the argan production in orchards must be rentable to be successful. For that, it is necessary to determine the argan seedling cost production in a nursery based on the treatments adopted to choose the most efficient one. For that, a cost-benefit analysis should be applicable to suggest the most efficient treatments of shade, substrate, and container which favor the production of high-quality seedlings designated for transplantation in orchards to increase argan surface in the region. In this article, we conducted a study on the effect of the three treatments in the germination and growth of argan seedlings then we will determine the cost of each argan seedling production treatment (substrate and container) in the context of shade level. The following agricultural economic study aims to compare the production cost of different treatments and morphological parameters measurements recorded such as root and shoot length and diameter, as well as root architecture and biomass production to suggest the best treatments.

MATERIALS AND METHODS

2.1.Experimental design

For this study, two experiments were carried out at the same time to determine the best treatment of shade percentage, substrate composition, and container size for argan seed germination and argan seedlings growth after 6 months. The greenhouse was covered by polyethylene film and an insect-proof net, divided into two compartments based on the percentage of shade covering in each compartment (0%; and 80%). The seeds harvested from 12-year-old tree were washed with tap water, treated with hot water for 48 h, and then sown in polyethylene bags of 2000 ml filled with different compositions of the substrate as the first experiment. The second experiment is consisted also of sowing argan seeds in 4 types of containers with different volumes filled with substrate composition based on perlite and peat moss (50%, 50%). Each treatment of substrate or container was replicated 30 times in two compartments, resulting in 2 shade treatments for both experiments (substrate and container). The following tables 1 and 2 reported the different substrate composition ratios and container size, respectively.

Table 1. Container volume and form used in the effect of container size experiment.

Container	Form	Volume (ml)
D1	Cylindrical form	1800
D2	Cylindrical form	3100
D3	Cubical form	1250
D4	Cubical form	1500

Table 2. Substrate type and ratio used in the effect of substrate composition experiment

Substrate composition	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Argan soil		50%	50%	25%		
Blond peat	50%		25%	25%	25%	25%
Black peat	50%		25%		25%	25%
Perlite		25%		25%	25%	
Compost		25%		25%	25%	
Biochar						50%

2.2.Germination Rate and Plant Growth Parameters Determination

The growth parameters were recorded a single time after six months of sowing, and the germination rate was counted based on the number of emerged seedlings After that, plants were uprooted from the containers, and then roots were washed with tap water to remove the remaining soil. The shoot and root lengths were measured with a 60 cm ruler, and then the number of secondary roots was counted manually. The root and shoot diameters were measured by a digital caliper. The root system was then separated from the aerial part to measure shoot fresh weight and root fresh weight using an electronic balance. Then, plants are subjected to oven-dry for 48 h at 70 °C to determine shoot and root dry weight.

2.3.Economic Analysis

Cost–benefit analysis (CBA) is a decision-making tool used to determine the productivity and efficiency of a defined production system and can help to allocate resources effectively. Further, it determines the effectiveness of any system depending on the indicators of the results that are achieved or expected.

CBA is initiated by an economic assessment of the experiment based on recording the cost of the various inputs and operations carried out throughout the crop cycle. They were then subjected to a comparison to extract the points of similarity and difference between the different driving modes. In case the benefits were not yet apparent, a comparative analysis of the costs by activity or by technique was carried out. Argan seedling production costs were divided into investment costs such as greenhouse costs and irrigation system equipment costs. While most of the remaining costs were operational, basically, irrigation, labor, preparation of pots and seeding, and seeds. Some costs such as investment costs and container costs were amortized. However, all costs were reported in Moroccan currency MAD (1$ ≈ 10.1 MAD). On the other hand, a survey was conducted to determine the plant production cost and plant price in the current nurseries to compare them with our results to make our analysis more reliable. The elements used for argan seedling cost-benefit comparison were determined from the morphological traits deduced from the two experiments conducted on the effects of shade, container, and substrate. To compare within these treatments, control treatments should be selected. In our analysis, the most common treatments used by argan growers namely T3 composed of Argan soil (A), Peat (P), and Blond Peat (BP) (A (50%), P(25%), BP(25%)) and a container D3 of a volume of 1250 mL were appointed.

RESULTS AND DISCUSSION

Two experiments were conducted separately one consisted of substrate composition and the second of container size in two different shade levels. Various morphological parameter measurements for each treatment were recorded; however, we chose only five major morphological traits that clearly demonstrated the seedling quality. The following parameters were reported for the substrate experiment: the number of secondary roots, shoot diameter (cm), shoot

length (cm), plant fresh weight (g), and germination rate, Similar to the container experiment, the above parameters were adopted except germination rate which was changed by number of secondary roots since germination rate is not significantly affected by container. Additionally, to compare between substrates, we selected the T3 treatment composed of argan soil, black peat, and white peat (1/2:1/4:1/4) filled in a polyethylene bag of 2000 ml volume as a control treatment while D3 was the control treatment in the container experiment. These choices were justified as the most used combination by Moroccan growers and are labeled low-cost and affordable. The following figures (figures 1A, 1B, 2A, and 2B) displayed a comparison of six substrate compositions and four container sizes in two shaded levels.

Figure 1 shows a comparison between seedling germination and growing in six substrate compositions. In this comparison, it is shown that T6 was the expensive substrate treatment followed by T5, T4, T1, T2, and T3 respectively. As cited before, T3 was chosen as control due to its low-cost price and large utilization by Moroccan growers in the nursery. To determine the best substrate treatment, various comparisons within treatment compared to control regarding the major five morphological traits exhibiting the seedling quality and production cost. Figure 1A established from the growth of seedlings in unshaded compartments has shown that T1 has the highest values in most of the traits including the germination rate. In addition, it has the second cheapest plant production cost after control. It is followed by T3, the choice of growers. Several parameters favor T1 with increases of 51.53% in shoot diameter, 62.90% in plant fresh weight, 16.80% in shoot length, and 28.34% in root length compared to T3, while the production cost rise did not surpass 6.3% concerning T3. Therefore, we can presume from these comparisons that T1 is the most efficient substrate composition and growers would need to emerge to adopt it in the ambition to get a high-quality seedling. The remaining substrates were shown lower values compared to the control in most of the parameters. Similarly in Figure 1B, a cost-benefit analysis has occurred within substrate composition, the only difference here is the use of 80% shade covering for the nursery greenhouse. Plant production cost ranks remain the same since we used the same composition, however, an increase was expected in the cost due to the additional shade covering the cost. T1 and T6 recorded the highest values in morphological parameters, T1 had the highest value in shoot diameter, and plant fresh weight while T6 had the highest value in shoot length, root length, and germination rate as well as plant production cost. T1 has ranked second in these three parameters. The third-best treatment was the most preferred by growers. These comparisons show that there is a positive impact of T1 and T6 on the seedling quality com-pared to T3. In plant fresh weight, there is an increase of 73.1% of T1 and 54.66% of T6 compared to control. Shoot length increased by 56.13% and 64.34% thanks to the use of T1 and T6 respectively. While root length surpassed 124.94% due to the adoption of T6, while T1 increased by 29.97%. For germination rate, a significant increase that exceed 100% for both substrate composition (T1 and T6) compared to control. Concerning these comparisons, we can arbitrate that T1 and T6 are the most efficient substrate compositions with a minor advantage over T1 due to their low-cost plant production. Finally, if we compare the two shaded levels, it is clearly defined that the use of 80 % shade covering did not improve the seedling quality, unlikely it decreased the seedling growth in most morphological traits.

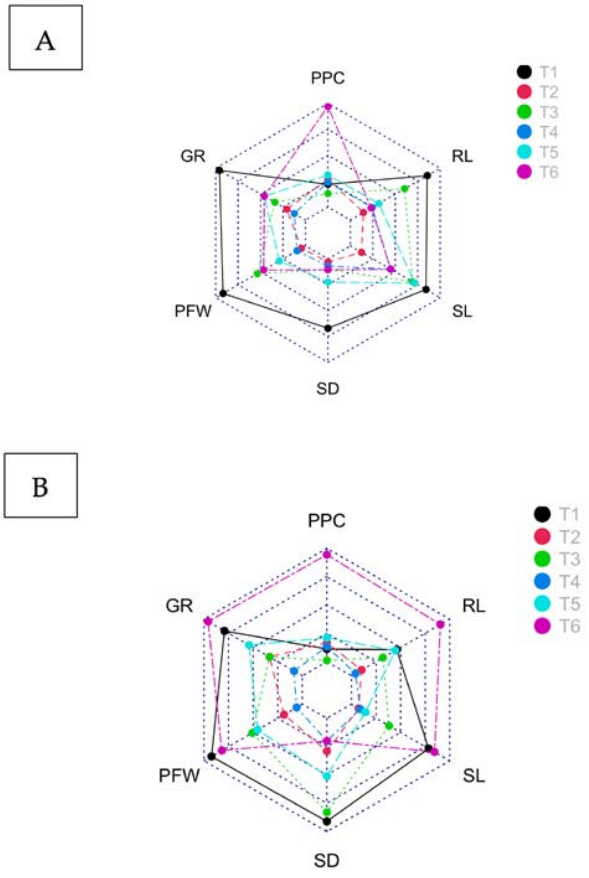


Figure 1. Radar chart illustrating cost-benefit analysis of substrate composition argan seedling quality. A : 0% shaded covering, B: 80% shaded covering: PPC : Plant Production Cost, GR: Ger-mination rate, PFW : Plant Fresh Weight, SD : Shoot Diameter, SL: Shoot Length, RL : Root Length

The second experiment consisted of determining the most efficient container size for argan seedling production in two shade levels, similarly to the substrate experiment, a cost-benefit analysis based on morphological traits and plant production cost was conducted. Beginning with plant production cost, D2 was the most expensive container followed by D1, D4, and D3 respectively. Despite D3 being the control treatment, it is showing forceful results in shoot diameter compared to the remaining. Also, the control treatment has ranked second in three parameter measurements namely plant fresh weight, shoot length, and number of secondary roots. D4 recorded the highest value in plant fresh weight and shoot length, while the highest root length was reported in D1. D2 has shown the greatest value of the number of secondary roots compared to other containers and is closely next to the highest values of shoot diameter and root length. Based on these outcomes, it is clear that the choice of the most efficient container looks to be complicated since each container has reported higher in one of the morphological traits, however, most containers ranked in the head of containers in most of the parameters (first or second) as well as has the cheapest production cost was D3 since it has ranked fre-quently first or second in at least 4 growth parameters out of 5, followed by D2 (figure 2A). The same analysis was repeatably established in the 80 % shaded compartment (Figure 2B), however, the outcome was different. It is demonstrated that D2 has the highest value in most of the parameters namely plant fresh weight, shoot, and root lengths, and ranked second in shoot diameter. while D4 has ranked first in the remaining parameters such as shoot diameter and germination rate. Therefore, these two containers D2 and D4 showed the highest value compared to the control since they are 95.85% and 113% respectively higher in shoot diameter, also, D4 is shown a rise up of 155% in germination rate com-pared to D3. On the other hand, D2 has an increase of 56.44% in plant fresh weight, 21.43 % in shoot length, and 82.86% in root length. Despite the highest production cost difference of D2 (26.7%) and D4 (7.9%) compared to control, D2 followed by D4 were the head containers showed positive growth of seedling quality. Therefore, D2 is the most efficient container followed by D4. Besides, the plants developed in an 80% shaded compartment demonstrate lower growth and germination rate compared to an unshaded compartment similar to the substrate experiment outcome, although there is an increased production cost. Thus, 80% shade greenhouse covering is considered non-beneficial.

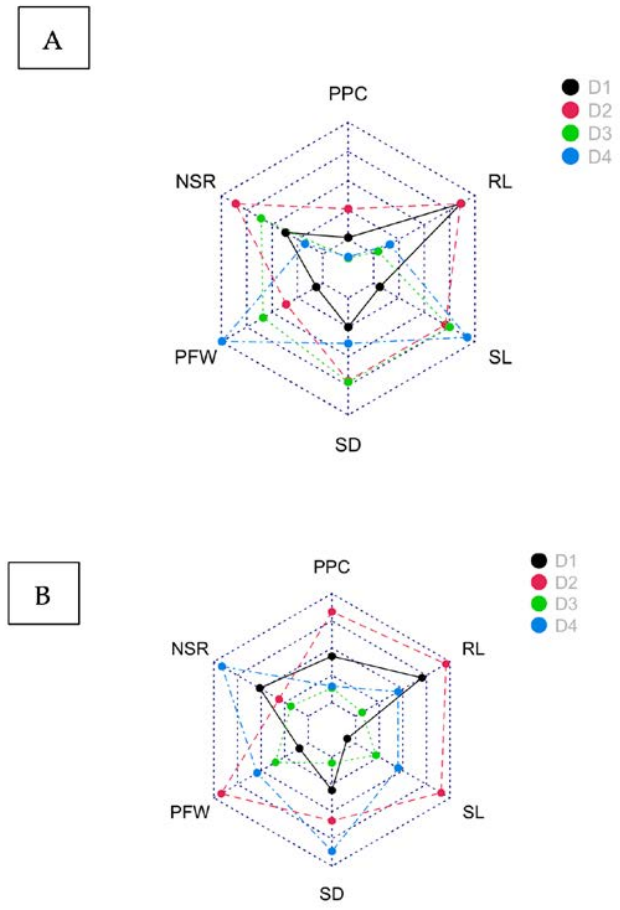


Figure 2. Radar chart illustrating cost-benefit analysis of effect container in argan seedling qual-ity in 0% and 80% shaded levels, A: 0% shaded covering, B: 80% shaded covering: PPC: Plant Production Cost, GR: Germination rate, PFW: Plant Fresh Weight, SD : Shoot Diameter, SL: Shoot Length, RL : Root Length

CONCLUSIONS

Argan domestication success is related to the use of various cultural techniques, starting from ensuring high-quality seedling production addressed to successful transplantation and declining seed emergence over time. For this, the use of growth media and containers plays a crucial role in the development and growth of argan seedlings. Our experiment showed that adding growth media such as peat moss and biochar with a higher ratio improves plant growth, enlightened by higher aerial and root growth and biomass production. Also, an increase in the pot size is influencing root architecture growth, which has a high correlation with above-ground biomass growth as well as shoot diameter. On the other side, the use of shade mainly 80 % covering of the greenhouse has a negative effect on germination rate and biomass production. This trial had shown also that the investment in production cost had a positive impact on seedling growth and quality. The reported results showed that the use of peat moss and the containers

with the highest size pot did lead to an increase in seedling quality. The use of biochar as a substitution for peat moss has raised the production cost, although it does not improve the quality of seedlings compared to peat moss. On the other hand, the use of argan soil as a substitute did decrease the production cost, in the meantime it also led to a germination rate decline and decreased the seedling quality. Therefore, we can conclude that for 6 months of growth, the most efficient treatments were T1 (Blond Peat (50%), Black Peat (50%)]) and a cylin-drical form container with a size of 3100 mL in the unshaded compartment. These awarded treatments had a reasonable production cost which would provide an important profit for growers since the market price ranges between 10 to 20 MAD per plant. Thus, our study has also shown that the use of alternative and innovative nursery practices improved the quality with a little increase in production cost.

Acknowledgments: This work has been financed with the support of National Agency for the Development of Oasis and Argan Areas (ANDZOA) within the framework of the project for the Development of "Arganiculture" in Vulnerable Zones "DARED", projects co-financed by the Green Climate Fund (GCF).

REFERENCES

1. Moukrim, S. ; Lahssini, S.; Mharzi Alaoui, H.; Rifai, N.; Arahou, M.; Rhazi, L. Modélisation de La Distribution Spatiale Des Espèces Endémiques Pour Leur Conservation : Cas de l'*Argania Spinosa* (L.) Skeels. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)* 2018, 73, 153–166.

2. Achour, A. Contribution à l'étude de la phénologie de l'arganier et de la biodiversité au sein d'une parcelle clôturée. Evalua-tion d'un essai de régénération artificielle, PhD dissertation, Ibn Zohr University, Morocco, 2014.

3. Lybbert, T.J.; Aboudrare, A.; Chaloud, D.; Magnan, N.; Nash, M. Booming markets for Moroccan argan oil appear to benefit some rural households while threatening the endemic argan forest. *Proc Natl Acad Sci*. 2011, 108,13963–13968.

4. Msanda, F. ; El Aboudi, A.; Peltier, J.P. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Cah. Agric.* 2005, 14, 357–364.

5. Lefhaili, A. FAO Forest Resources Assessment: Morocco Country Report.Rome: FAO. 2010.

6. Al-Menaie, H.S.; Bhat, N.R.; El-Nil, M.A.; Al-Dosery, S.M.; Al-Shatti, A.A.; Gamalin, P.; Suresh, N. Seed germination of Argan (*Argania spinosa L.). Am.-Eurasian J. Sci. Res*. 2007, 2, 1–4.

7. Falasca, S.; Pitta-Alvarez, S.I.; Ulberich, A.C. The Potential Growing Areas for *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) in Argentinean Drylands. *Int J Agro*n. 2018.

8. Martínez-Gómez, P.; Correa, D.; Sánchez-Blanco, M.J.; Majourhat, K.; Rubio, M.; Martínez-García, P.J.; Posibilidades del cultivo del argán [*Argania spinosa* (L.) Skeels] en el Sureste español. *Rev Fruticul.* 2018, 66,26-41.

9. Mazri, M.A.; Koufan, M.; Moussafir, S.; Essatte, A.; Belkoura, I. Recent advances in argan propagation: A review. *Trees* 2022, in press.

10. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Argan Oil, the 35-years-of-research Product. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2014, 116, 1316–1321.

11. Elame, F.; Erraoui, E.; Lionboui, H. Economic Analysis of The "Argan" Sector In Morocco. *REMSES, ISSN*: 2489-2068 2021,6,3.

12. Oumahmoud, M.; Alouani, M.; Elame, F.; Tahiri, A.; Bouharroud, R.; Qessaoui, R.; El Boukhari, A.; Mimouni, A.; Koufan, M. Effect of Shading, Substrate, and Container Size on *Argania spinosa* Growth and Cost–Benefit Analysis. *Agronomy* 2023, 13, 2451.

13. Larcher, F.; Scariot, V. Assessment of partial peat substitutes for the production of *Camellia japonica. HortScience* 2009, 44, 312–316.

Amélioration de la micropropagation de l'arganier par germination *in vitro*, microbouturage et microgreffage

Radi Hassna [1,2,*], Koufan Meriyem [1], Belkoura Ilham [3], Naciri Rachida [4], Oukarroum Abdallah [4], El Gharous Mohamed [4], Koussa Tayeb [2], Mazri Mouaad Amine [1]

[1] *Unité de Recherche Agro-Biotechnologie, Centre Régional de la Recherche Agrono-mique de Marrakech, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc.*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie Végétale, Ecologie et Valorisation des Ecosystèmes, CNRST-URL10, Faculté des Sciences, Université Chouaib Doukkali, 24000 El Jadida, Maroc.*

[3] *École Nationale d'Agriculture de Meknès, BP S/40, 50001 Meknes, Maroc.*

[4] *Université Polytechnique Mohammed VI (UM6P), Hay Moulay Rachid, 43150 Benguerir, Maroc.*

** hassna98radi@gmail.com*

Mots clés
Argania spinosa (L.) Skeel ; germination in vitro ; microbouturage ; microgreffage.

RÉSUMÉ

Les techniques conventionnelles de la multiplication de l'arganier présentent plusieurs limitations. Il est donc impératif de rechercher des protocoles de multiplication plus efficaces. La culture *in vitro* émerge ainsi comme une alternative prometteuse pour favoriser la propagation de cette espèce précieuse. Dans la présente étude, trois techniques de micropropagation ont été évaluées : la germination *in vitro*, le microbouturage et le microgreffage. Pour la germination in vitro, des taux importants de germination variant en fonction du génotype ont été enregistrés, allant de 86,21% à 100%. Quant au microbouturage, quatre essais ont été réalisés en utilisant 3 génotypes, AP1, AP2 et AG pour évaluer certains facteurs, tels que le génotype, la température de stockage et la composition du milieu de culture sur le taux de débourrement et le taux d'enracinement des pousses. Des taux de débourrement importants ont été obtenus (100% et 72,73% respectivement chez AP1 et AG). Le génotype et la composition minérale et hormonale du milieu ont un effet significatif sur le taux de débourrement. Il s'est avéré également que le froid favorise le débourrement quel que soit le génotype. L'utilisation de GA3 à une concentration de 0,5mg/l améliore considérablement le taux de débourrement chez AP1 et AG. Les résultats obtenus en utilisant la technique du microgreffage ont montré que l'addition de GA3 favorise le débourrement chez les greffons et le développement des nouvelles pousses. Ces essais ont permis d'avoir une quantité importante de vitroplants d'arganier pour l'acclimatation et la transplantation au champ, ainsi que des essais ultérieurs sur la mycorhization *in vitro* de cette espèce.

Keywords
Argania spinosa (L.) Skeels; in vitro germination; microcutting; micro-grafting.

ABSTRACT

Improvement of argan tree micropropagation by in vitro germination, microcutting and micrografting

Argan is an agroforestry species generally recalcitrant to conventional methods of propagation. Today, it is necessary to explore for more efficient propagation methods. Plant tissue culture is a promising method for the proliferation of this valuable species. The purpose of this study was to evaluate argan responses to three micropropagation techniques: in vitro seed germination, microcutting, and micrografting. In vitro germination rates varied depending on genotype and ranged from 86.21% to 100%. For microcutting, four experiments were conducted with three genotypes, AP1, AP2, and AG, to assess the effects of genotype, storage temperature, and culture medium composition on bud break and shoot rooting rates. Bud break rate (72.73-100%) was significantly influenced by the genotype, as well as the mineral and hormonal composition of

the culture medium. It was also revealed that cold treatment promoted bud break, regardless of genotype. The use of GA3 at 0.5 mg/l significantly increased bud break in AP1 and AG. The findings obtained using the micrografting technique revealed that GA3 promoted bud break in grafts and the growth of new shoots. These experiments allowed us to produce a large number of argan vitroplants for field acclimatization and transplantation, as well as for subsequent experiments on in vitro mycorrhization.

INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* L. skeels) est une espèce agroforestière endémique au centre-ouest du Maroc. C'est la seule représentante de la famille des sapotacées [1,2]. Elle pousse dans les régions arides et semi-arides où elle occupe une superficie de 952.200 ha [3]. Cet arbre à usages multiples, joue des rôles indiscutables au niveau écologique et socio-économique. Au niveau écologique, l'arganier assure une protection des sols contre l'érosion et la désertification, une conservation de la biodiversité ainsi qu'une amélioration de la qualité de l'eau. Sur le plan socio-économique, l'arganier contribue à la diminution du taux de la pauvreté par la création d'opportunités de travail pour la population locale surtout dans le secteur de la production de l'huile d'argan [4]. Le grand intérêt attribué à cette espèce a permis de considérer l'écosystème d'argan comme réserve biosphère d'arganier par l'UNESCO en 1998, dans l'objet de protéger cette espèce, ses fonctions forestières ainsi d'améliorer les revenues de la population locale [5].

En dépit de ses intérêts écologiques et socio-économiques, les arganeraies subissent une dégradation accélérée et incessante à cause de divers facteurs biotiques et abiotiques tels que la surexploitation, le surpâturage, ainsi que les changements climatiques induisant une faible régénération naturelle [1,6,7]. Donc, des systèmes efficients de multiplication sont nécessaires pour la réhabilitation et la préservation des écosystèmes d'arganier [6]. La multiplication d'arganier est faite pendant des années par graines, mais cette technique n'assure pas une production conforme à cause de l'hétérozygotie de l'arganier, ainsi que sa réussite dépend de plusieurs facteurs [4]. Le bouturage est une autre méthode de multiplication plus efficace et moins coûteuse, sauf qu'elle est entravée par un mauvais enracinement [8]. Le greffage est une technique intéressante mais qui a connu des limitations par certains facteurs tels que l'incompatibilité de la connexion greffon/porte greffe. D'où l'importance de développer des techniques de la culture in vitro (CIV). Cette voie de micropropagation est une alternative prometteuse qui permet de produire rapidement et en masse les plantes d'arganier qui sont sains et conformes, pour objectif la régénération et la restauration rapide des arganeraies [4,9].

L'objectif de cette étude et de chercher les conditions propices pour une multiplication rapide de l'arganier par trois techniques in vitro à savoir : la germination in vitro, le microbouturage et le microgreffage. Ceci permettra de produire une quantité importante de vitroplants pour la transplantation au champ ainsi que des essais ultérieurs sur la mycorhization *in vitro* de cette espèce.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Germination in vitro

La germination des graines d'arganier a été effectuée in vitro selon la procédure établie dans nos laboratoires [4]. Pour les génotypes récalcitrants à cette technique, d'autres essais ont été menés afin d'améliorer leur taux de germination.

• Essai N°1 pour les génotypes G27, G41, G84.

Au cours de ce premier essai, nous avons évalué l'effet du milieu MS/2 [11] additionné de 0,5 mg/l de GA3 sur la germination in vitro des génotypes G27, G41 et G84.

• Essais N°2 pour les génotypes G11, G27, G41, G48, G84 :

Deux autres milieux de culture ont été testés toujours dans l'objectif d'améliorer le taux de germination des génotypes G11, G27, G41, G48 et G84. Dans cet essai, nous avons ajouté au milieu précédent (additionné de GA3) 0,5 mg/l d'AIB et une des 2 cytokinines suivantes : BAP et zéatine puis nous avons évalué l'effet de ces deux combinaisons sur le taux de germination in vitro des graines :

- Milieu 1 : milieu MS/2 additionné de 0,5 mg/l de GA3, 0,5 mg/l d'AIB et 1 mg/l de BAP ;

- Milieu 2 : milieu MS/2 additionné de 0,5 mg/l de GA3, 0,5 mg/l d'AIB et 1 mg/l de zéatine.

2.2. Microbouturage

Des rameaux ont été prélevés à partir de trois génotypes d'arganier (AP1, AP2 et AG). Les rameaux ont été désinfectés selon le protocole suivant : défeuillage et brossage des rameaux avec du Tween 20 pendant 5 min suivi d'un rinçage à l'eau de robinet. Puis désinfection sous la hotte à flux laminaire dans

de l'eau de Javel diluée de moitié pendant 15 minutes suivi de 3 rinçages successifs de 10 minutes chacun. Les rameaux sont ensuite débités en microboutures de 2-3 cm de taille qui sont d'abord mises en culture pendant un mois sur un milieu simple constitué uniquement d'eau distillée additionnée de 9 g/L d'agar. Les microboutures sont par la suite transférées sur un nouveau milieu pour le débourrement des bourgeons axillaires et leur croissance en pousses feuillées. Pour cela, trois facteurs (i.e. génotype, composition du milieu de culture et température du stockage) ont été considérés.

• Essai N°1

Sur la base de la bibliographie, 3 milieux ont été testés :

- Milieu 1 : MS + 2 mg/l de BAP + 0,5 mg/l de Kinétine + 1mg/l d'AIA

- Milieu 2 : MS + 1 mg/l de BAP

- Milieu 3 : MS + 0,7 mg/l d'AIB

• Essai 2 :

L'effet de la composition minérale du milieu de culture et de la concentration de la BAP a été évalué chez les trois génotypes AP1, AP2 et AG :

-Milieu 1 : MS additionné de 1 mg de charbon actif et de 3 concentrations de BAP (1, 2 et 3 mg/l) ;

-Milieu 2 : MS/2 additionné de 1 mg de charbon actif et de 3 concentrations de BAP (1, 2 et 3 mg/l).

• Essai 3 :

Au cours de cet essai, l'effet du stockage du matériel végétal a été évalué. Les rameaux des trois génotypes (AP1, AP2 et AG) ont été divisés en deux lots, l'un a été stocké à T° ambiante alors que l'autre a été maintenu dans le réfrigérateur à 4°C. Le milieu de multiplication utilisé est MS/2 additionné de GA3 (0 mg/l (témoin), 0,5 mg/l et 1 mg/l).

• Essai 4 : Effet des substances de croissance sur l'enracinement des microboutures d'arganier

Dans cette partie, nous avons utilisé les pousses issues des microboutures de deux génotypes de l'arganier maintenues in vitro. Sous la hotte à flux laminaire, des pousses feuillées de 2 cm de long, développées à partir des bourgeons axillaires présents sur les microboutures, ont été mises en culture dans des tubes à essai pendant 3 mois sur le milieu MS/2 additionné de 1 g/L de charbon actif et de différentes combinaisons de substances de croissance pour l'induction des racines. Quatre (4) traitements ont été testés :

• MB1: Milieu MS/2 avec 1 mg/l d'AIB et 0.5 mg/l de BAP,

• MB2: Milieu MS/2 avec 2 mg/l d'AIB et 0.5 mg/l de BAP,

• MB3: Milieu MS/2 avec 1 mg/l d'ANA et 0.5 mg/l de BAP,

• MB4: Milieu MS/2 avec 2 mg/l d'ANA et 0.5 mg/l de BAP.

Un lot de 4 pousses est considéré comme une répétition. Pour chaque traitement, nous avons effectué 5 répétions. Les cultures ont été placées dans la chambre de culture sous une température de 25 ± 1°C et une photopériode de 16h/8. Des transferts mensuels de ces pousses feuillées sur des milieux frais ont été effectués. A la fin de la période d'essai, nous avons évalué :

a) le taux d'enracinement direct ou à travers un cal,

b) le taux de nécrose et

c) le taux de callogenèse à la base des pousses feuillées sans néoformation racinaire.

2.3. Microgreffage

Dans cette partie, nous nous sommes basés sur les résultats déjà publiés par notre équipe [4]. Ainsi, des graines de l'arganier du génotype G27 ont été germées sur l'eau gélosée. Après le premier mois de culture, les germinations ont été transférées sur le milieu MS/2 additionné de 1 mg/l de GA3 et 1 mg/l de BAP. Les plantules issues de germination ont été utilisées comme porte-greffes.

Pour les greffons, nous avons procédés à un microbouturage des génotypes G41 et G84. Ainsi, des boutures d'arganier de ces génotypes ont été prélevés, désinfectées selon la procédure publiée par [4] puis cultivées sur le milieu MS/2 dépourvu d'hormones pendant un mois. Par la suite, les microboutures ont été transférées sur le milieu MS/2 additionné de 1 mg/L de GA3 [10]. Après 3 mois de culture, nous avons procédé au prélèvement des pousses axillaires qui ont été utilisées comme greffon. Le greffage a été réalisé in vitro puis les vitroplants greffés ont été cultivés sur le milieu MS/2 additionné de 0,1 mg/l de GA3 [4]. Par la suite, nous avons évalué l'effet de 4 milieux de cultures avec différentes concentrations de GA3 sur le développement des greffons, la formation de nouvelles pousses après microgreffage et le taux de nécrose. Il s'agit des milieux :

• MG 1 : Milieu MS/2,

• MG 2 : Milieu MS/2 + 0,1 mg/L de GA3,

• MG 3 : Milieu MS/2 + 1 mg/L de GA3,

• MG 4 : Milieu MS/2 + 2 mg/L de GA3.

Les cultures ont été placées dans la chambre de culture pendant 3 mois sous une température de 25 ± 1°C et une photopériode est de 16h/8. Des repiquages mensuels sur des milieux frais ont été effectués.

Pour cet essai, nous avons considéré 3 plantes comme

unité expérimentale (une répétition). Pour chaque traitement, nous avons effectué 10 répétitions.

Après 3 mois de culture, les observations effectuées ont porté sur :

a) le taux de développement du greffon,

b) le taux de débourrement de nouveaux bourgeons axillaires et

c) le taux de nécrose.

2.4. Analyses statistiques

Tous les essais ont été réalisés en DCA. Les données ont été soumises à une ANOVA au seuil de signification de 5 %. Toutes les analyses ont été effectuées par le logiciel SPSS. Les différences significatives ont été déterminées par le test SNK. Avant l'analyse, les pourcentages ont été normalisés par transformation Arcsinus.

RÉSULTATS

3.1. Germination in vitro

Les résultats du premier essai ont montré des taux de germination de 45,74%, 52,22% et 56,80 chez G41, G84 et G27, respectivement. Afin d'améliorer ces taux, nous avons ef-fectué le deuxième essai.

D'après les résultats du deuxième essai, les génotypes G11, G84 et G27 ont montré un taux de germination de 100% sur les deux milieux testés. Pour le génotype G48, les taux de germination étaient de 86,21% (zéatine) et de 96,77% (BAP). Pour le génotype G41 ce taux a été de 95,24% (zéatine) et 96,43% (BAP).

En définitive, le deuxième essai que nous avons effectué a permis un excellent taux de germinations pour tous les génotypes.

3.2. Microbouturage

Les résultats du premier essai ont montré :

- Des taux de désinfection de 69,79% chez AG et 80,21% chez AP1,
- Le milieu 1 a donné le meilleur taux de débourrement avec 100% chez AP1 et 72,73% chez AG.

Les résultats du deuxième essai ont montré :

- Un taux de désinfection de 80 % chez AP1, 91% chez AG et 93% chez AP2,
- Le meilleur taux de débourrement a été enregistré chez le génotype AP2 sur le milieu MS additionné de 1 mg/l de BAP ainsi que chez AP1 sur le milieu MS/2 additionné de 2 mg/l de BAP, alors que chez AG, le taux le plus élevé a été enregistré sur le milieu MS/2 additionné de 3 mg/l de BAP.

Il s'est avéré d'après les résultats de l'essai n° 3 que le stockage à froid favorise le débourrement des trois génotypes et que la concentration de 0,5 mg/l de GA3 améliore le taux de débourrement chez les deux génotypes AP1 et AG, tandis que chez AP2, le meilleur taux de débourrement des bourgeons axillaires a été observé après l'utilisation de 1 mg/l de GA3.

Les résultats de l'essai n° 4 ont confirmé la difficulté de l'enracinement des pousses feuillées de l'arganier. En effet, les taux d'enracinement ont varié de 0 à 40%. Les analyses statistiques ont montré des différences significatives en fonction du génotype et des substances de croissance. Concernant les taux de callogenèse, ils ont également varié en fonction de l'auxine utilisée. L'utilisation de l'ANA a induit une callogenèse allant de 25 à 40%.

3.3. Microgreffage

Même si les plantules microgreffées ont toutes formé une soudure, certains greffons se sont nécrosés après quelques semaines de culture. Les milieux additionnés de 1 et 2 mg/L de GA3 ont enregistré le plus grand taux de débourrement des nœuds situés sur le greffon (100%), sans différence significative avec le milieu contenant 0,1 mg/L de GA3 (86,4-89,9%). Le milieu MG1, dépourvu d'hormone de croissance, a montré les taux les plus faibles de débourrement (69,8-79,8%) et le taux le plus élevé de nécrose (19,8-29,7%). Par ailleurs, nous avons remarqué que tous les milieux additionnés de GA3 ont favorisé le développement de nouvelles pousses à partir du greffon, avec des taux qui varie entre 16,5 et 23,1%.

CONCLUSIONS

Les techniques in vitro s'avèrent être un outil efficace et rapide pour multiplication en masse de l'arganier, ce qui contribuera à la réhabilitation de l'arganeraie nationale et satisfera la demande croissante en matière de plants

Sur la base de nos anciens travaux sur la micropropagation de l'arganier ainsi que ceux de la présente étude, nous avons pu avoir une quantité importante de vitroplants d'arganier issus de trois techniques distinctes de micropropagation. Ces plantules seront utilisées dans nos recherches ultérieures sur la mycorhization in vitro de cette espèce.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Mazri, M.A.; Koufan, M.; Moussafir, S.; Essate, A.; Belkoura, I. Recent advances in Argan propagation : a review. Trees 2022, 36, 1455-1476

[2] Mechqoq, H.; El Yaagoubi, M.; El Hamdaoui, A.; Momchilova, S.; Guedes da Silva Almeida, J.R.; Msanda, F.; El Aouad, N. Ethnobotany, phytochemistry and biological properties of Argan tree (*Argania spinosa*

(L.) Skeels) (Sapotaceae) - A review. J Ethnopharmacol 2021, 281, 1-19.

[3] Aabd, N. A.; Bouharroud, R.; Tahiri, A.; Wifaya, A.; Mimouni, A.; El Mousadik, A. Genetic Diversity and Breeding of Argan-Tree (*Argania spinosa* L. Skeels). Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crop. In Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crops; 1st ed.; Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., Johnson, D. V., Eds.; Springer Cham, 2019; Volume 4; pp. 31-56

[4] Koufan, M.; Mazri, M.A.; Essatte, A.; Moussafir, S.; Belkoura. I.; El Rhaffari, L.; Toufik, I. A novel regeneration system through micrografting for *Argania spinosa* (L.) Skeels, and confirmation of successful rootstock-scion union by histological analysis. Plant Cell Tiss Organ Cult 2020, 142, 369–378

[5] Moukrim, S.; Lahssini, S.; Rhazi, M.; Alaoui, H. M.; Benabou, A.; Wahby, I.; El Madihi, M.; Arahou, M.; Rhazi, L. Climate change impacts on potential distribution of multipurpose agro-forestry species: *Argania spinosa* (L.) Skeels as case study. Agro-forest Syst 2018, 93, 1209-1219

[6] Amghar, I.; Diria, G.; Boumlik, I.; Gaboun, F.; Iraqi, D.; Labhilili, M.; Mentag, R.; Meziani, R.; Mazri, M.A.; Ibriz, M.; Abdel-wahd, R. An efficient regeneration pathway through adventitious organogenesis for the endangered *Argania spinosa* (L.) Skeels. Vegetos (2021), 34, 355–367

[7] Amghar, I.; Ibriz, M.; Ibrahimi, M.; Boudra, A.; Gaboun, F.; Meziani, R.; Iraqi, D.; Mazri, M.A.; Diria, G.; Abdelwahd, R. In Vitro Root Induction from Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) Adventitious Shoots: Influence of Ammonium Nitrate, Auxins, Silver Nitrate and Putrescine, and Evaluation of Plantlet Acclimatization. Plants 2021, 10, 1-15

[8] Benbya, A.; Alaoui, M. M.; Gaboun, F.; Delporte, F.; Chlyah, O.; Cherkaoui, S. Vegetative propagation of *Argania spinosa* (L.) Skeels cuttings: Effects of auxins and genotype. Advances in Horticultural Science 2019, 33, 519–528.

[9] Metougui, M.L.; Mokhtari, M.; Machati, I. ; Azeroua, I.; Benlhabib, O. Multiplication végétative de l'arganier (*Argania spinosa* L. skeels) par bouturage et par greffage. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires 2017, 5, 428-436

[10] Koufan, M.; Belkoura, I.; Alaoui, T. The multiplication of the argane tree by microcutting (*Argania spinosa* L. Skeels). Eur J Biotechnol Biosci 2018, 6, 47–52.

[11] Murashige, T.; Skoog, F.A. revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia planta-rum 1962, 15, 473-497.

Enhancing phosphate nutrition and growth in argan tree seedlings through indigenous arbuscular mycorrhizal consortium

Merieme Soufiani [1*], Abdelghani Chakhchar [1,2], Salama Aissam [1], Abderrahim Ferradous [3], Allal Douira [4], Abdelilah Meddich [1,5], and Cherkaoui El Modafar [1]

[1] *Centre d'Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche labellisée CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05), Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

[2] *Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bio-ressources, Environnement et Ma-tériaux (LIRBEM), Département de SVT, Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

[3] *Centre Régional de la Recherche Forestière Marrakech, Marrakech, Morocco ;*

[4] *Laboratoire des Productions Végétales, Animales et Agro-industrie, Equipe de Bota-nique, Biotechnologie et Protection des Plantes, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Morocco ;*

[5] *Laboratoire d'Agroalimentaire, Biotechnologies et Valorisation des Bioressources Vé-gétales, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

[*] *soufiani.merieme@gmail.com*

Keywords
Argania spinosa (L.) Skeels; in vitro germination; microcutting; micro-grafting.

ABSTRACT

Morocco has decided to launch a program to create additional argan or-chards to meet the high national and international demand for argan products, which is a species so unique in the world threatened by the global climate change effect. The current study aims to assess the efficiency of a multispecies consortium of autochthonous mycorrhizal fungi 'Rhizargan' isolated from 15 Moroccan argan soils in promoting mineral nutrition uptake, phosphatase activities, and plant growth of argan trees. The research was carried out on two contrasting provenances of argan (Admine and Lakhsas). For twenty-five months, the performance of argan seedlings inoculated with Rhizargan consortium was monitored and compared to those inoculated with a pure commercialized strain of *Rhizophagus irregularis*. The results showed that 'Rhizargan consortium' in-oculation improved plant growth, mineral nutrition, and phosphatase activities more than R. *irregularis* inoculation. Inoculated Lakhsas and Admine seedlings with Rhizargan consortium showed an increase of 19% and 26% in shoot height, and 27% and 14% in alkaline phosphatase respectively, as compared to R. *irregularis*. Our findings can significantly benefit the arganiculture program, as an ecofriendly strategy, by using Rhizargan consortium as biofertilizers adapted to a wider range of argan forest' pedoclimatic conditions.

Mots clés
champignons mycorhiziens arbusculaires ; arganier ; promotion de la croissance ; nutrition minérale ; activités phosphatases.

RÉSUMÉ

Amélioration de la nutrition en phosphate et de la croissance des plants d'arganier grâce à un consortium mycorhizien arbusculaire indigène

Le Maroc lance un vaste programme de réhabilitation de l'arganeraie et de l'extension de la culture de l'arganier en conduite moderne (Arganiculture) pour répondre à la forte demande nationale et internationale en produits d'argan. L'objectif de notre travail consiste à évaluer l'efficience en matière de promotion de la croissance, de la nutrition minérale et de l'activité des phosphatases de l'arganier par un consortium multi-espèces de champignons mycorhiziens autochtones « Rhizargan » isolés de 15 écotopes de l'arganeraie marocaine. Les études ont été menées sur deux provenances contrastées de l'arganier (Admine) et (Lakhsas). Pendant vingt-cinq mois, les performances des plantes d'arganier

inoculées avec le consortium Rhizargan ont été suivies et comparées à celles des plantes inoculées avec une souche pure commercialisée de Rhizophagus irregularis. Les résultats ont montré que l'inoculation par le consortium Rhizargan améliorait davantage la croissance des plantes, la nutrition minérale et l'activité des phosphatases que l'inoculation par R. irregularis. Les plantules de Lakhsas et d'Admine inoculées avec le consortium Rhizargan ont montré une augmentation de 19% et 26% de la hauteur des pousses, et 27% et 14% de la phosphatase alcaline respectivement, par rapport à R. irregularis. Nos résultats peuvent être intégrer de manière significative dans le programme d'arganiculture, en tant que stratégie écologique, en utilisant le consortium Rhizargan comme biofertilisants adaptés à une gamme plus large de conditions pédoclimatiques de la forêt d'arganier.

INTRODUCTION

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can form symbiotic associations with 80-90% of plants including vascular plant species and agricultural plants [1,2]. The fungi mycelial network extends from plant roots into the soil environment and promotes nutrient uptake that would otherwise be unavailable. In addition, it improves the soil quality by influencing its structure and texture encouraging plant development in both normal and stressful conditions [2, 3].

The argan tree, [*Argania spinosa* (L.) Skeels], represent the only species of the genus Argania that belongs to the Sapotaceae family. Since 1998, the argan tree has been designated as a biosphere reserve, and the United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization (UNESCO) has classified it as a 'protected species'. The argan tree is a multipurpose tree; each part or product of the tree (e.g., wood, leaves, fruits, and oil) is usable and can serve as a source of income or food for the user. Despite its ecological and socioeconomic importance, the argan forest area is expected to be greatly threatened by the effect of global climate change in the future [4]. Therefore, Morocco decides to launch a program to create additional argan orchards to meet the intense national and international demand while also fighting against the extinction of this species so unique in the world [4, 5]. This program's success is dependent on the cultivation of argan trees in greenhouses and fields characterized by a good tolerance to various biotic and abiotic constraints.

In such context, the purpose of this study was to survey the efficiency of a multispecies consortium of autochthonous mycorrhizal fungus 'Rhizargan consortium', in promoting argan tree development, mineral nutrition, and phosphatase activities, compared with a single pure commercialized strain of *Rhizophagus irregularis*. The results will provide a new pathway to apply this consortium into arganiculture.

MATERIAL AND METHODS

2.1. Mycorrhizal inoculum preparation

Two types of AMF inoculants were used in our study. A pure strain of *Rhizophagus iregularis*, and a multi-species consortium of autochthonous mycorrhizal fungi 'Rhizargan consortium'. The latter is the result of a mixture of soils collected from 15 different locations in the argan forest [5].

2.2. Plant material and experimental design

Samplings of *A. spinosa* seeds were collected from two regions of argan forest in southwest Morocco. These regions are markedly different in their climatic, geographical, and hydrographic features [5]. We selected two provenances from these contrasting regions: Admine, a coastal provenance, and Lakhsas, an inland provenance.

Plant mycorrhization was carried out during transplantation by adding 10 g of mycor-rhizal *Zea mays* L. roots and soil infested with Rhizargan consortium. Plants of the two contrasting provenances were grown in a greenhouse at 25 ± 3 °C, 330 m−2s−1 light intensity, and 60% relative humidity.

2.3. Mycorrhizal colonization and plant growth measurement

After 13 and 25 months of mycorrhization, we determined plant height, number of twigs, and dry shoot and root biomass. To estimate root mycorrhizal colonization, fresh roots (60 fragments) were cut into 1-cm1 cm fragments, washed with distilled water, and cleaned in 10% KOH at 90 °C for 1 h. The segments were acidified with 2% hydrochloric acid for 15 min and stained with 0.05% (w/v), trypan blue for 20 min at 90 °C according to [6], and then microscopically observed. Mycorrhizal parameters (frequency F % and intensity I %) were evaluated according to [7].

2.4. Nutrient content

Samples of leaves were ground to achieve a similar

particle size as the standards, and then put in sample holders on the sample tray. X-ray fluorescence was performed using an Epsilon 4 Benchtop XRF-EDS (Energy Dispersive X-ray fluorescence spectrometry) An-alyzer carried out. The following mineral elements were tested: phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sodium (Na).

2.5. Biological analysis

Acid and alkaline phosphatase activities were measured as described by [8]. An aliquot of 1 g soil (or root for acid phosphatase) was incubated with 1 ml of 15 mM p-Nitrophenyl Phosphate (pNPP) (v/w) and 4 ml of modified universal buffer (pH 6.5 for acid phosphatase and pH 11 for alkaline phosphatase) for 1 h at 37°C. The reaction was stopped by adding a mixture of 1 ml CaCl2 (0.5 M) and 4 ml NaOH (0.5 M), the samples were filtered and the concentration of p-Nitrophenol (pNP) released was determined at 400 nm. Enzyme activity was expressed as µg of pNP produced g−1 soil h−1. Each assay was replicated five times. All extraction steps were performed at 4°C.

2.6. Statistical analysis

The results obtained were processed by analysis of variance (ANOVA) using the SPSS software package version 25.0. Post hoc comparisons of the mean values of measured parameters between the different treatments were performed at $p < 0.05$ threshold using Tukey's Honestly-Significant-Difference (HSD) test.

RESULTS

3.1. Frequency and intensity of mycorrhization

Root colonization frequency and intensity percentages were significantly different ($p < 0.01$) between mycorrhizal and non-mycorrhizal argan seedlings, either inoculated with the indigenous consortium or the pure strain. Twenty-five months after inoculation, a high mycorrhizal frequency percentage with the 'Rhizargan consortium' and R. irreg-ularis was observed in Lakhsas provenance with values of 94.66% and 89.33%, respectively (Figure 1/A). The highest mycorrhizal intensity was also recorded in Lakhsas provenance, with 44.58 for 'Rhizargan consortium' and 36.34% for *R. irregularis* (Figure 1/B).

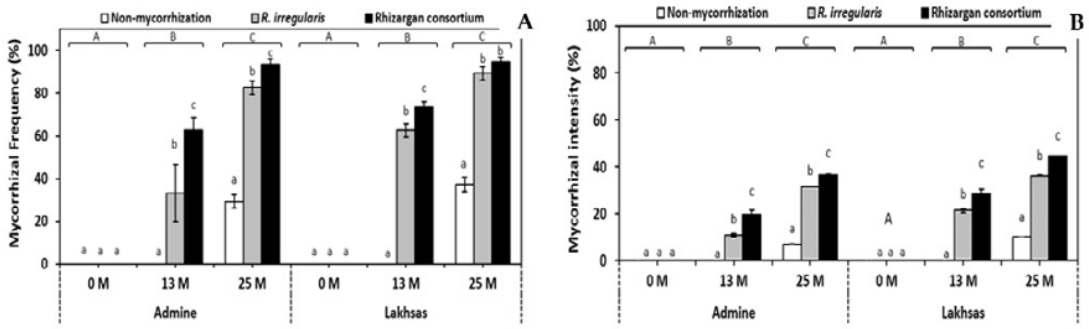


Figure 1. Mycorrhizal frequency (A), and mycorrhizal intensity (B) of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

3.2. Plant growth

The growth indices of argan seedlings, such as shoot height, twig number, and dry biomass, were studied at 13 and 25 months following inoculation with R. irregularis or 'Rhizargan consortium', as shown in Figures 2 to 4. Compared to the control, all growth metrics showed a significant progressive increase, reaching maximum values after 25 months of mycorrhization. 'Rhizargan consortium' inoculation significantly improved the growth parameters studied compared to R. irregularis inoculation ($p \leq 0.05$). However, there was no significant difference between the both provenances.

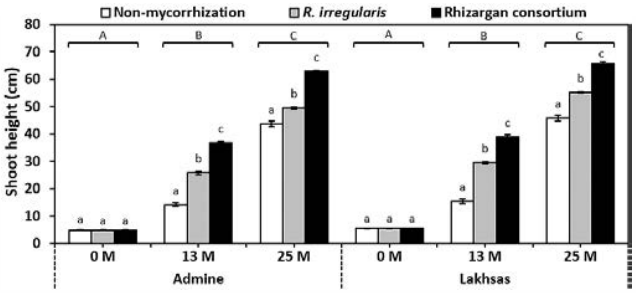


Figure 2. Shoot height of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

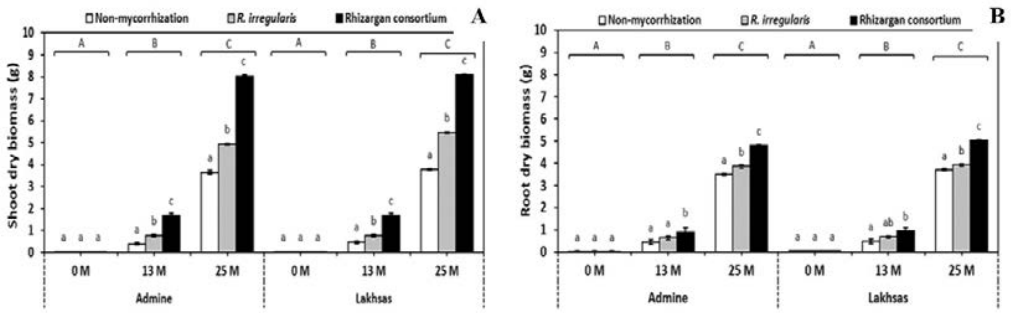


Figure 3. Shoot (A) and root (B) dry biomass of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seed-lings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two con-trasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

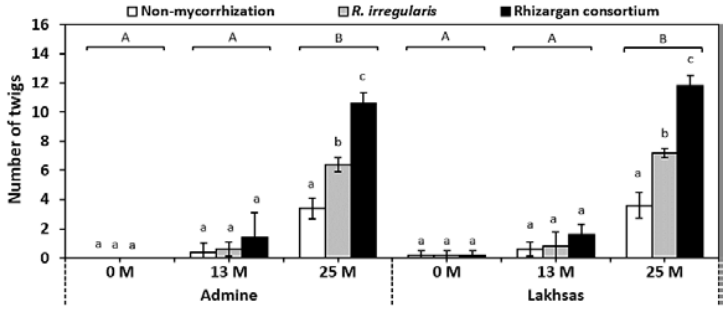


Figure 4. Number of twigs of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

3.3. Mineral content

Determination of the main nutrients in leaves of argan seedlings revealed that 'Rhizargan consortium' inoculation increased K, Ca, Mg, Na, and P compared to R. irregularis and the control (Table 1). The concentration change of the five nutrients depends on the type of inoculum, time, and provenance.

Regarding the mineral elements in the leaves of argan seedlings (Table 1), it is noted that the contents of P, K, Ca, and Na increase after mycorrhization, reaching maximum values after 25 months of mycorrhization. In both contrasting provenances, the highest ions concentration were recorded in inoculated argan seedlings by 'Rhizargan consortium'.

Table 1. Leaves mineral content (%) of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings in-oculated with a pure strain of R. irregularis or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months.

Table 1. Leaves mineral content (%) of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings in-oculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months.

Provenance	Mycorrhization test	Time (month)	P	K	Ca	Mg	Na
Admine	Non-mycorrhization	0	0.00 0[a]	1.48±0.007[a]	2,22±0,035[a]	1,03 0,03[b]	1,50 0,011[a]
		13	0.09–0.0003[c]	2.61+0.006[c]	5,57+0,014[d]	2.80–0.01[c]	4,72–0,025[b]
		25	0,30–0,0003[e]	3,29±0,004[e]	2,66±0,011[b]	0,92–0,006[a]	5,64–0,008[c]
	R. irregularis	0	0,00–0,00[a]	1,48±0,026[a]	2,22±0,075[a]	1,03–0,022[a]	1,50–0,037[a]
		13	0.12–0.0003[c]	2.62+0.022[d]	6,27+0[b]	2.97–0.012[c]	7.62–0.021[b]
		25	0.58–0.0003[e]	4,32+1,31[f]	7,06+0,021[e]	2.81–0.006[c]	8.45–0.052[c]
	Rhizargan consortium	0	0,00–0,00[a]	1,48±0,026[a]	2,22±0,07[a]	1,03–0,022[a]	1,50–0,037[a]
		13	0.66–0.0003[d]	2,74+0,042[b]	8,63+0,013[b]	3.56–0.01[b]	8.64–0.032[b]
		25	0,69±0,0003[d]	11,72±0,041[e]	11,68±0,095[e]	3,60±0,011[c]	24,75±0,043[e]
Lakhsas	Non-mycorrhization	0	0,01–0,01[a]	1,67±0,01[a]	2,63±0,05[a]	1,35–0,01[b]	1,75–0,02[a]
		13	0.11–0[b]	2.26+0.03[b]	6,94+0,03[c]	3.14–0[c]	4,86–0,04[b]
		25	0,37–0[c]	3,37±0[c]	6,04±0,02[c]	0,98–0[a]	5,88–0[c]
	R. irregularis	0	0.03–0.003[a]	1,66+0.036[a]	2,62+0,021[a]	1,34–0,011[a]	1,74–0,016[a]
		13	0.19–0[b]	3.02+0.007[c]	7,07+0,013[b]	3.37–0.033[c]	7,76–0,036[b]
		25	0,59–0[c]	6,51±0,031[e]	8,22±0,024[e]	3,19–0,004[c]	9,93–0,017[c]
	Rhizargan consortium	0	0.03–0.003[a]	1,66±0.036[a]	2,62±0,021[a]	1,34–0,011[a]	1,74–0,016[a]
		13	0.66–0[d]	3,32+0,052[b]	8,67+0,079[b]	4.15–0.007[c]	9,31–0,024[b]
		25	0,71–0[e]	11,76±0,037[e]	11,83±0,012[e]	3,73–0,021[c]	24,93–0,038[e]

Note: Means ((n = 3) ± SD) within a column flanked by the same letter (a–c) are not significantly different at 5% (Tukey test).

3.4. Acid and alkaline phosphatase

Figures 5–7 illustrate the alkaline and acid phosphatase activity of argan seedlings 13 and 25 months after inoculation. Both enzymes gradually increased, reaching maximum levels after 25 months of mycorrhization. The monospecific inoculum *R. irregularis* and 'Rhizargan consortium' significantly

increased rhizospheric acid and alkaline phosphatase activities compared to the uninoculated treatment. However, 'Rhizargan consortium' showed better responses for the two types of rhizospheric phosphatase activity studied, showing higher levels than inoculation treatment by *R. irregularis*.

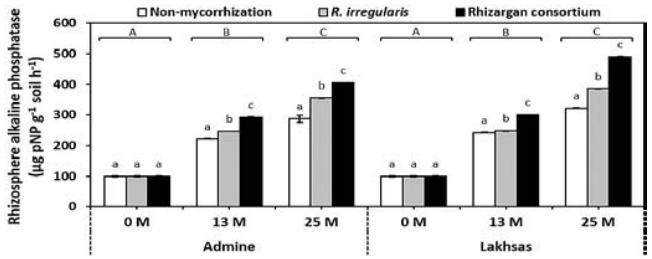


Figure 5. Rhizosphere alkaline phosphatase of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seed-lings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

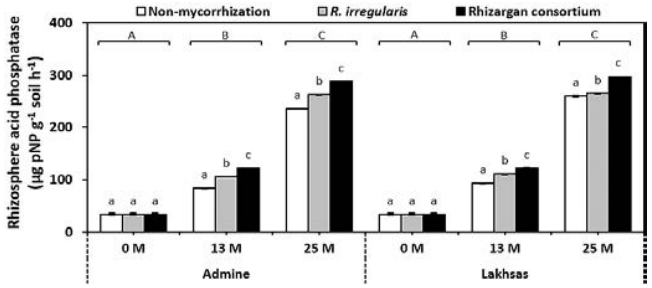


Figure 6. Rhizosphere acid phosphatase of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

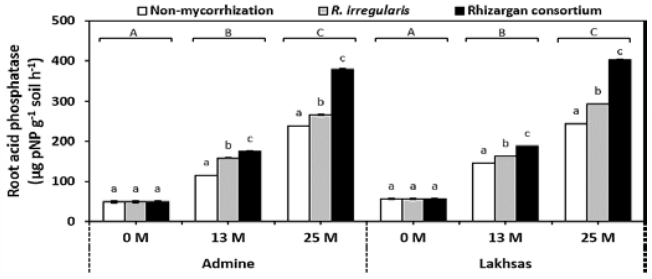


Figure 7. Root acid phosphatase of non-mycorrhizal and mycorrhizal argan seedlings inoculated with a pure strain of *R. irregularis* or with Rhizargan consortium in two contrasting provenances, Admine and Lakhsas, during 25 months (M).

DISCUSSION

Over the last decades, AMF have been implicated in boosting plant growth, photosynthesis, and nutrient acquisition [9,10]. In this study, the effect of two types of AMF inoculants (a pure strain of *R. irregularis* and a multispecies consortium of autochthonous mycorrhizal fungi 'Rhizargan consortium' was investigated on plant growth, nutrient uptake, and phosphatase activities in argan tree. AMF-inoculated argan seedlings showed higher shoot height, shoot and root dry biomass, and twig number than non-AMF seedlings. Both AMF inoculants also significantly increased hydromineral nutrition and stimulated phosphatase activity compared to the control. Similar to our findings, AMF inoculation significantly increased plant height, stem diameter, leaf number, leaf area, and biomass of walnuts [11]. Indeed, the growth stimulation is because the AMF extends the absorbing hyphal network beyond the nutrient-depleted zones of the rhizosphere, allowing access to a wider soil surface area. Because AMF hyphae are considerably thinner than roots, they may enter microscopic soil pores, absorb more nutrients, and improve apoplastic water flow [2,9]. Fungal hyphae can also expedite the decomposition process of soil organic matter [1]. AMF have shown the potential to regulate the root system architecture (growth and morphology) and improve nutrient absorption, particularly phosphorus, by extending root absorptive surface area, resulting in higher photosynthate production and consequently increased biomass accumulation [2, 12]. In the current investigation, we found that both types of AMF inocula improved nutrient absorption including P, K, Ca, Mg, and Na. These findings support recent findings that AMF colonization can improve nutrient absorption in various tree species, including peach [13], walnuts [11], olive tree [14], *Populus cathayana* [15], and *trifoliate orange* [16].

The secretion of enzymes such as phosphatases, phosphonatases, phytases, and lyases might be used to liberate organic and inorganic P from soil components for effective plant acquisition and usage [17]. Based on pH, phosphatases are classified as acid or alkaline phosphatase. The acid phosphatase activity predominates in acidic soils, whereas alkaline phosphatase activity predominates in alkaline soils. The activity of both enzymes rose considerably over time in the rhizosphere of mycorrhizal argan seedlings by 'Rhizargan consortium' when compared to those mycorrhized by the monospecific inoculum *(R. irregularis)* and non-mycorrhizal seedlings. Furthermore, the roots of argan seedlings produce a considerable quantity of acid phosphatase, comparable to that of the rhizosphere. Similar to our results, [18] reported that single and dual inoculation of AMF

increased soil acid and alkaline phosphatase activities, accompanied by higher root P content in white clover seedlings, compared to the uninoculated treatment. The mycorrhizal frequency and intensity of 'Rhizargan consortium' were significantly high compared to *R. irregularis*, which improved plant growth, mineral nutrition absorption, and phosphatase activity in argan seedlings inoculated by this fungal consortium. Multiple studies have found that plant responses to AMF colonization differ depending on the inoculum composition, with a mix of several mycorrhizal fungi species being more effective than a monospecific inoculum [2]. The inoculation of different *A. spinosa* prove-nances with native fungal complexes revealed significant improvement in their morphophysiological behavior under nursery conditions [5,19] and stressful conditions [20,21]. In this study, 'Rhizargan consortium' showed a bio-fertilizing potential by improving the growth, physiological, and biochemical features in both contrasting argan provenances Lakhsas and Admine. Our original indigenous consortium composed of AMF multi-species from several genera could provide flexibility, longevity, and con-siderable sustainability in terms of mycorrhizal activity throughout the vegetative cycle of the argan tree.

REFERENCES

[1] N. Begum., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., & Zhang, L. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 2019, 10, 1068.

[2] N. Diagne, M. Ngom, P. I. Djighaly, D. Fall, V. Hocher, and S. Svistoonoff, Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: importance in biotic and abiotic stressed regulation," *Diversity*, 2020, vol. 12, no. 10, pp. 1–25, , doi: 10.3390/d12100370.

[3]H. Lu, T. Wei, H. Lou, X. Shu, and Q. Chen, "A critical review on communication mechanism within plant-endophytic fungi interactions to cope with biotic and abiotic stresses," *J. Fungi*, 2021, vol. 7, no. 9, p. 719.

[4] A. Chakhchar, I. Ben Salah, Y. El Kharrassi, A. Filali-Maltouf, C. El Modafar, and M. Lamaoui, "Agro-Fruit-Forest Systems Based on Argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results," *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12.

[5] M. Soufiani, Aissam, S., Boutaj, H., Ferradous, A., Douira, A., Meddich, A., & El Modafar, C. "Effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal consortium on the growth and mineral nutrition of *Argania spinos*a (L .) skeels,". *Plant Biosystems*. 2022, doi: 10.1080/11263504.2022.2048280.

[6] J. M. Phillips and D. S. Hayman, "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection," *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 1970, vol. 55, no. 1, pp. 158-IN18.

[7] T. P. McGonigle, M. H. Miller, D. G. Evans, G. L. Fairchild, and J. A. Swan, "A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi," *New Phytol.*, 1990, vol. 115, no. 3, pp. 495–501.

[8] M. A. Tabatabai and J. M. Bremner, "Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity," *Soil Biol. Biochem.*, 1969, vol. 1, no. 4, pp. 301–307.

[9] S. Basu, R. C. Rabara, and S. Negi, "AMF: The future prospect for sustainable agriculture," *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, 2018, vol. 102, pp. 36–45.

[10] P. Thangavel, N. A. Anjum, T. Muthukumar, G. Sridevi, P. Vasudhevan, and A. Maruthupandian, "Arbuscular mycorrhizae: natural modulators of plant–nutrient relation and growth in stressful environments," *Arch. Microbiol.*, 2022, vol. 204, no. 5, pp. 1–22.

[11] D Huang,., M Ma., Wang, Q., Zhang, M., Jing, G., Li, C., & Ma, F. "Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced drought resistance in apple by regulating genes in the MAPK pathway," *Plant Physiol. Biochem.*, 2020, vol. 149, pp. 245–255.

[12] Y.-D. Shao, Hu, X. C., Wu, Q. S., Yang, T. Y., Srivastava, A. K., Zhang, D. J., & Kuča, K. "Mycorrhizas promote P acquisition of tea plants through changes in root morphology and P transporter gene expression," *South African J.* Bot., 2021, vol. 137, pp. 455–462.

[13] Q. S. Wu, G. H. Li, and Y. N. Zou, "Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient acquisition of peach (Prunus persica L. Batsch) seedlings," *J Anim Plant Sci*, 2011, vol. 21, no. 4, pp. 746–750.

[14] H. Boutaj, A. Chakhchar, A. Meddich, S. Wahbi, Z. El, and A. Talibi, "Bioprotection of olive tree from Verticillium wilt by autochthonous endomycorrhizal fungi," *J. Plant Dis. Prot.*, 2020, no. 0123456789, doi: 10.1007/s41348-020-00323-z.

[15] Z. Li, N. Wu, T. Liu, M. Tang, and H. Chen, "Gender-related responses of dioecious plant Populus cathayana to AMF, drought and planting pattern," *Sci. Rep.*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 1–8.

[16] L. Yang, Y.-N. Zou, Z.-H. Tian, Q.-S. Wu, and K. Kuča, "Effects of beneficial endophytic fungal inoculants on plant growth and nutrient absorption of trifoliate orange seedlings," *Sci. Hortic.* (Amsterdam)., 2021, vol. 277, p. 109815.

[17] A. N. Yadav, D. Kour, T. Kaur, R. Devi, and A. Yadav, "Endophytic fungal communities and their biotechnological implications for agro-environmental sustainability," *Folia Microbiol. (Praha).*, 2022, pp. 1–30.

[18] L.-L. Meng, A. K. Srivastava, K. Kuča, and Q.-S. Wu, "Earthworm (Pheretima guillelmi)-mycorrhizal fungi (*Funneliformis mosseae*) association mediates rhizosphere responses in white clover," *Appl. Soil Ecol.*, 2022, vol. 172, p. 104371.

[19] E. Outamamat, S. El Mrabet, H. Dounas, A. Bargaz, R. Duponnois, and L. Ouahmane, "Symbiotic interactions between a newly identified native mycorrhizal fungi complex and the endemic tree *Argania spinosa* mediate growth, photosynthesis, and enzymatic responses under drought stress conditions," *Can. J. For. Res.*, 2022 , vol. 52, no. 3, pp. 335–345.

[20] I. Ouallal et *al.*, "Effects of Arbuscular Mycorrhizal Inoculation by Indigenous Fungal Complexes on the Morpho-Physiological Behavior of *Argania spinosa* Subjected to Water Deficit Stress," *Horticulturae*, 2022, vol. 8, no. 4, p. 280.

[21] O. Elmostapha, D. Hanane, B. Rachid, and O. Lahcen, "Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolates from Semi-arid Mediterranean Ecosystems as Biofertilizers in Argan Tree Development," *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 944–955.

Effet combiné de mode de la multiplication végétative et de la saisonnalité sur la physiologie et la morphologie des jeunes plants d'*Argania spinosa* au champ

Fatima Ezzahra Tiouidji [1,3], Assma Oumasst [2,3], Salma Tabi [1,3], Fouad El Ame [3], Rachid Bouharroud [3], Nadya Wahid [1], Ahmed Wifaya [3,*]

[1] *Laboratoire de génie environnemental, écologique et agro-industriel (LGEEAI), Dé-partement des sciences de la vie, Faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni-Mellal, Maroc ;*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Ressources Naturelles (LBVRN), Faculté des Sciences Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc ;*

[3] *Unité de Recherche en Ressources Naturelles et Produits de Terroir, Institut National de la Recherche Agronomique, CRRA d'Agadir, Maroc*

[*] *wifaya_ahmed@yahoo.fr*

RÉSUMÉ

L'étude porte sur des jeunes plants *Argania spinosa* L. Skeels âgées de cinq ans. Cette étude vise à évaluer l'impact de deux modes de multiplication asexuée (greffage et bouturage) et de la saison sur la physiologie et la morphologie des jeunes plants d'*Argania spinosa*. Trente jeunes plants ont été étudiés dans le domaine expérimental situé à Belfaa Melk Zhar, l'analyse a concerné la croissance et le diamètre des jaunes plants d'arganier, la teneur en eau des feuilles et des branches (TMEF et TMEB) et la concentration en chlorophylle. Les résultats montrent que le mode de multiplication asexuée a un effet significatif sur la croissance de jeunes plants et sur la teneur en chlorophylle ($p < 0,001$ et $p < 0,05$, respectivement). Et la saison présent un effet significatif sur la lon-gueur du plant, le diamètre, la teneur moyenne en eau dans les branches (TMEB) et la teneur en chlorophylle ($p < 0,001$ et $p < 0,05$, respectivement). Tandis que l'interaction entre le mode de multiplication et la saison n'a aucun effet significatif ($p>0,05$) sur les différents paramètres étudiés chez les jeunes plants d'arganier. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte les méthodes de multiplication et les saisons dans la gestion et la préservation des jeunes plants d'arganier, afin de garantir leur développement optimal dans des conditions environnementales variables et d'assurer la durabili-té de l'écosystème d'arganier.

Mots clés
Argania spinosa ; Jeunes plants ; Greffage ; Bouturages ; Croissance ; Chlorophylle ; Verger.

ABSTRACT

The combined effect of vegetative propagation mode and seasonality on the physiology and morphology of *Argania spinosa* seedlings in the field.

The study involved five-year-old *Argania spinosa* L. Skeels seedlings. This study aimed to evaluate the impact of two asexual propagation methods (grafting and cuttings) and the season on the physiology and morphology of young *Argania spinosa* plants. Thirty seedlings were studied in the experimental field located at Belfaa Melk Zhar. The analysis concerned the growth and diameter of the young argan seedlings, the water content of the leaves and branches (WCOL and WCOB), and the chlorophyll concentration. The results show that the both asexual propagation method has a significant effect on the growth of young plants and chlorophyll content ($p < 0.001$ and $p < 0.05$, respectively). The season had a significant effect on seedling length, diameter, mean branch water content (WCOB), and chlorophyll content ($p < 0.001$ and $p < 0.05$, respectively). The interaction between the propagation method and season had no significant effect ($p>0.05$) on the various parameters studied in young argan seedlings. These results highlight the importance of considering propagation methods

Keywords
Argania spinosa; Young plants; Grafting; Cuttings; Growth; Chlorophyll; Orchard.

and seasons in the management and preservation of young argan seedlings, in order to guarantee their optimal development under variable environmental conditions and ensure the sustainability of the argan ecosystem.

INTRODUCTION

L'arganier est une espèce xérothermophile qui pousse d'une façon sauvage et en abondance dans les zones arides et semi-arides du Sud-ouest marocain [1]. La superficie occupée par l'arganier est à peu près 800 000 hectares [2]. Malgré la valeur écologique et l'importance socio-économique des sous-produits d'arganier, sa densité forestière a été réduite, avec environ la moitié de la forêt d'arganier disparu [3, 4]. D'où la nécessite de développer les techniques de propagation asexuée, afin de produire plus de matériel végétal homogène et de conserver cette espèce. À notre connaissance, rare sont les études qu'ont été réalisée sur l'effet des modes de multiplication asexuée, tels que le greffage, le bouturage, et aussi la variation saisonnière des différents paramètres physiologiques des jeunes plants d'arganier en plein champ. Cette lacune dans la recherche sur l'arganier souligne l'importance d'explorer l'impact des méthodes de multiplication asexuée sur les jeunes plants d'arganier dans des conditions réelles de terrain.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

Le domaine expérimental de Belfaa Melk Zhar est situé dans la province de Chtouka Ait Baha, aux coordonnées suivantes : latitude 30°02'40.4"N ; longitude 9°33'22.9"W. Concernant l'irrigation des jeunes plants d'arganier, elle était de 40 litres par mois, pendant la période d'étude.

2.2. Echantillonnage

Dans le domaine, trente jeunes plants d'*Argania spinosa* âgées de cinq ans ont été sélec-tionnés de manière aléatoire. À chaque période d'échantillonnage, la croissance et le diamètre de la partie aérienne des plants ont été mesurés à l'aide d'un mètre et d'un pied à coulisse. Des échantillons végétaux ont été prélevés à trois niveaux de plants (bas, moyen et haut) à l'aide de sécateurs, en tenant compte de leur exposition. Deux périodes d'échantillonnage le printemps (mars 2022) et l'été (juin 2022) ont été choisies pour étudier l'impact de la saisonnalité climatique sur la physiologie des jeunes plants greffés et de bouturés.

2.3. Les analyses physiologiques des jeunes plants d'arganier

De chaque jeune plants cinq feuille ont été choisie de manière aléatoire, pour mesurer la surface foliaire à l'aide d'un planimètre (mm2). La teneur moyenne en eau des feuilles (TMEF) et des branches (TMEB) de chaque jeune plant d'arganier a été mesurée en pesant la masse fraîche et sèche des feuilles et des branches après les avoir laissées pendant 24 heures à 70°C dans l'étuve. La concentration de chlorophylle (exprimée en mg/m2) a été déterminée à l'aide d'un chlorophylle-mètre (CCM-300).

2.4. Les analyses statistiques

Les données ont été analysées statistiquement à l'aide de SPSS 26.0. Chaque jeune plant d'arganier parmi les trente pour chaque mode de multiplication asexuée est considéré comme une répétition. Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé pour vérifier la normalité, et le test de Levene pour évaluer l'homogénéité de la variance. L'analyse de la variance (ANOVA) ont été réalisés. Le seuil de signification a toujours été fixé à $p = 0,05$.

RÉSULTATS

3.1. La croissance de la partie aérienne

La croissance maximale des jeunes plants d'arganier a été enregistrée en été (juin) chez les plants greffés (181,15 cm). En revanche, la croissance minimale a été observée en printemps (mars) chez les bouturés (139,85 cm) (voir Figure 1). Chez les plants issus du greffage, le taux d'augmentation de la biomasse aérienne tout au long des deux saisons était de 9,71 %, tandis que pour le mode de multiplication par bouturage, il a atteint 19,26 %. La différence de de la longueur des jeunes plants d'argan entre ces deux modes de multiplication s'élevait à 29,53 %. Tableau 1, l'interaction entre le mode de multiplication et la saison n'a aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur la croissance des jeunes plants d'arganier. En revanche, le mode de multiplication et la saison présentent un effet très hautement significatif ($p < 0,001$).

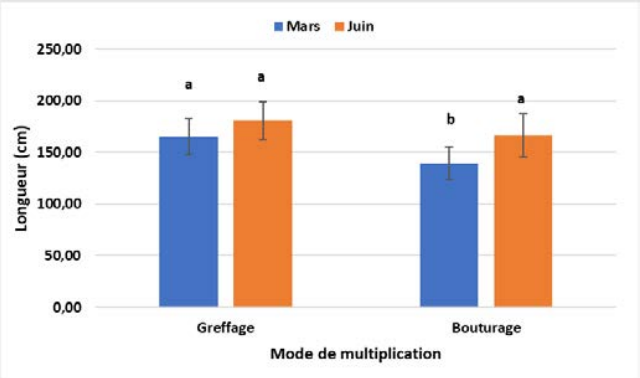


Figure 1. Variation saisonnière de la longueur des jeunes plants d'argan essai du greffage et du bouturage.

3.2. Diamètre

Pour la variation du diamètre des jeunes plants en fonction de leurs modes de multiplication (voir Figure. 2), nous avons observé que la croissance maximale et minimale a été enregistrée chez les bouturés (39,68 mm et 30,81 mm, respectivement). Le taux d'augmentation du diamètre du tronc est de 28,82 % pour le mode de multiplication par bouturage, tandis qu'il atteint 15,86 % chez les plants greffés. La différence de diamètre des jeunes plants d'argan entre ces deux modes de multiplication est de 29,53 %. Le tableau 1 montre que le mode de multiplication n'a aucun effet significatif sur le diamètre des jeunes plants. En revanche, ce paramètre est significativement influencé par la variation des saisons ($p<0,001$).

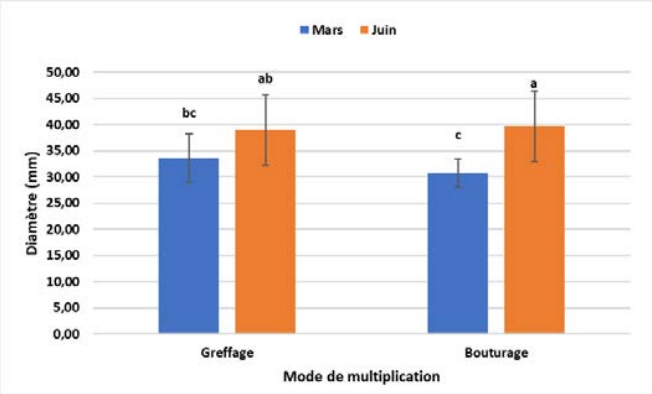


Figure 2. Variation saisonnière du diamètre des jeunes plants d'argan griffés et bouturés.

3.3. La teneur moyenne en eau des feuilles et des branches

La teneur moyenne en eau des jeunes plants, selon leurs modes de multiplication (Figure. 3), présente une évolution saisonnière distincte. La TMEB varie selon les saisons. La teneur maximale en eau est enregistrée pendant la saison estivale d'été (juin 2022) pour la TMEF, tandis que la TMEB a atteint son pic pendant la saison du printemps (mars 2022), indépendamment du mode de multiplication. La variation de la TMEB est fortement influencée par la saison ($p < 0,001$) (Tableau 1), alors que le mode de multiplication n'a aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur la TMEB et la TMEF. De plus, la saison ne présente aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur la TMEF.

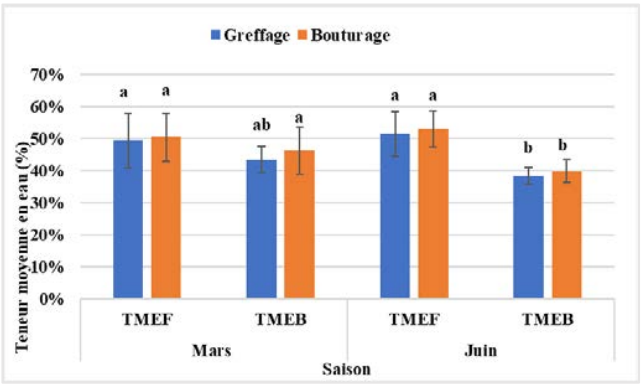


Figure 3. Variation saisonnière de la TMEF et de la TMEB des jeunes plants d'argan greffés et bouturés.

3.4. La concentration en chlorophylle

La concentration en chlorophylle des jeunes plants greffés et bouturés (Figure. 4) montre des variations intéressantes. La concentration maximale a été enregistrée en printemps (mars) chez les plants bouturés (452,21 mg/m2), tandis que la concentration minimale a été observée en été (juin) pour les plants greffés (350,72 mg/m2). La différence de concentration de chlorophylle des jeunes plants d'argan entre ces deux modes de multiplication s'élève à 28,94 %. La concentration de chlorophylle varie significativement ($p < 0,05$) en fonction du mode de multiplication et de la saison (Tableau 1). Cependant, l'interaction entre les différents facteurs n'a aucun effet significatif ($p > 0,05$) sur la variation de la chlorophylle.

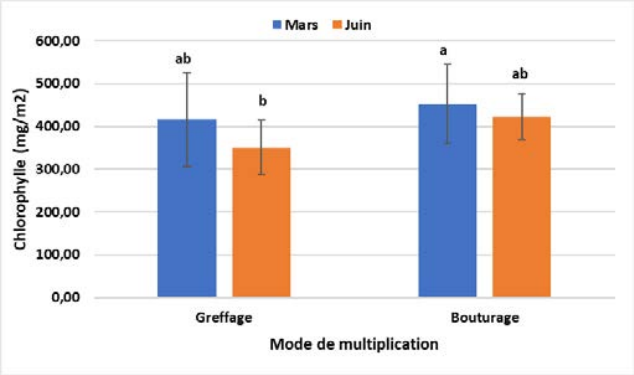


Figure 4. Variation saisonnière de la chlorophylle des jeunes plants d'argan essai de greffage et bouturage.

3.5. La surface foliaire

Pour la surface foliaire (Figure. 5), nous avons observé que la surface maximale a été enregistrée en été (juin) chez les plants bouturés (73,19 mm2), tandis que la surface minimale a été observée en printemps (mars) chez les plants greffés (61,11 mm2). Il est évident que ni le mode de multiplication ni la saison n'ont un effet significatif ($p > 0.05$) sur la surface foliaire des jeunes plants d'arganier (Tableau 1).

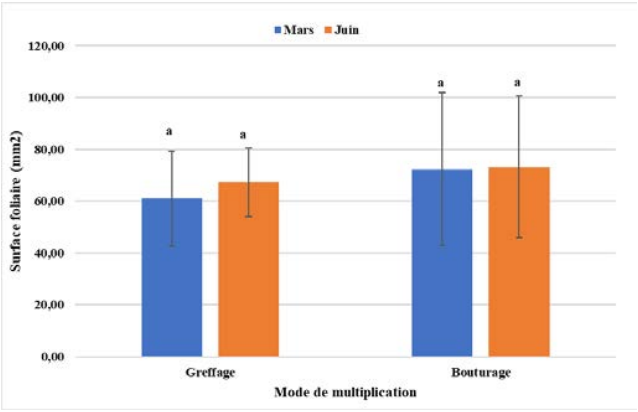


Figure 5. Variation saisonnière de la surface foliaire des jeunes plants d'argan essai de greffage et bouturage.

Tableau 1. Analyse de variance (ANOVA pour les effets de mode de multiplication et de la saison, ainsi que de leurs interactions sur les paramètres étudiés des jeunes plants d'*A. spinosa*

Facteur	Longueur	Diamètre	TMEF	TMEB	Chlorophylle	Surface Foliaire
Mode de multiplication	***	Ns	Ns	Ns	*	Ns
Saison	***	***	Ns	***	*	Ns
Mode de multiplication x Saison	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns

N S: Non significative (P > 0.05); *: Significative (P < 0.05); ***: Hautement significative (P < 0.001); TMEF : Teneur moyenne en eau dans les feuilles ; TMEB : Teneur moyenne en eau dans les branches.

4. DISCUSSION

Cette étude nous a permettons d'évaluer les effets du greffage et du bouturage sur la croissance, la teneur en eau, et la chlorophylle des jeunes plants d'arganier, ainsi que l'interaction entre méthodes de multiplication et la variation saisonnière.

Pour les plantes greffées et bouturées, il est important de comprendre comment le greffon, le porte-greffe et les bouture interagissent pour favoriser la croissance et la survie de la plante. Le mode de multiplication par greffage a enregistré une croissance maximale de la partie aérienne, principalement en raison des caractéristiques du porte-greffe. Ce dernier, grâce à sa capacité d'absorption des nutriments, favorise la production de nouvelles cellules et la croissance de la plante [5-6]. En outre, le gain en biomasse des greffons est largement attribuable aux caractéristiques du porte-greffe, qui leur confèrent une tolérance à divers stress abiotiques. Cette capacité permet aux greffons de se développer même dans des conditions environnementales difficiles. Cette tolérance a été observée chez plusieurs espèces, notamment la pomme, les agrumes, les poires, les noix et la vigne [7-9].

Pour le diamètre des jeunes plants, il est significativement affecté par le mode de multiplication et la variation saisonnière. Avec un maximum développement de ce compartiment dans le mode de multiplication par bouturage. Pour les plants essai de greffage, le développement d'un plus petit diamètre indique une demande en eau importante, qui peuvent contraindre les arbres à modifier la morphologie racinaire[10]. Le greffage peut généralement modifier plusieurs réactions physiologiques et biochimiques entre le porte-greffe et le greffon par rapport au bouturage, influençant la croissance, le développement et la résilience des plantes [1, 11].

Les analyses statistiques montrent l'absence d'effet significatif du mode de multiplication (greffage ou bouturage), ou de la variation saisonnière sur la teneur en eau des feuilles et des branches. Nous suggérons que cette teneur n'est pas directement influencée par ces facteurs, mais d'autres éléments comme les conditions locales et la disponibilité en eau du sol. Les branches issues du bouturage affichent une teneur maximale en eau, tandis que celle provenant du greffage présente une teneur plus faible. Par ailleurs, les porte-greffes peuvent influencer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, qui reflète sur la teneur de l'eau dans les différentes compartiment des griffons [5,12].

Les analyses statistiques ont démontré que le mode de multiplication par greffage et bouturage, ainsi que la variation saisonnière, présentent un effet significatif sur la chlorophylle dans les feuilles des jeunes plants d'arganier. Durant la période d'étude, nous avons constaté que la méthode de greffage ne présentait aucun avantage sur la photo-synthèse par rapport à la méthode de bouturage. La faible teneur de chlorophylles dans les feuilles des greffons affecte inversement le taux de photosynthèse [13,14].

CONCLUSIONS

La présente étude vise à comprendre comment les modes de multiplication influent sur la physiologie et le développement des jeunes plants d'arganier, tenant compte des fluctuations saisonnières. Le greffage favorise une croissance aérienne maximale grâce aux caractéristiques du porte-greffe, qui confèrent une tolérance aux stress environne-mentaux. Cependant, le diamètre des jeunes plants est significativement influencé par le mode de multiplication, avec un développement maximal observé dans les boutures. La teneur en eau des feuilles et des branches varie selon le mode de multiplication. La teneur en chlorophylle dans les feuilles est significativement affectée par le mode de multiplication. Cette recherche met en lumière l'importance de comprendre les interactions entre les modes de multiplication et les variations saisonnières pour optimiser la croissance et la performance des jeunes plants d'arganier.

Remerciements : Cette publication a été financée avec le soutien de l'ANDZOA, dans le cadre du projet de développement de l'arganiculture dans les zones vulnérables (DARED), projet cofinancé par le fond vert pour le climat (Green Climat Fund-GCF).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Emberger, L. Le Domaine Naturel de l'arganier. *Bulletin de la Société botanique de France*1925, 72, 770–774.

2. Msanda, F.; El Aboudi, A.; Peltier, J.-P. Biodiversité et Biogéographie de l'arganeraie Marocaine. *Cahiers Agricultures*2005, 14, 357-364 (1).

3. Kenny, L. *Atlas de l'arganier et de l'arganeraie*; IAV Hassan II, 2007;

4. Lybbert, T.; Sumner, D. Agricultural Technologies for Climate Change Mitigation and Adaptation in Develop-ing Countries: Policy Options for Innovation and Technology Diffusion. 2010.

5. Hartmann, H.T.; Kester, D.E. *Plant Propagation: Principles and Practices*; Prentice-Hall., 1975; ISBN 0-13-680991-X.

6. Martins, J.C.; Vilar, M.T.; Neves, M.J.; Pires, F.P.; Ramos, T.B.; Prazeres, A.O.; Gonçalves, M.C. Monitorização Da Salinidade e Sodicidade de Solos RegadosPorRampasRotativasNosPerímetros Do Roxo e de Odivelas. In Proceedings of the Atas do I CongressoNacional de Rega e Drenagem; 2005.

7. Peccoux, A.; Loveys, B.; Zhu, J.; Gambetta, G.A.; Delrot, S.; Vivin, P.; Schultz, H.R.; Ollat, N.; Dai, Z. Dissecting the Rootstock Control of Scion Transpiration Using Model-Assisted Analyses in Grapevine. *Tree physiology*2018, 38, 1026–1040.

8. Prinsi, B.; Negri, A.S.; Failla, O.; Scienza, A.; Espen, L. Root Proteomic and Metabolic Analyses Reveal Specific Responses to Drought Stress in Differently Tolerant Grapevine Rootstocks. BMC plant biology2018, 18, 1–28.

9. Zhou, K.; Jerszurki, D.; Sadka, A.; Shlizerman, L.; Rachmilevitch, S.; Ephrath, J. Effects of Photoselective Net-ting on Root Growth and Development of Young Grafted Orange Trees under Semi-Arid Climate. *Scientia Horticulturae* 2018, 238, 272–280.

10. Von Mark, V.C. Root Traits Contributing to Plant Productivity under Drought. 2013.

11. Zhang, Z.; Liu, Y.; Cao, B.; Chen, Z.; Xu, K. The Effectiveness of Grafting to Improve Drought Tolerance in Tomato. *Plant growth regulation* 2020, 91, 157–167.

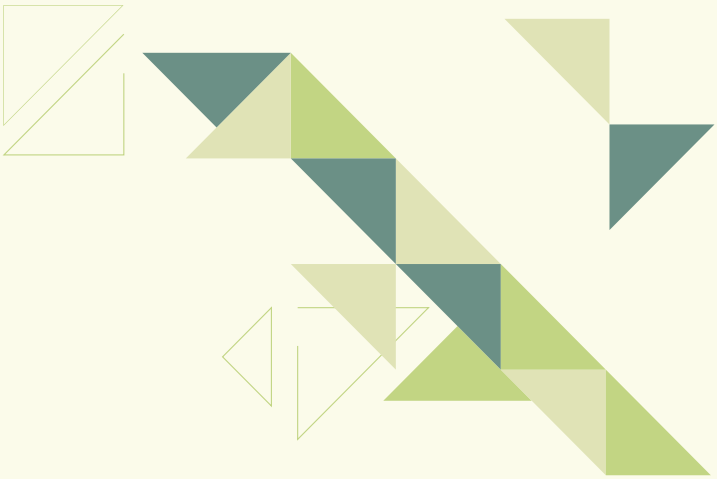
12. Pagliarani, C.; Vitali, M.; Ferrero, M.; Vitulo, N.; Incarbone, M.; Lovisolo, C.; Valle, G.; Schubert, A. The Ac-cumulation of miRNAs Differentially Modulated by Drought Stress Is Affected by Grafting in Grapevine. *Plant Physiology* 2017, 173, 2180–2195.

13. Schechter, I.; Elfving, D.C.; Proctor, J.T.A. Apple Tree Canopy Development and Photosynthesis as Affected by Rootstock. *Canadian journal of botany* 1991, 69, 295–300.

14. Rasool, A.; Mansoor, S.; Bhat, K.M.; Hassan, G.I.; Baba, T.R.; Alyemeni, M.N.; Alsahli, A.A.; El-Serehy, H.A.; Paray, B.A.; Ahmad, P. Mechanisms Underlying Graft Union Formation and Rootstock Scion Interaction in Horticultural Plants. *Frontiers in plant science* 2020, 11, 590847.

15. Mao, Y.; Cui, X.; Wang, H.; Qin, X.; Liu, Y.; Hu, Y.; Chen, X.; Mao, Z.; Shen, X. Study of the Grafting Com-patibility of the Apple Rootstock 12–2, Resistant to Apple Replant Diseases (ARD). *BMC Plant Biology* 2022, 22, 1–17.

AXE 3
Valorisation des produits de l'arganier : Santé, nutrition, chimie et technologies



COMMUNICATIONS ORALES

Amlou entre tradition et innovation : Caractérisation et formulation d'un nouvel Amlou à base de fruits de *Ziziphus lotus* L., d'huile d'argane et du miel

Hasna Ait Bouzid[1,*], Abdelghani Ait Nouisse[1], Otmane Hallouch[1], Abderrahim Asbbane[1], Hicham Harhar[2], Jamal Koubachi[1], Said Gharby[1]

[1] *Equipe Biotechnologie, Sciences Analytiques et Contrôle de Qualité, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc*

[*] *h.aitbouzid1234@gmail.com*

Mots clés
Amlou, Huile d'argane, Miel, Minéraux, Activité antioxydante, Ziziphus lotus L..

RÉSUMÉ

Le Maroc possède des ressources naturelles sous-exploitées, dont le *Ziziphus lotus* L. (Z. lotus). L'objectif de cette étude est de valoriser cette plante en l'incorporant dans l'industrie alimentaire. En combinant les fruits de *Z. lotus* avec du miel et de l'huile d'argane, un produit similaire à l'Amlou traditionnel a été créé. Cinq formulations ont été évaluées par rapport à l'Amlou traditionnel pour leur valeur nutritionnelle, leurs acides gras, leurs composés bioactifs et leurs activités antioxydantes. Les produits se différencient par leur teneur élevée en huile, en glucides et en protéines. L'Amlou à base de *Z. lotus* se distingue par ses composés phénoliques et ses activités antioxydantes par rapport à celui à base d'amandes. La meilleure formulation des produits offre un goût et une texture optimaux. Ainsi, cette étude démontre le potentiel du *Z. lotus* dans la création de produits alimentaires de haute qualité, offrant une alternative novatrice à l'Amlou traditionnel.

Keywords
Amlou, Argan oil, Honey, Minerals, Antioxidant activity, Ziziphus lotus L.

ABSTRACT

Amlou between tradition and innovation: Characterization and formulation of a new Amlou based on Ziziphus lotus L. fruits, argan oil and honey.

Morocco has under-exploited natural resources, including *Ziziphus lotus* L. (Z. lotus). The aim of this study is to valorize this plant by incorporating it into the food industry. By combining the fruits of *Z. lotus* with honey and argan oil, a product similar to traditional Amlou was created. Five formulations were evaluated against traditional Amlou for their nutritional value, fatty acids, bioactive compounds and antioxidant activities. The products differ in their high oil, carbohydrate and protein content. *Z. lotus*-based Amlou stands out for its phenolic compounds and antioxidant activities compared to almond-based Amlou. The improved formulation of these products offers optimum taste and texture. This study demonstrates the potential of *Z. lotus* in the creation of high-quality food products, offering an innovative alternative to traditional Amlou.

INTRODUCTION

En réponse à la demande grandissante des consommateurs pour des aliments sûrs et de haute qualité, les chercheurs cherchent à développer de nouveaux ingrédients fonctionnels qui pourraient être intégrés aux produits [1]. C'est pourquoi la recherche actuelle se focalise sur l'analyse des sources naturelles, telles que les fruits sauvages qui peuvent être consommés. Ces fruits renferment divers composants bioactifs tels que les vitamines, les caroténoïdes, les alcaloïdes, les glucides, les phénols, les flavonoïdes, les triterpénoïdes, les saponines, les stéroïdes et les tanins [2,3]. Amlou est une spécialité culinaire marocaine traditionnelle originaire de la région du Souss, et l'un

des produits du terroir les plus populaires du pays [4]. Cet aliment est extrêmement riche en nutriments et est composé de trois ingrédients : l'huile d'argane, les amandes douces grillées et le miel local [5]. 100 g d'Amlou contiennent environ 690 kcal, 8,7 g de protéines, 67 g de matières grasses, 23 g de glucides, 111 mg de calcium et 108 mg de magnésium [6]. En ce moment, il existe d'autres produits Amlou modifiés disponibles sur le marché marocain, comme l'Amlou à base d'huile d'argan, d'arachides et de miel, ou l'Amlou à base d'huile végétale de tournesol ou de soja, d'arachides et de miel [4]. Les fruits de *Ziziphus lotus* L. (Z. lotus), l'huile d'argane et le miel étaient les ingrédients principaux de cette étude pour créer un nouveau produit alimentaire d'Amlou. On a examiné les diverses formulations en termes de composition proximale, de profil minéral et d'activité antioxydante.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Formulation des produits

La composition des produits d'Amlou est représenté dans le tableau 1. Un test préliminaire a été effectué, ceci explique l'utilisation d'une teneur en huile plus élevée que la poudre de *lotus Z*, car le produit a perdu la texture originale de l'Amlou.

Tableau 1. Composition des différentes formules préparées.

Composition	Poudre de Z. lotus	Amande	Huile d'argane	Miel
Formule 1 (ZL1)	48%	-	52%	00%
Formule 2 (ZL2)	45%	-	50%	05%
Formule 3 (ZL3)	45%	-	48%	07%
Formule 4 (ZL4)	42%	-	48%	10%
Formule 5 (ZL5)	40%	-	45%	15%
Amlou 1 (AM1)	-	80%	16%	04%
Amlou 2 (AM2)	-	76%	20%	04%

2.2. Composition proximale

La teneur en protéines (CP) a été déterminée à l'aide d'un analyseur élémentaire de modèle LECO (LECO FP628, USA) en mesurant l'azote total, et la CP a été calculée en multipliant l'azote total par 6,25. Le PC a été exprimé en pourcentage de matière sèche (% MS). La teneur en cendres (AC) a été déterminée en incinérant les poudres de fruits dans un four à moufle à 525°C pendant 4 heures. La teneur en humidité (MC) a été déterminée en séchant les échantillons dans une étuve à 103°C jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids constant. Pour la teneur en huile 10 g de chaque produit ont été placés dans un erlenmeyer, puis 40 mL de n-hexane ont été ajoutés. L'extraction a été effectuée pendant 24 heures à température ambiante sous agitation. Les extraits ont ensuite été centrifugés pendant 20 minutes à une vitesse de 3500 rpm. Pour déterminer le poids de l'extrait, le solvant (n-hexane) a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif (R-200, Buchi, Zurich, Suisse) à 40 °C jusqu'à élimination complète. Le calcul de la teneur totale en carbohydrates (TC) en utilisant une approche de complément à 100 %. Pour cela, on soustrait la somme des pourcentages d'humidité, de cendres, d'huile et de protéines de 100 %. Cela permet d'obtenir la quantité de glucides pré-sents dans l'échantillon en déduisant les autres composants majeurs [7].

2.3. Composition en acides gras de l'huile d'Amlou

La composition en acides gras a été déterminée par chromatographie en phase gazeuse. 1 g d'huile a été mélangé avec 10 mL de méthanol et 0,4 ml d'hydroxyde de potassium 2 N préparé dans du méthanol et laissé à reflux pendant 10 minutes. Après refroidissement à température ambiante, 2 ml d'hexane ont été ajoutés au mélange et lavés avec de l'eau distillée. La couche d'hexane contenant les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) a été recueillie et analysée. La composition des acides gras a ensuite été déterminée sous la forme de leurs esters méthyliques correspondants par chromatographie en phase gazeuse (Agilent-6890) couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID). La colonne capillaire CP -Wax 52CB (30 m x 250 µm de diamètre interne, 0,25 µm d'épaisseur de film) a été utilisée. Le gaz porteur était de l'hélium et le débit total de gaz était de 1 mL/min. La température initiale du four était de 170 °C, la température finale de 230 °C, et le gradient de température était de 4 °C/min. La température de l'injecteur et du détecteur était réglée à 220 °C. Le volume d'injection des échantillons était de 2 µL en mode split (rapport de split 1:50). Les résultats ont été exprimés en pourcentage relatif de la surface de chaque acide gras [8].

2.4. Dosage polyphénols totaux

La détermination des polyphénols totaux est effectuée à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu. 250 µL d'extrait dilué dix fois ont été mélangés avec 1,25 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (10%). 2 mL de carbonate de sodium Na2CO3 (7,5%) ont été ajoutés, et le mélange obtenu a été placé dans un bain-marie à 45°C pendant 30 min. L'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis à 765 nm. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalents d'acide gallique par gramme de produit (mg EAG/g P) [9].

2.5. Dosage flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode du trichlorure d'aluminium (AlC13). 1 mL d'extrait dilué a été placé dans une fiole jaugée de 10 mL. Ajouter 0,3 mL de nitrite de sodium à 5 % ($NaNO_2$). Après 5 min, 0,3 ml de chlorure d'aluminium (AlC13, 10 %) est ajouté et le mé-lange est laissé au repos pendant 6 min supplémentaires, puis 2 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) 1M sont ajoutés et le volume total a été porté à 10 mL avec de l'eau distillée. Ensuite, la solution est bien mélangée et laissée au repos pendant 30 min. Enfin, l'absorbance est enregistrée contre un blanc à 415 nm. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalents de quercétine par gramme de produit (mg EQ/g P) [9].

2.6. Activité antioxydante par DPPH

Une solution éthanolique de DPPH (0,2 mM) a été préparée et conservée dans un flacon ambré pour être protégée de la lumière. L'extrait brut des fruits de *Z. lotus* a été dilué à 1 : 1000 (v/v) avec de l'éthanol. 4 ml d'échantillon dilué ont été ajoutés à 0,8 mL de solution de DPPH. Le mélange entier a ensuite été incubé dans l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée par rapport à un blanc à 517 nm en utilisant un spectrophotomètre SCILOGEX SPUV1100. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (%) [9].

2.7. Activité antioxydante FRAP

Différentes concentrations d'extraits et le standard (Trolox) est mélangés avec 2.5 mL de fericyanure de potassium (1 %, p/v) et 2,5 mL de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6). Le mélange résultant est incubé à 50 °C pendant 20 minutes, puis 2,5 ml d'acide trichloroacétique (10 % p/v) sont ajoutés. Ensuite, le mélange a été centrifugé à 3000 g pendant 10 min. 2,5 mL de la couche supérieure de la solution est mélangé avec 2,5 mL d'eau distillée et de chlorure ferrique (0,5 ml 0,1 %, p/v). Après 30 min, absorbance est déterminée à 700 nm. L'activité antioxydante a été exprimé en équivalent Trolox/ g de produit (mg ET/g P) [9].

2.8. Activité antioxydante ABTS

Le radical cationique ABTS+ [2,2'-azino-bis (acide 3-éthylbenzothiazoline-6- sulfonique)] a été formé par la réaction entre 100 µL de persulfate de potassium 70 mM et 10 mL d'ABTS 2 mM dans H_2O. Le mélange obtenu est maintenu dans l'obscurité à température ambiante pendant 16 heures. Ensuite, l'ABTS+ solution est diluée avec du méthanol jusqu'à une absorbance de 0,70 ± 0,02 à 734 nm. Les échantillons sont préparés en ajoutant 400 µL d'extraits dans 4 mL d'ABTS+ solution diluée avec du méthanol. Absorbance sont été enregistrées à 734 nm. L'activité antioxydante a été exprimé en équivalent Trolox (mg ET/g de produit) [9].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Composition proximale et profil des acides gras des produits élaborés

Les résultats d'analyse de la composition proximale (A), la composition en acides gras de l'huile (B) sont représentés dans la figure 1. Les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* (ZL1 à ZL5) présentent des valeurs de teneur en eau allant de 2,30 ± 0,11 g/100g à 3,48 ± 0,07 g/100g. En revanche, les produits d'Amlou à base d'amandes (AM1 et AM2) affichent les teneurs en eau les plus faibles, avec des valeurs de 1,78 ± 0,23 g/100g et 1,87 ± 0,06 g/100g respectivement. L'ajout de quantités croissantes du miel entraîne une légère augmentation de la teneur en eau. Selon l'étude de Belhaj et al. (2015) [10], la teneur en eau du miel marocain, qui comprend cinq types différents, est relativement élevée, variant de 18,55 g/100g à 21,01 g/100g. Cette observation suggère que l'incorporation de miel contribue à augmenter la teneur en eau des produits.

Nos résultats montrent des valeurs de teneur en cendres inférieures à celles rapportées par Saadoudi et al. (2017) [11] pour le biscuit à base de farine de *Z. lotus* avec une teneur en cendres de 4,19 ± 0,24 g/100g, tandis que nos résultats présentent des valeurs de teneur en cendres faibles pour tous les produits élaborés.

Les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* présentent une teneur en protéines variant de 3,15 à 3,92 g/100g, ce qui est légèrement supérieur aux valeurs enregistrées pour les produits d'Amlou à base d'amandes, qui varient de 3,06 ± 0,08 à 3,11 ± 0,13 g/100g. Ces résultats sont inférieurs aux résultats rapportés pour un biscuit à base de farine de Z. lotus, qui présentait une teneur en protéines de 11,25 ± 0,45 g/100g [11].

Les cinq produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* présentent une teneur en huile variant de 45,15 à 52,24

g/100g. Ces valeurs sont légèrement inférieures aux mesures obtenues pour les deux produits d'Amlou à base d'amandes, qui se situent entre 57,19 et 59,2 g/100g. La teneur élevée en huile des produits d'Amlou à base d'amandes est due à la concentration d'huile dans les amandes, qui dépasse en moyenne 53,37 g/100g [12]. Cette valeur est nettement supérieure à la teneur en huile des fruits de *Z. lotus* (2,45 ± 0,62 g/100g) [7].

Les glucides sont des macronutriments abondants dans tous les produits étudiés, avec des concentrations allant de 33,47 ± 0,44 à 46,81 ± 0,70 g/100g. Cependant, les produits d'Amlou à base de Z. lotus ont enregistré des valeurs supérieures à celles enregistrées pour Amlou à base d'amandes (AM1 et AM2) qui ont des valeurs respectives de 35,40 ± 1,13 et 33,47 ± 0,44. Ces résultats peuvent être interprétés par la forte teneur en glucides présente dans les fruits de *Z. lotus*, qui atteint plus de 88 g/100g [7].

Les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* ont montré des valeurs similaires pour les acides gras majoritaires, notamment l'acide oléique (48,12-48,69 ± 0,10%), l'acide linoléique (32,14 ± 0,10-32,51 ± 0,10%), l'acide palmitique (13,30 ± 0,10-13,78 ± 0,10%) et l'acide stéarique (4,85 ± 0,10-5,31 ± 0,10%). Ces valeurs sont comparables à celles enregistrées dans l'huile d'argane pure pour les mêmes acides gras, qui sont respectivement de 48,03 ± 0,10% (acide oléique), 32,45 ± 0,10% (acide linoléique), 13,36 ± 0,10% (acide palmitique) et 5,34 ± 0,10% (acide stéarique). L'acide oléique dans les produits d'Amlou à base d'amandes a enregistré des niveaux nettement plus élevés, atteignant 65,84 ± 0,10%, tandis que l'huile d'argane pure présente une teneur en acide oléique de 48,03 ± 0,10%. Cette différence pourrait être attribuée à la présence des amandes comme ingrédients dans les produits d'Amlou, qui influencent la composition en acides gras selon l'étude [12].

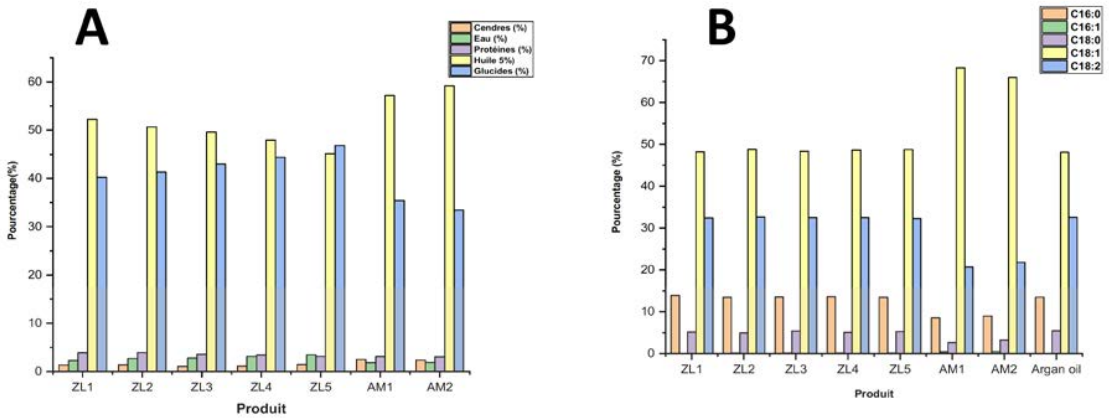


Figure 1 : Composition proximale et acides gras des produits d'Amlou

3.2. Teneur en composés phénoliques et activité antioxydante

La teneur en polyphénols totaux et flavonoïdes totaux (A), et l'activité antioxydante (B) des produits d'Amlou préparés sont présentés dans la figure 2. La teneur en composés phénoliques est importante dans Amlou à base des fruits de *Z. lotus* par rapport à l'Amlou à base d'amandes. Le même résultat est obtenu pour l'activité antioxydante.

Les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* affichent des concentrations en polyphénols allant de 6,93 ± 0,24 à 12,82 ± 0,24 mg EAG/g MS, ce qui est nettement supérieur aux concentrations observées dans les produits d'Amlou à base d'amandes, se situant entre 2,01 ± 0,31 et 2,36 ± 0,22 mg EAG/g MS. La teneur en polyphénols de nos produits est supérieure à celle rapportée par Najja (2020) pour un gâteau "Sponge cake" fabriqué à partir de poudre de fruits de *Z. lotus*, qui a obtenu une valeur de 38,12 ± 0,02 mg EAG/100g. De même, les produits d'Amlou à base de fruits de Z. lotus se distinguent par des concentrations de flavonoïdes plus élevées, variant de 7,10 ± 1,20 à 10,18 ± 0,11 mg EQ/g MS, par rapport aux produits d'Amlou à base d'amandes, qui affichent des valeurs comprises entre 3,52 ± 0,27 et 6,37 ± 0,05 mg EQ/g MS. La teneur en flavonoïdes de nos produits est supérieure à celle rapportés par [13] pour le gâteau "Sponge cake" fabriqué à partir de poudre de fruits de *Z. lotus*, qui a obtenu une valeur de 23,13 ± 0,04 mg EAG/100g.

Les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* démontrent une activité anti-radicalaire par DPPH notable, avec des valeurs relativement élevées allant de 3,55 ± 1,64 à 13,45 ± 4,54. Le produit ZL3 se démarque en affichant la valeur la plus élevée parmi l'ensemble des produits analysés. En revanche, les produits d'Amlou à base d'amandes présentent des valeurs d'activité anti-radicalaire plus faibles, avec AM1 et AM2 qui démontrent des valeurs similaires.

En utilisant le test FRAP, les produits d'Amlou à base de fruits de *Z. lotus* présentent des valeurs plus élevées de FRAP, variant de 5,39 ± 0,18 à 8,55 ± 0,49 mg AA/g MS, avec ZL4 affichant la valeur la plus élevée parmi les échantillons analysés. En revanche, les produits d'Amlou à base d'amandes démontrent des valeurs de FRAP plus faibles, variant de 3,80 ± 1,64 à 4,64 ± 0,62 mg AA/g MS, avec AM2 présentant la valeur inférieure.

Les résultats des teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux, et les différentes mesures d'activité antioxydante (FRAP, DPPH et ABTS) ont permis d'évaluer l'activité antioxydante des produits analysés. Les produits à base de fruits de *Z. lotus* ont démontré des valeurs des teneurs en polyphénols et d'activité antioxydante relativement élevées, soulignant ainsi leur potentiel en tant que sources d'antioxydants naturels, ce qui peut avoir des implications bénéfiques pour la santé.

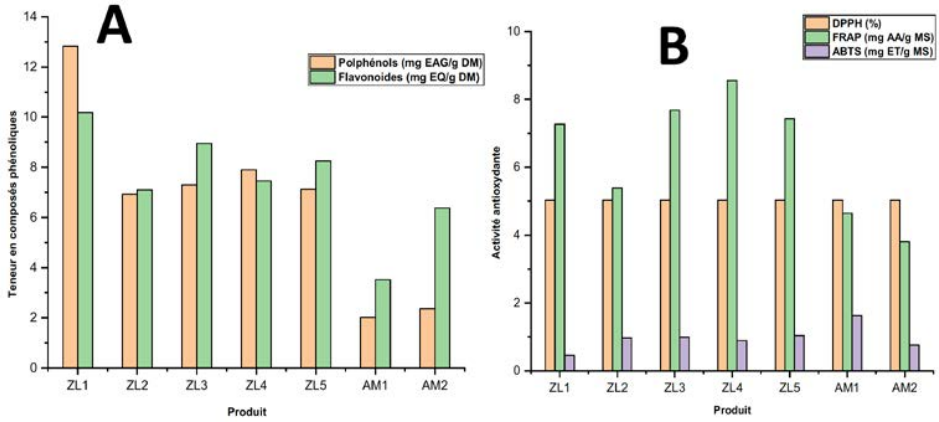


Figure 2 : Teneur en composés phénoliques et activité antioxydante des produits élaborés

3.3. Analyse sensorielle

Les résultats de l'évaluation sensorielle (Figure 3) révèlent une appréciation généralement positive de la couleur des produits à base de *Z. lotus* évalués. Cependant, il y a une certaine variation dans l'appréciation de l'odeur, du goût et de la texture des produits. Le produit ZL2 se distingue avec des scores élevés pour l'odeur et le goût, tandis que le produit ZL5 présente des scores plus bas dans ces attributs. Ces résultats peuvent être utilisés pour ajuster la formulation des produits afin de répondre aux préférences des consommateurs et améliorer leur acceptabilité sensorielle.

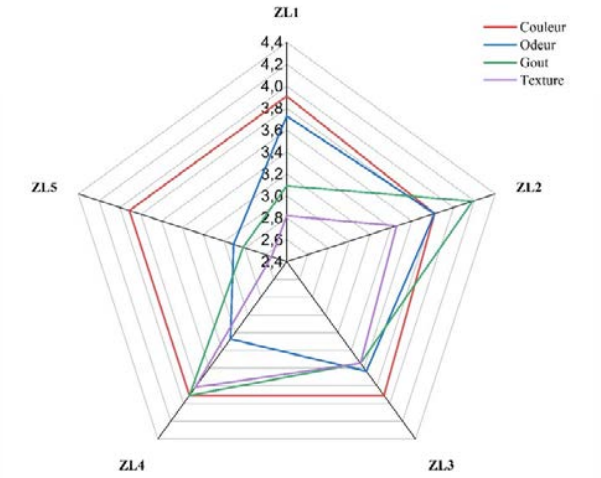


Figure 3 : Profils sensoriels des produits d'Amlou à base de *Z. lotus* élaborésactivité antioxydante des produits élaborés

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le développement et la création d'un produit à partir des fruits de *Z. lotus*, tel que l'Amlou, révèlent un potentiel nutritionnel significatif. Une analyse détaillée de ce produit a démontré sa concentration en nutriments essentiels, en faisant ainsi une option attrayante pour une alimentation saine et équilibrée. En raison de sa teneur élevée en antioxydants, les produits à base de *Z. lotus* peuvent contribuer à améliorer la santé et à renforcer le système immunitaire. De plus, ce produit préserve le profil nutritionnel de l'huile d'argane, offrant ainsi aux consommateurs les bienfaits de cette dernière. Son goût délicieux en fait également un choix attrayant pour ceux qui recherchent à la fois le plaisir gustatif et les avantages nutritionnels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Moratalla-López, N.; Bagur, M.J.; Lorenzo, C.; Martínez-Navarro, M.E.; Rosario Salinas, M.; Alonso, G.L. Bioactivity and Bioavailability of the Major Metabolites of Crocus Sativus L. Flower. *Molecules* 2019, 24, 1–24, doi:10.3390/molecules24152827.

2. Barros, L.; Dueñas, M.; Ferreira, I.C.F.R.; Baptista, P.; Santos-Buelga, C. Phenolic Acids Determination by HPLC-DAD-ESI/MS in Sixteen Different Portuguese Wild Mushrooms Species. *Food Chem. Toxicol.* 2009, 47, 1076–1079, doi:10.1016/j.fct.2009.01.039.

3. Belwal, T.; Dhyani, P.; Bhatt, I.D.; Rawal, R.S.; Pande, V. Optimization Extraction Conditions for Improving

Phenolic Content and Antioxidant Activity in Berberis Asiatica Fruits Using Response Surface Methodology (RSM). *Food Chem*. 2016, 207, 115–124, doi:10.1016/j.foodchem.2016.03.081.

4. Ezzaky, Y.; Zanzan, M.; Achemchem, F.; Valero, A.; Hamadi, F. Microbiological Profile and Modeling the Survival of Escherichia Coli ATCC 25922 in Amlou: A Traditional Moroccan Spread Food. *Microb. Risk Anal.* 2022, 21, 100216, doi:10.1016/j.mran.2022.100216.

5. El Monfalouti, H.; Guillaume, D.; Denhez, C.; Charrouf, Z. Therapeutic Potential of Argan Oil: A Review. *J. Pharm. Pharmacol.* 2010, 62, 1669–1675, doi:10.1111/j.2042-7158.2010.01190.x.

6. Nabbouti, S.; Hasib, A.; Khedid, K.; Quasmaoui, A.; Askari, G. Al; Mennane, Z. Amlou Produit de Terroir Marocain : Qualité Hygiénique et Étude de l'antibiorésistance Des Souches de Contamination Resistance). *J. Mater. Environ. Sci*. 2014, 5, 661–666.

7. Ait Bouzid, H.; Sakar, E.H.; Bijla, L.; Ibourki, M.; Zeroual, A.; Gagour, J.; Koubachi, J.; Majourhat, K.; Gharby, S. Physical Fruit Traits, Proximate Composition, Antioxidant Activity, and Profiling of Fatty Acids and Minerals of Wild Jujube (Ziziphus Lotus L. (Desf.)) Fruits from Eleven Moroccan Origins. *J. Food Qual*. 2022, 2022, doi:10.1155/2022/9362366.

8. Marmouzi, I.; Ali, K.; Harhar, H.; Gharby, S.; Sayah, K.; El Madani, N.; Cherrah, Y.; Faouzi, M.E.A. Functional Composition, Antibacterial and Antioxidative Properties of Oil and Phenolics from Moroccan Pennisetum Glaucum Seeds. *J. Saudi Soc. Agric. Sci*. 2018, 17, 229–234, doi:10.1016/j.jssas.2016.04.007.

9. Ait Bouzid, H.; Oubannin, S.; Ibourki, M.; Bijla, L.; Hamdouch, A.; Sakar, E.H.; Harhar, H.; Majourhat, K.; Koubachi, J.; Gharby, S. Comparative Evaluation of Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Some Contaminants in Six Moroccan Medicinal and Aromatic Plants. *Biocatal. Agric. Biotechnol*. 2023, 47, 102569, doi:10.1016/j.bcab.2022.102569.

10. Belhaj, O.; Oumato, J.; Zrira, S. Étude Physico-Chimique De Quelques Types De Miels Marocains. *Rev. . Marocaine . Sci. Agron. Vétérinaire* 2015, 3, 71–75.

11. Saadoudi, M.; Hambaba, L.; Abdeddaim, M.; Lekbir, A. Nutritional Composition, Physical Properties and Sensory Evaluation of Biscuit Produced from Jujubes (Fruits of Zizyphus Lotus L .). *Ann. Food Sci. Technol.* 2017, 18, 395–401.

12. Ibourki, M.; Ait Bouzid, H.; Bijla, L.; Aissa, R.; Sakar, E.H.; Ainane, T.; Gharby, S.; Hammadi, A. El Physical Fruit Traits, Proximate Composition, Fatty Acid and Elemental Profiling of Almond [Prunus Dulcis Mill. DA Webb] Kernels from Ten Genotypes Grown in Southern Morocco. *OCL - Oilseeds fats, Crop. Lipids* 2022, 29, doi:10.1051/ocl/2022002.

13. Najjaa, H.; Arfa, A. Ben; Elfalleh, W.; Zouari, N.; Neffati, M. Jujube (Zizyphus Lotus L.): Benefits and Its Effects on Functional and Sensory Properties of Sponge Cake. *PLoS One* 2020, 15, 1–14, doi:10.1371/journal.pone.0227996.

A comparative evaluation of physical fruit traits, proximate composition and oil physico-chemical properties of argan ((*argania spinosa* (L.) Skeels)) from five varieties

Abderrahim Asbbane [*1], Otmane Hallouch [1], Samira Oubannin [1], Mohamed Ibourki[1], Naima Ait Aabd[2] and Saïd Gharby [1]

[1] *Biotechnology, Analytical Sciences and Quality Control Team, Polydisciplinary Faculty of Taroudant, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.*

[2] *Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090, Rabat, Morocco*

** abderrahim.asbbane@gmail.com*

ABSTRACT

This study aimed to explore the physical traits, proximate composition in the kernel, of five argan varieties: "Ghallate," "Khayr," "Mzhar," "Naama," and "Zakia". Additionally, analytical parameters of the oils were assessed, including fatty acid. This study represents the first comprehensive analysis of the chemical composition of different parts of argan from these varieties.

Our results indicate that Oil yields ranged from 47.94% to 64.49%. Proximate composition and energy value (EV) in argan kernel varied as follows: proteins (19.61–20.95%), moisture (1.19–1.38%), ash (1.94–2.45%), carbohydrates (13.74-28.38%), and EV (574.19-710.31). The predominant fatty acids in the oil of these varieties were oleic acid.

The nutritional and chemical analysis of different argan fruit varieties revealed variations in protein, moisture, and ash content across various kernel. Significant differences were observed among the varieties. The "Mzhar" variety exhibited the largest fruit size. In terms of nutritional traits for the kernel, "Naama" showed the highest values in protein, moisture, ash, carbohydrates, energy value, and oil yield.

Keywords
argan varieties, Argania Spinosa, oil composition, antioxidant capacities.

RÉSUMÉ

Évaluation comparative des caractéristiques physiques des fruits, de la composition immédiate et des propriétés physico-chimiques de l'huile d'argan ((*Argania Spinosa* (L.) Skeels)) de cinq variétés.

Cette étude visait à explorer les caractéristiques physiques et la composition proximale du noyau de cinq variétés d'argane : «Ghallate», «Khayr», «Mzhar», «Naama» et «Zakia». De plus, les paramètres analytiques des huiles ont été évalués, y compris les acides gras. Cette étude représente la première analyse complète de la composition chimique des différentes parties de l'argane provenant de ces variétés.

Nos résultats indiquent que les rendements en huile variaient de 47,94 % à 64,49 %. La composition proximale et la valeur énergétique (VE) dans le noyau d'argane variaient comme suit : protéines (19,61–20,95 %), humidité (1,19–1,38 %), cendres (1,94–2,45 %), glucides (13,74-28,38 %) et VE (574,19-710,31). Les acides gras prédominants dans l'huile de ces variétés étaient l'acide oléique.

L'analyse nutritionnelle et chimique des différentes variétés de fruits d'argane a révélé des variations dans la teneur en protéines, humidité et cendres selon

Mots clés
variétés d'argane, Arganeia Spinosa, composition de l'huile, capacités antioxydantes.

les différents noyaux. Des différences significatives ont été observées entre les variétés. La variété « Mzhar » a montré la plus grande taille de fruit. En termes de caractéristiques nutri-tionnelles pour le noyau, « Naama » a présenté les valeurs les plus élevées en protéines, humidité, cendres, glucides, valeur énergétique et rendement en huile.

INTRODUCTION

The argan (*Argania spinosa*) is an endemic tree in Morocco [1]. This tree is highly resistant to drought and heat, growing wildly and abundantly in the arid and semi-arid regions of southwestern Morocco [2]. Some authors indicate that this unique biotope, referred to as the 'argan forest,' covers an area of 550,000 hectares. Others suggest that the argan tree practically spans 3,200 square miles [3]. The fruit has an oblong or roughly ovoid shape and is composed of fleshy berries of various forms, similar to large olives. Some of them have a more or less pronounced pointed apex. Each fruit contains one to four seeds, typically characterized by a well-developed and sclerotic testa (false stone), turning bright yellow when ripe and then becoming brown when dried [4]. Various forms of argan tree fruits can be distinguished, including round, oval, apiculate fusiform, drop-shaped, rounded, and globular. The fruits of the argan tree encase a seed with a thick, smooth, and hard shell, containing a white kernel that is highly rich in oil [5]. At maturity, a yellow or light yellow-brown coloration is obtained, depending on the trees. The darker color develops after abscission [6]. The argan tree has small, hermaphroditic flowers that are solitary or grouped (in a glomerule-type inflorescence) at the leaf axils of young shoots or at the nodes of mature wood [7]. The leaves of the argan tree are characterized by their richness in phenolic compounds and flavonoids. These properties are utilized for their anti-inflammatory and free radical scavenging medicinal effects [8] Argan oil is a quintessential Moroccan regional product. It is produced from the kernels of the fruit of the argan tree [9,10]. Due to its gustatory and culinary value, it also possesses numerous nutritional and cosmetic properties [11–13]. It is the main source of fats in the Amazigh diet, and several scientific articles confirm its beneficial effects on human health [12,14]. If argan oil is an interesting product from a nutritional perspective, it is primarily due to its richness in unsaturated fatty acids [15,16]. It is composed of 80% unsaturated fatty acids and only 19% saturated fatty acids. The unsaturated fatty acids, whose nutritional benefits are well-known, include oleic acid (43 to 49%) and linoleic acid (29 to 37%) [17]. Linolenic acid is a highly oxidizable molecule and is present in very low concentrations: less than 0.3%. In addition to this fatty acid composition, argan oil is particularly interesting due to its minor compounds, namely phytosterols, triterpenes, squalene, coenzyme Q10, and tocopherols. The latter possess strong antioxidant properties [13,15].

MATERIALS AND METHODS

2.1. Origin of Argan Fruit

This study was conducted on argan fruits sourced from five varieties cultivated in southern Morocco: Ghallate, Khayr, Mzhar, Naama, and Zakia

2.2. Measurement of Physical Characteristics of the Fruits

Prior to commencing measurements, impurities such as unripe or damaged fruits, as well as dirt and dust, were removed. To determine the physical characteristics of the fruits of interest, twenty argan fruits were randomly sampled for each variety. For each individual fruit, the total weight of the nut (NW), the corresponding weight of the shell (SW), and the weight of the kernel (KW) were measured using a precision electronic balance with a sensitivity of 0.0001 g. As for the nut's width (l) and length (L), they were measured using a precision vernier caliper.

2.3. Protein Conent (PC) [18]

We take 0.5 g of the sample and place it in the flask, then add 12.5 ml of sulfuric acid and 3 g of Dumuas catalyst. The flask is placed on the heating device for one hour. After cooling, 50 ml of distilled water is added to the flask. Then, the flask is directly connected to the distillation apparatus. We add 60 to 100 ml of 40% sodium hydroxide (NaOH) solution for alkalization. This addition must be done carefully to avoid ammonia losses. The ammonia released during alkalization is distilled. The distillate is collected in a conical flask containing 40 ml of boric acid solution and indicator. Titrate with 1N hydrochloric acid (HCl) solution until the end point persists (from green to faint pink)

2.4. Moisture content (MC) [19]

Humidity or moisture content (MC) was calculated according to the International Organization for Standardization method. In summary, 5 g of powdered samples (pulp, nut shell, kernel, or press cake) were placed in a ventilated oven (BINDER) at 103°C until a constant weight was achieved. The moisture content was determined using the following equation :

$$MC\ (\%) = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \quad (1)$$

Whish

M_1 : is the weight of the empty crucible,

M_2 : is the weight of the crucible with the sample befor drying,

M_3 : is the weight of the crucible with the sample after drying.

2.5. Ash Content (AC) [20]

Weigh approximately 5 g of the sample into a pre-tared porcelain crucible. Place the crucible into the ventilated oven set at 500°C ± 5°C. Maintain this temperature for 4 hours until obtaining white or light gray ashes apparently free from charred particles

2.6.Carbohydrate Content (CC) [18]

The carbohydrate content (CC) was determined by subtracting the sum of oil (OC), ash (AC), moisture (MC), and protein (PC) from 100, as follows:

Carbohydrate content (TC, %) = 100% - (% PC + % MC + % AC + % OC) (2)

2.7. Calculation of Energy Value (EV)[18]

The energy value (EV) was estimated based on the values of PC, OC, and CC, and expressed in kcal/100 g of dry powder using the following equation:

EV (kcal/100 g) = 2.62 × PC + 8.37 × OC + 4.2 × CC (3)

2.8. Oil Content

Firstly, 40 g of kernels were placed into an extraction cartridge. The cartridge was then loaded into a Soxhlet extractor. Oil was extracted using 140 mL of n-hexane as a solvent for 8 hours at 60°C. To remove residual solvent, the oil was subsequently dried in a rotary evaporator. The oil was then collected, and the yield was calculated.

The oil was extracted using a Soxhlet apparatus. All samples were stored in 30 mL glass bottles at 4°C in a refrigerator until the day of analysis.

2.9. Fatty Acid Composition [21]

Approximately 0.1g of the sample was weighed into a screw-capped test tube, to which 2 mL of isooctane was added and mixed. Then, 0.1 mL of 2mol/l potassium hydroxide methanolic solution was added, the cap was immediately fitted with a seal, tightened, and vigorously shaken for 1 minute. The solution brightened before becoming cloudy again due to glycerol separation. It was left to rest for about 2 minutes, then approximately 2 mL of sodium chloride solution was added and briefly shaken. The isooctane phase was then transferred into a separate tube. Approximately 1g of sodium hydrogen sulfate was added and the solution was shaken, then allowed to settle. The percentage of fatty acids was determined using the following ratio::

% Fatty Acid = Si/(Σ Si)*100.

Si : represents the surface area of the fatty acid.

∑Si : represents the sum of the surface areas of the different fatty acids.

RESULTS

3.1. Physical Characteristics of Nuts

In addition to chemical composition, the physical characteristics of nuts are very important as they define the quality of the nut. Argan nuts can be sorted based on their morphological characteristics. The results of the physical characteristics of the fruits are summarized in Table 1. There were significant variations among the studied varieties for nut weight (NW), shell weight (SW), and kernel weight (KW).

Table 1: Mean values of physical characteristics of nuts

Varieties	NW (g)	Width	Length	NSW (g)	KW (g)
Ghallate	1.45 ± 0.46	11.39 ± 1.69	18.01 ± 1.87	1.26 ± 0.42	0.19 ± 0.07
Khayr	1.95 ± 0.69	13.31 ± 1.47	18.82 ± 1.80	1.66 ± 0.58	0.28 ± 0.13
Mzhar	1.93 ± 0.60	12.04 ± 1.12	28.22 ± 2.75	1.65 ± 0.53	0.27 ± 0.11
Naama	2.06 ± 0.49	13.77 ± 0.94	19.72 ± 2.05	1.83 ± 0.43	0.23 ± 0.07
Zakia	1.46 ± 0.34	12.15 ± 1.06	16.92 ± 1.34	1.24 ± 0.27	0.22 0.07

3.2. Proximate Composition

Significant variations were found among the studied argan part varieties for almost all the evaluated parameters

3.2.1. Protein

The kernel protein for the varieties Ghallate, Khayr, Mzhar, Naama, and Zakia range from 19.61% to 23.21%.

3.2.2. Moisture content & Ash Content

The moisture content of the kernel ranged from 1.19% to 1.37%. Ash content is important for evaluating food quality as it is related to individual minerals [18]. In our results, there were significant differences among the five varieties studied. The values ranged from 1.94% to 2.45%.

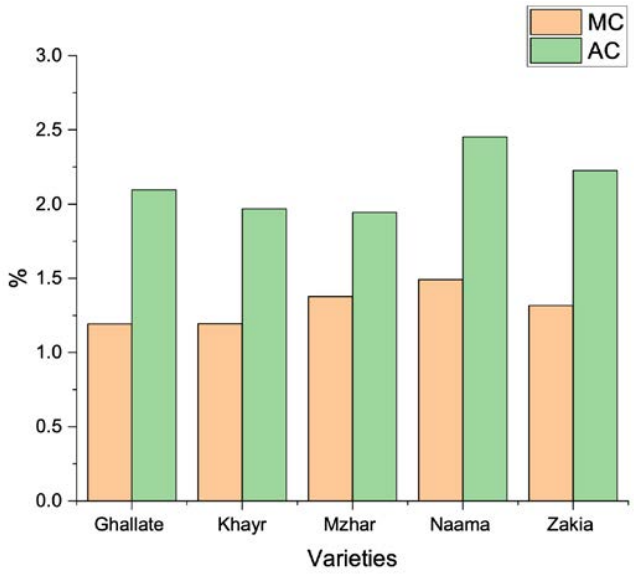


Figure 1. Moisture and Ash contents for kernels from five varieties of Argan.

3.3. Oil Content

Our results indicate that oil content ranged from 47.94% to 64.49%

3.4. Fatty Acid

The table presents the fatty acid composition (%) of five different varieties: Ghallate, Khyer, Mazhar, Naama, and Zakia. Each variety is analyzed for the content of various fatty acids, Notably, the figure presents the sum of saturated fatty acids (SFAs) and unsaturated fatty acids (UFAs), allowing for comparisons between varieties in terms of their overall fatty acid composition. The ratio of monounsaturated fatty acids (MUFAs) to polyunsaturated fatty acids (PUFAs) provides insight into the balance of different types of unsaturated fats in each variety.

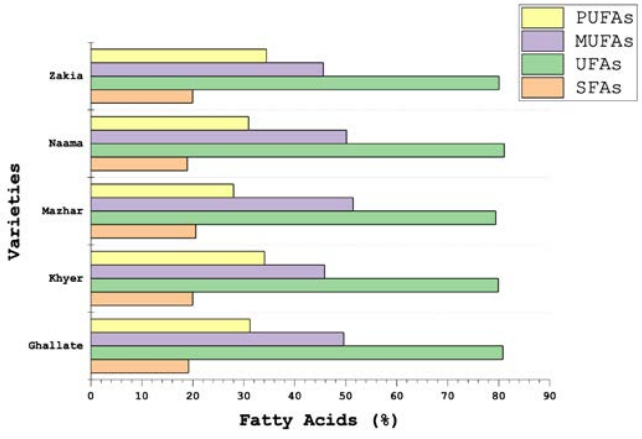


Figure 2. Fatty Acids for five varieties of Argan

DISCUSSION

4.1. Physical Characteristics of Nuts

The average nut weight of the studied varieties was 1.77 g, with only two varieties weighing less than this average. Nut weight varied from 1.45 g for 'Ghallate' to 2.06 g for 'Naama'. Higher shell values were observed in 'Naama' (1.82 g), while lower SW records were found in 'Zaakia'. 'Ghallate' nuts stood out for the smallest width, while 'Zaakia' nuts had the smallest length.

4.2 Proximate Composition

The results show significant diversity in protein, moisture, and ash content among the tested varieties. For instance, Kernel displays high protein content across all varieties, ranging from 19.61% to 23.21%. Additionally, the notably higher ash content in the kernel among varieties, ranging from 1.94% to 2.45%, raises questions regarding environmental factors influencing these measurements.

4.3. Oil Content

"Naama" stands out with the highest oil content, followed by "Ghallate", while "Khyer" records the lowest OC.

4.4. Carbohydrate Content (CC) & Energy Value (EV)

CC and EV for the five varieties show distinct characteristics. In terms of CC, khyer has the highest value at 28.38%, while Naama has the lowest at 28.36%. In terms of EV, Naama again has the highest value at 710.31, suggesting potentially different environmental conditions compared with the other varieties.

4.5. Fatty Acid Composition

Across the varieties, SFAs range from 18.91% to 20.58%, with Naama exhibiting the lowest and Mazhar the highest content. UFAs dominate the fatty acid composition, ranging from 79.42% to 81.07%. MUFAs contribute significantly, with values ranging from 45.61% to 51.42%, where Mazhar displays the highest and Khyer the lowest percentage. PUFAs, on the other hand, range from 28% to 34.45%, with Khyer showing the highest and Mazhar the lowest percentage.

CONCLUSIONS

In conclusion, the comprehensive analysis of parameters including oil content (OC), Carbohydrate Content (CC), Energy Value(EV), protein, moisture, ash content, and fatty acid composition across different varieties reveals significant diversity and distinct characteristics. These parameters collectively influence the quality, nutritional value, and suitability of each variety for various applications.

Acknowledgments : We extend our sincere gratitude to the Institut National de la Recherche Agronomique

– Agadir (INRA) for their invaluable support and collaboration in this research endeavor.

REFERENCES

1. Boukyoud, Z.; Ibourki, M.; Gharby, S.; Sakar, E.H.; Bijla, L.; Atifi, H.; Matthäus, B.; Laknifli, A.; Charrouf, Z. Can the Water Quality Influence the Chemical Composition, Sensory Properties, and Oxidative Stability of Traditionally Extracted Argan Oil? Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism 2021, 14, 383–399, doi:10.3233/MNM-210005.

2. El Monfalouti, H. Contribution à La Détermination Des Propriétés Photo-Protectrices et Anti-Oxydantes Des Dérives de l'arganier: Études Chimiques et Physiologiques. PhD Thesis, Reims, 2013.

3. Goto, M.; Kuda, T.; Shikano, A.; Takahashi, H.; Kimura, B. Effects of Ethanol-Precipitated Argan Press Cake on the Caecal Microbiome of Mice Fed a High-Sucrose Diet. Waste Biomass Valor 2021, 12, 5451–5460, doi:10.1007/s12649-021-01408-y.

4. Ruas, M.-P.; Ros, J.; Terral, J.-F.; Ivorra, S.; Andrianarinosy, H.; Ettahiri, A.S.; Fili, A.; Van Staëvel, J.-P. History and Archaeology of the Emblematic Argan Tree in the Medieval Anti-Atlas Mountains (Morocco). Quaternary International 2016, 404, 114–136, doi:10.1016/j.quaint.2015.09.030.

5. Kechairi, R.; Benmahioul, B. Comportement Des Plants d'Arganier (*Argania Spinosa* L. Skeels, Sapotaceae) Au Sud-Ouest Algérien (Tindouf, Bechar et Adrar). International Journal of Environmental Studies 2019, 76, 800–814, doi:10.1080/00207233.2019.1602378.

6. Gharby, S.; Harhar, H.; El Monfalouti, H.; Kartah, B.; Maata, N.; Guillaume, D.; Charrouf, Z. Chemical and Oxidative Properties of Olive and Argan Oils Sold on the Moroccan Market. A Comparative Study. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism 2012, 5, 31–38, doi:10.3233/s12349-011-0076-5.

7. Abdelhadi, A.; Bouharroud, R.; Zaafrani, M.; Naima, A.A.; Qessaoui, R.; Bahadou, H.; Mayad, E.H.; Tahiri, A.; Chebli, B. Ground Foraging Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Argane (*Argania Spinosa*, L) Ecosystem: Response to Grazing Impact. 2020.

8. Moussaoui, H.; Bahammou, Y.; Idlimam, A.; Lamharrar, A.; Abdenouri, N. Investigation of Hygroscopic Equilibrium and Modeling Sorption Isotherms of the Argan Products: A Comparative Study of Leaves, Pulps, and Fruits. Food and Bioproducts Processing 2019, 114, 12–22, doi:10.1016/j.fbp.2018.11.002.

9. Gharby, S.; Harhar, H.; Guillaume, D.; Haddad, A.; Matthäus, B.; Charrouf, Z. Oxidative Stability of Edible Argan Oil: A Two-Year Study. LWT - Food Science and Technology 2011, 44, 1–8, doi:10.1016/j.lwt.2010.07.003.

10. Harhar, H.; Gharby, S.; Kartah, B.; Pioch, D.; Guillaume, D.; Charrouf, Z. Effect of Harvest Date of *Argania Spinosa* Fruits on Argan Oil Quality. Industrial Crops and Products 2014, 56, 156–159, doi:10.1016/j.indcrop.2014.01.046.

11. Monfalouti, H. El; Guillaume, D.; Denhez, C.; Charrouf, Z. Therapeutic Potential of Argan Oil: A Review. Journal of Pharmacy and Pharmacology 2010, 62, 1669–1675, doi:10.1111/j.2042-7158.2010.01190.x.

12. Guillaume, D.O.M.; Charrouf, Z. Argan Oil for Nutritional and Skin Care Applications. 2013, 8, 28–30.

13. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Argan Oil: Occurrence, Composition and Impact on Human Health. European Journal of Lipid Science and Technology 2008.

14. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Argan Oil: Occurrence, Composition and Impact on Human Health. European Journal of Lipid Science and Technology 2008, 110, 632–636, doi:10.1002/ejlt.200700220.

15. Charrouf, Z.; Guillaume, D. The Argan Oil Project: Going from Utopia to Reality in 20 Years. OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids 2018, 25, 1–5, doi:10.1051/ocl/2018006.

16. Gharby S, Guillaume D, Nounah I, Harhar H, Hajib A, Matthäus B, C.Z. Shelf Life of Moroccan Prickly Pear (Opuntia Ficus-Indica) and Argan (*Argania Spinosa*) Oils: A Comparative Study. Grasas Aceites 2021, 72, e397, doi:https://doi.org/10.3989/gya.1147192.

17. Gharby, S.; Guillaume, D.; Elibrahimi, M.; Zoubida Charrouf Physico-Chemical Properties and Sensory Analysis of Deodorized Argan Oil. ACS Food Science & Technology 2021, XX, XX, doi:10.1021/acsfoodscitech.0c00107.

18. Bouzid, H.A.; Bijla, L.; Ibourki, M.; Oubannin, S.; Elgadi, S.; Koubachi, J.; Sakar, E.H.; Gharby, S. Ziziphus Lotus (L.) Lam. Almonds Nutritional Potential: Evidence from Proximate Composition, Mineral, Antioxidant Activity, and Lipid Profiling Reveals a Great Potential for Valorization. Biomass Conv. Bioref. 2023, doi:10.1007/s13399-023-03984-6.

19. ISO 18134-3:2023(En), Solid Biofuels — Determination of Moisture Content — Part 3: Moisture in General Analysis Sample Available online: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18134:-3:ed-2:v1:en (accessed on 29 January 2024).

20. Ibourki, M.; Azouguigh, F.; Jadouali, S.M.; Sakar, E.H.; Bijla, L.; Majourhat, K.; Gharby, S.; Laknifli, A.

Physical Fruit Traits, Nutritional Composition, and Seed Oil Fatty Acids Profiling in the Main Date Palm (Phoenix Dactylifera L.) Varieties Grown in Morocco. Journal of Food Quality 2021, 2021, e5138043, doi:10.1155/2021/5138043.

21. ISO 12966-2 Corps gras d'origines animale et végétale — Chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras — Partie 2: Préparation des esters méthyliques d'acides gras Available online: https://www.iso.org/fr/standard/72142.html (accessed on 30 January 2023).

Antioxidant effects of argan oil and olive oil against iron-induced oxidative stress : in vivo approache

Habiba Bouchab [1,2,3], Soukaina Essadek [1,4], Soufiane El Kamouni [1], Khadija Moustaid [5], Abdelkhalid Essamadi [1], Pierre Andreoletti [4], Mustapha Cherkaoui-Malki [4], Riad El Kebbaj [2,*] and Boubker Nasser [1,*]

[1] *Laboratory of Biochemistry, Neurosciences, Natural Resources and Environment, Faculty of Sciences and Technologies, Hassan First University, Settat 26000, Morocco; habibabouchab78@gmail.com (H.B.); ess.soukaina@hotmail.fr (S.E.); eks.soufiane@gmail.com (S.E.K.); essamadi@uhp.ac.ma (A.E.)*

[2] *Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University, Settat 26000, Morocco*

[3] *Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé (ISPITS), Errachidia, Morocco*

[4] *Bio-PeroxIL Laboratory, EA7270, Université de Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France ; pierre.andreoletti@u-bourgogne.fr (P.A.); mustapha.cherkaoui-malki@u-bourgogne.fr (M.C.-M.)*

[5] *Laboratory of Applied Chemistry and Environment, Faculty of Sciences and Technologies, Hassan First University, Settat 26000, Morocco; khadija.moustaid@uhp.ac.ma*

[*] *elkebbajriad@gmail.com ; boubker.nasser@uhp.ac.ma*

ABSTRACT

Recently, the study of the protective powers of medicinal plants has become the focus of several studies. (1) Context: Attention has been focused on the identification of new molecules with antioxidant and chelating properties to counter reactive oxygen species (ROS) involved as key elements in several pathologies. Considerable attention is given to argan oil (AO) and olive oil (OO) due to their particular composition and preventive properties. Thus, several metallic elements can induce oxidative stress, as a consequence of the formation of ROS. Iron is one of these metal ions, which participates in the generation of free radicals, especially OH from H2O2 via the Fenton reaction, initiating oxidative stress. (2) Methods: To study the antioxidant potential of AO and OO, we evaluated the activities of the enzymatic (superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx)) and metabolite markers (lipid peroxidation (MDA) and glutathione (GSH)) of the antioxidant balance. (3) Results: The results in mice show a variation in the level of iron-changed SOD and GPx activities and MDA and GSH levels. (4) Conclusions: These results reveal that the iron-changed ROS imbalance can be counteracted by AO and OO, which is probably related to their composition.

Keywords
oxidative stress; antioxidant enzymes; ferrous sulfate; argan oil; olive oil; brain; liver; kidney.

RÉSUMÉ

Effets antioxydants de l'huile d'argane et l'huile d'olive contre le stress oxydatif induit par le fer : Approche in Vivo

Récemment, l'étude du pouvoir protecteur des plantes médicinales est devenue le centre de plusieurs études. (1) Contexte : L'accent a été mis sur l'identification de nouvelles molécules aux propriétés antioxydantes et chélatrices pour contrer les espèces réactives de l'oxygène (ERO). Les maladies humaines sont impliquées comme des éléments clés dans plusieurs pathologies. Une attention considérable est accordée à l'huile d'argane (HA) et à l'huile d'olive (HO) en raison de leur composition particulière et de leurs propriétés préventives. Ainsi, plusieurs éléments métalliques peuvent induire un stress oxydatif, conséquence de la formation des ERO. Le fer est l'un de ces ions métalliques, qui participe à la génération des radicaux libres, en particulier OH• à partir du H2O2 via la réaction de Fenton, initiant ainsi le stress oxydatif. (2) Méthodes : Pour étudier

Mots clés
stress oxydatif; enzymes antioxydantes; sulfate du fer; huile d'argane; huile d'olive; cerveau; foie; reins.

le potentiel antioxydant de l'HA et de l'HO, nous avons évalué les activités des marqueurs enzymatiques (superoxyde dismutase (SOD), glutathion peroxydase (GPx)) et métaboliques (Peroxydation lipidique (MDA) et glutathion (GSH)) de l'équilibre antioxydant. (3) Résultats : Les résultats obtenus chez la souris montrent une variation du niveau des activités SOD et GPx modifiées par le fer, ainsi que des niveaux de MDA et de GSH. (4) Conclusions : Ces résultats révèlent que le déséquilibre des ERO modifié par le fer peut être contré par les HA et HO, ce qui est probablement lié à leur composition.

INTRODUCTION

Redox balances and maintaining their homeostasis are fundamental to biological systems and very important for cell survival, which involves free radicals as reactive oxygen species (ROS). ROS are routinely derived from normal cellular oxidative metabolism [1], including hydroxyl radicals (OH), superoxide anion (O2−), and hydrogen peroxide (H2O2) [2]. At a low level of production, ROS are signal molecules that regulate a wide range of physiological processes [3], and play diverse roles in cell growth, survival, and proliferation [4]. However, when formed at a high level, ROS trigger oxidative stress in living organisms [5]. To defend against oxidative stress, cells have evolved various enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems. The primary enzymatic antioxidant includes catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), and superoxide dismutase (SOD), while the second line of defense includes antioxidants such as GSH [6]. Accordingly, several metal elements can induce oxidative stress, as a consequence of the formation of ROS [7]. Iron, as one of these metal ions, is an essential constituent of the human body and a key player in oxygen transport and enzymatic functions [8]. Besides this, it participates also in the generation of free radicals [9], especially OH from H2O2 via the Fenton reaction, initiating oxidative stress [10]. Such oxidative stress is involved in the deterioration of cell constituents such as proteins, nucleic acids, and lipids [11], and is strongly implicated in the genesis of several neurodegenerative diseases such as Par-kinson's disease (PD), amyotrophic lateral sclerosis (ALS), Huntington's disease (HD), and Alzheimer's disease [12]. Nevertheless, various existing cell self-defense mechanisms counteract this oxidative stress, including catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), superoxide dismutase (SOD), and malondialdehyde (MDA) [6]. Numerous iron chelators have been chemically synthesized to treat many diseases related to iron overload [13] such as deferasirox (DFX), deferoxamine (DFO), and deferiprone (DFP). However, these drugs have limitations due to their side effects during acute and chronic administration [14], prompting many researchers to identify new molecules from medicinal plants, already used in traditional medicine pharmacopeia, with antioxidant and/or chelating iron activities. In this context, we previously focused our studies on the biological activities of vegetable oils. Hence, the consumption of certain oils known for their beneficial effects on health such as argan oil (AO), used in Morocco, and olive oil (OO), a usual ingredient in the Mediterranean diet, could have also beneficial effects on oxidative stress by stabilizing the activities of stress enzymes and inflammation [15–18]. In addition, argan oil obtained from the *Argania spinosa* tree has been used for centuries in the traditional Moroccan Amazigh food [19], while OO is well known as a Mediterranean diet component [20]. Chemical analyses show that AO and OO contain an unsaponifiable fraction, including tocopherols, polyphenols compounds, and phytosterols. AO is notable for high levels of schottenol and spinasterol as phytosterols, while OO predominantly contains β-sitosterol as its primary phytosterol compound [17,21]. A recent study reports that both oils have cytoprotective potential on 158N (A) and BV2 cells from 7-ketocholesterol toxicity [22]. It has been reported that phenolic compounds from medicinal plants play a role in preventing different diseases related to oxidative stress [23]. Interestingly, the AO saponifiable fraction contains 45% of the monounsaturated oleic acid (C18:1, Δ9) and 35% of the polyunsaturated linoleic acid (C18:2, Δ6), while the OO saponifiable fraction is composed of 75% oleic acid and 9% of linoleic acid, leading to a higher unsaturation index of 120.4 for AO versus 108.3 for OO [24]. Numerous studies revealed their anti-inflammatory, antioxidant, hepatoprotective, anti-DNA damage, and neuroprotective effects [16,18,25]. Therefore, it was interesting to specify its antioxidant activities and its protective effects on the toxicity related to iron overload. This work aimed to study the antioxidant effects of argan oil in iron-induced oxidative stress in vivo. Three organs were chosen in this present study: the liver, brain, and kidney. The antioxidant potential of argan oil was evaluated through the measurement of two antioxidant enzymes glutathione peroxidase (GPx) and superoxide dismutase (SOD) and biomarkers such as malondialdehyde (MDA) and reduced glutathione (GSH).

MATERIALS ET METHODS

2.1 Animals and Experimental Design

Male Swiss OF1 mice between 12 and 16 weeks of age were purchased from IFFA CREDO in Casablanca, Morocco. They were acclimatized to our laboratory conditions for 10 days in a pathogen-free environment at 22 ± 2 °C and a constant light–dark cycle (12 h–12 h). The concentration of iron used in our study was calculated to exceed the normal concentration of this chemical found in drinking water according to the World Health Organization (WHO), which is less than 0.3 mg/liter [26]. Before treatment (Table 5), the chow was kept under a hood to evaporate the acetone, which served as the diluent for the oils. Six groups of mice were distributed for 28 days as follows: group I: a standard chow (control) supplemented with acetone. Group II: a standard chow supplemented with 6% of argan oil (AO) solubilized in acetone. Group III: a standard chow supplemented with 6% of olive oil (OO) solubilized in acetone. Group IV: the reference drug Tardyferon (iron sulfate 3.5 mg Fe2+/liter) was dissolved in drinking water. Group V: the animals received iron and AO. Group VI: the animals received iron and OO. During 28 days, mice were weighed weekly using an electronic balance. At the end of the treatment period, liver, kidneys, and brain tissues were frozen in a dry ice bath and stored at −80 °C for further analysis.

2.2 Liver, Brain, and Kidney

A 10% (w/v) liver, kidney, and brain homogenates were prepared in 50 mM phosphate buffer (KH2PO4; K2HPO4; pH 7.4) using a potter. The supernatant (soluble protein fraction) obtained after centrifugation at 3000× g for 10 min at 4 °C was considered as the crude cell-free extract and small aliquots were stored at −20 °C until further analyses. The homogenate protein content was measured, according to the procedure described by [27] using bovine serum albumin as a standard.

2.3 Oxidative Stress Markers and Antioxidants

2.3.1 Lipid Peroxidation

MDA was determined by the thiobarbituric acid (TBA) reaction [28].

2.3.2 Glutathione

The level of GSH was measured by the method of [29].

2.4 Enzymatic Activity Measurements

2.4.1 Glutathione Peroxidase

The GPx activity was assayed as described by [30].

2.4.2 Superoxide Dismutase

The SOD activity was assayed as described by [31].

2.5 Statistical Analysis

All results were expressed as mean ± standard deviation. The statistical analysis to compare the two groups was performed with an unpaired, two-tailed, Student t-test; a p-value of 0.05 or less was deemed to be statistically significant.

RESULTS

3.1 Argan Oil Protects the Liver from Iron-Disturbed Antioxidant Activities

As shown in Figure 1, AO and OO treatments have no differential effects on GPx, SOD activity, and MDA and GSH levels. However, iron treatment results in an increase in lipid peroxidation products (expressed in MDA equivalents), which is +176.67% higher than the control group, unlike GSH, which is not affected by iron treatment. Combinations of AO and iron or OO and iron result in the restoration of MDA expression to control levels. On the other hand, compared with group C, the hepatic SOD and GPx activities in the iron group are significantly decreased by −48.08% and −77.79%, respectively.

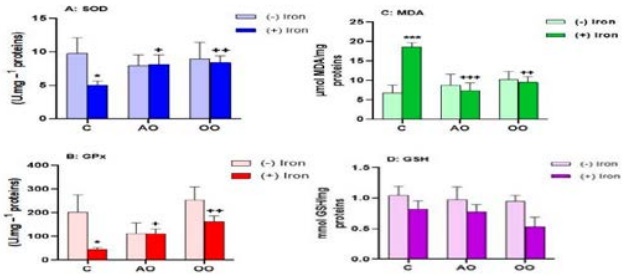


Figure 1: Antioxidant capacities of AO and OO in mouse liver upon iron treatment. (A) Superoxide dismutase activity (SOD). (B) Glutathione peroxidase activity (GPx). (C) Lipid peroxidation level (MDA). (D) Glutathione level (GSH). Mice received, for 28 days, a standard chow (control: C); a standard chow supplemented with 6% (w/w) argan oil (AO); a standard chow supplemented with 6% (w/w) olive oil (OO); a standard chow with the reference drug Tardyferon (iron sulfate 3.5 mg Fe2+/liter) dissolved in drinking water; the animals received iron and also AO; the animals received iron and also OO. All values are means ± SD (at least n = 3 per group). Statistical significance of higher mean signal intensity (*** $p < 0.001$, * $p < 0.05$) compared to control and (+++ $p < 0.001$, ++ $p < 0.01$, + $p < 0.05$) compared to iron.

3.2 Argan Oil Protects the Brain from Iron-Disturbed Antioxidant Activities

The results (Figure 2) show that iron does not affect the two enzymes studied. Interestingly, treatment with either AO or OO shows a decrease in GPx activity; this decrease persists only after OO and iron treatment. On the other hand, assessment of markers of oxidative

stress do not reveal the effect of different treatments on MDA levels. However, GSH levels are significantly reduced in iron-treated animals by −58.62% compared to C, and oil addition treatment results in significantly increased GSH levels in AO (+25.33%) and OO (+36.25%) compared with iron-overloaded mice.

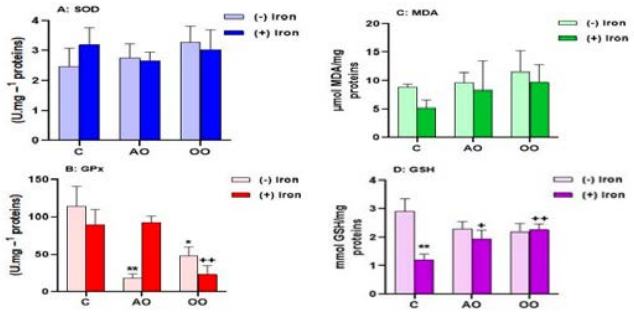


Figure 2: Antioxidant capacities of AO and OO in mouse brain upon iron treatment. (A) Superoxide dismutase activity (SOD). (B) Glutathione peroxidase activity (GPx). (C) Lipid peroxidation level (MDA). (D) Glutathione level (GSH). Mice received, for 28 days, a standard chow (control: C); a standard chow supplemented with 6% (w/w) argan oil (AO); a standard chow supplemented with 6% (w/w) olive oil (OO); a standard chow with the reference drug Tardyferon (iron sulfate 3.5 mg Fe2+/liter) dissolved in drinking water; the animals received iron and also AO; the animals received iron and also OO. All values are means ± SD (at least n = 3 per group). Statistical significance of higher mean signal intensity (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$) compared to control and (++ $p < 0.01$, + $p < 0.05$) compared to iron.

DISCUSSION

The antioxidant power of both oils is well described in the literature using chemical tests and in vitro evaluation. In the same logic, we wanted to study in vivo the preventive effect against oxidative stress. As we know, oxidative stress is a consequence of the imbalance between the production of free radicals and antioxidant defenses [32]. Many metals can induce oxidative stress as a result of ROS formation [7]. These metals include iron, which is an essential component of living cells and human health. However, an excessive amount of iron leads to overload that could cause various diseases such as chronic liver damage [33], because the liver is the organ responsible for iron storage and regulation [34]. Our results show a significant decrease in GPx and SOD activities. These changes in enzyme activities are concomitant with an increased level of MDA. On the other hand, the GSH content in the liver of mice loaded with iron is not affected by iron treatment. In our case, it seems that hepatic cells do not use the normal line of defense (Nrf2) to cope with oxidative stress, which normally results in increased activity of stress enzymes. This can be explained by the weakening of antioxidant functions by ROS, which is translated by altering the activity of SOD and GPx and increasing the level of MDA. In other words, the antioxidant defense system in the liver was insufficient to offer complete protection against iron-induced damage. The liver reaction to toxic iron is an increase in lipid peroxidation and a decrease in SOD and GPx activities. However, treatment with both oils may in-crease the antioxidant defense in the liver by limiting the MDA content and simulta-neously improving GPx and SOD activities, thus, decreasing lipid peroxidation. The equilibrium resulting from lipid peroxidation in the liver then allows the liver's antioxidant defense system to effectively protect the organ damage caused by iron overload. In our case, the protection by AO and OO is due to the activation of the Nrf2 pathway by the compounds contained in both oils. As described above, this activation triggers the expression of enzymes of stress and, subsequently, increases enzyme activity. Oxidative stress is involved in several brain diseases due to its sensitivity to the damages mediated by the ROS [35]. In our study, we show that there is no significant difference in brain activity of GPx and SOD in irontreated mice. This normal GPx activity is probably related to the non-production of their H2O2 substrate normally produced by SOD, which also did not have any change. Intriguingly, the treatment by AO or OO shows a decrease in GPx activity, which is conserved just in OO and iron treatment. On the other hand, the concentration of MDA in the brain is not affected by iron treatment in this study, suggesting that there is no effect on the MDA content in the brain. Nevertheless, the marker of GSH oxidative stress is significantly decreased in the brain, which could be related to a decline in microglial cells. These phagocyte resident cells regulate brain homeostasis [36]. As described in the literature, the decrease in GSH levels is the first indicator of oxidative stress in relation to Parkinson's disease [37]. Similarly, Parkinsonians have high levels of iron [38]. This opens up new perspectives for research in this field. To remedy the harmful effects of iron, we found that the supplementation of oils could counteract them in a way that normalized the level of GSH. In addition to their rich fatty acids, tocopherols and sterols, AO and OO are also rich in polyphenols (vanillic acid, syringic acid, acid ferulic, and tyrosol), with a predominance of ferulic acid in AO and tyrosol in OO. Polyphenols are known as regulators of the Nrf2 signaling pathway in triggering the expression of stress enzymes as described above. It appears that these compounds strengthen the an-tioxidant defenses of cells by induction of the synthesis of GSH, since even in relatively low concentrations, the polyphenols stimulate gene transcription to the synthesis of GSH in cells [39].

CONCLUSIONS

In the present study, our data show the antioxidant effects of argan oil and olive oil against iron-induced oxidative stress: in vivo in the liver, kidney, and brain. These results reveal that the iron-induced ROS imbalance can be scavenged by AO and OO, which is probably related to their particular composition, known for their antioxidant activities.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Weissman, L.; de Souza-Pinto, N.C.; Stevnsner, T.; Bohr, V.A. DNA Repair, Mitochondria, and Neurodegeneration. Neuro-science 2007, 145, 1318–1329.

2. Irazabal, M.V.; Torres, V.E. Reactive Oxygen Species and Redox Signaling in Chronic Kidney Disease. Cells 2020, 9, 1342.

3.Young, I.S.; Woodside, J.V. Antioxidants in Health and Disease. J. Clin. Pathol. 2001, 54, 176–186.

4. Casas, A.I.; Nogales, C.; Mucke, H.A.M.; Petraina, A.; Cuadrado, A.; Rojo, A.I.; Ghezzi, P.; Jaquet, V.; Augsburger, F.;

Dufrasne, F.; et al. On the Clinical Pharmacology of Reactive Oxygen Species. Pharmacol. Rev. 2020, 72, 801–828.

5. Xue, D.; Zhou, X.; Qiu, J. Emerging Role of NRF2 in ROS-Mediated Tumor Chemoresistance. Biomed. Pharmacother. 2020, 131, 110676.

6. Jiménez-Fernández, S.; Gurpegui, M.; Garrote-Rojas, D.; Gutiérrez-Rojas, L.; Carretero, M.D.; Correll, C.U. Oxidative Stress

Parameters and Antioxidants in Patients with Bipolar Disorder: Results from a Meta-analysis Comparing Patients, Includ-ing

Stratification by Polarity and Euthymic Status, with Healthy Controls. Bipolar Disord. 2021, 23, 117–129.

7.Khalid, M.; Hassani, S.; Abdollahi, M. Metal-Induced Oxidative Stress: An Evidence-Based Update of Advantages and Disadvantages. Curr. Opin. Toxicol. 2020, 20–21, 55–68.

8.Lal, A. Iron in Health and Disease: An Update. Indian J. Pediatr. 2020, 87, 58–65.

9.Paunovic, J.; Vucevic, D.; Radosavljevic, T.; Mandi´c-Raj˘cevi´c, S.; Pantic, I. Iron-Based Nanoparticles and Their Potential Toxicity: Focus on Oxidative Stress and Apoptosis. Chem.-Biol. Interact. 2020, 316, 108935.

10. González-Domínguez, Á.; Visiedo-García, F.M.; Domínguez-Riscart, J.; González-Domínguez, R.; Mateos, R.M.; Lechu-ga-Sancho, A.M. Iron Metabolism in Obesity and Metabolic Syndrome. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 5529.

11. Juan, C.A.; Pérez de la Lastra, J.M.; Plou, F.J.; Pérez-Lebeña, E. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies. Int. J. Mol. Sci. 2021, 22, 4642.

12. Saleem, U.; Sabir, S.; Niazi, S.G.; Naeem, M.; Ahmad, B. Role of Oxidative Stress and Antioxidant Defense Biomarkers in Neurodegenerative Diseases. Crit. Rev. Eukaryot. Gene Expr. 2020, 30, 311–322.

13. Malik, A.; Firke, S.D.; Patil, R.R.; Shirkhedkar, A.A.; Surana, S.J. Determination of Iron Chelating Agents by Analytical Meth-ods: A Review. Crit. Rev. Anal. Chem. 2020, 50, 254–264.

14. Taher, A.T.; Cappellini, M.D.; Aydinok, Y.; Porter, J.B.; Karakas, Z.; Viprakasit, V.; Siritanaratkul, N.; Kattamis, A.; Wang, C.; Zhu, Z.; et al. Optimising Iron Chelation Therapy with Deferasirox for Non-Transfusion-Dependent Thalassaemia Patients: 1-Year Results from the THETIS Study. Blood Cells Mol. Dis. 2016, 57, 23–29.

15. El Kebbaj, R.; Andreoletti, P.; El Hajj, H.I.; El Kharrassi, Y.; Vamecq, J.; Mandard, S.; Saih, F.-E.; Latruffe, N.; El Kebbaj, M.S.;

Lizard, G.; et al. Argan Oil Prevents Down-Regulation Induced by Endotoxin on Liver Fatty Acid Oxidation and Glucongen and on Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator-1α, (PGC-1α), Peroxisome Proliferator-Activated Receptor α (PPARα) and Estrogen Related Receptor α (ERRα). Biochim. Open 2015, 1, 51–59.

16. Bouchab, H.; Ishaq, A.; El Kebbaj, R.; Nasser, B.; Saretzki, G. Protective Effect of Argan Oil on DNA Damage in Vivo and in Vitro.Biomarkers 2021, 26, 425–433.

17. Badreddine, A.; Zarrouk, A.; Karym, E.M.; Debbabi, M.; Nury, T.; Meddeb, W.; Sghaier, R.; Bezine, M.; Vejux, A.; Martine, L.; et al. Argan Oil-Mediated Attenuation of Organelle Dysfunction, Oxidative Stress and Cell Death Induced by 7-Ketocholesterol in Murine Oligodendrocytes 158N. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2220.

18.18. El Kamouni, S.; El Kebbaj, R.; Andreoletti, P.; El Ktaibi, A.; Rharrassi, I.; Essamadi, A.; El Kebbaj, M.S.; Mandard, S.; Latruffe, N.; Vamecq, J.; et al. Protective Effect of Argan and Olive Oils against LPS-Induced Oxidative Stress and Inflamma-tion in Mice Livers. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2181.

19. Msanda, F.; Mayad, E.H.; Furze, J.N. Floristic Biodiversity, Biogeographical Significance, and Importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve. Environ. Sci. Pollut. Res. 2021, 28, 64156–64165.

20. Purba, J.H. The Analysis of European Union's Vegetable Oil Consumption: "Will The European Parliament Resolution Halt the

Consumption of Crude Palm Oil in the European Union in the Future?". Int. J. Appl. Bus. Econ. Res. 2017, 15, 27–39.

21. Lucarini, M.; Durazzo, A.; Nicoli, S.F.; Raffo, A.; Santini, A.; Novellino, E.; Souto, E.B.; Romani, A.; Belcaro, M.F.; Vita, C. Cold Pressed Argan (Argania spinose) Oil. In Cold Pressed Oils; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 459–465. Mol-ecules 2023, 28, 5924 18 of 20

22. Zarrouk, A.; Martine, L.; Grégoire, S.; Nury, T.; Meddeb, W.; Camus, E.; Badreddine, A.; Durand, P.; Namsi, A.; Yammine, A.; et al. Profile of Fatty Acids, Tocopherols, Phytosterols and Polyphenols in Mediterranean Oils (Argan Oils, Olive Oils, Milk Thistle Seed Oils and Nigella Seed Oil) and Evaluation of Their Antioxidant and Cytoprotective Activities. Curr. Pharm. Des. 2019, 25, 1791–1805.

23.23. Yan, Z.; Zhong, Y.; Duan, Y.; Chen, Q.; Li, F. Antioxidant Mechanism of Tea Polyphenols and Its Impact on Health Benefits. Anim. Nutr. 2020, 6, 115–123.

24. El Kebbaj, R.; El Kamouni, S.; El Hajj, H.I.; Andreoletti, P.; Gresti, J.; Latruffe, N.; El Kebbaj, M.S.; Vamecq, J.; Lizard, G.;

Nasser, B.; et al. Modulation of Peroxisomes Abundance by Argan Oil and Lipopolysaccharides in Acyl-CoA Oxidase 1-Deficient Fibroblasts. Health 2013, 5, 62.

25.25. Badreddine, A.; Zarrouk, A.; Meddeb, W.; Nury, T.; Rezig, L.; Debbabi, M.; Bessam, F.Z.; Brahmi, F.; Vejux, A.; Mejri, M.; et al. Antioxidant and Neuroprotective Properties of Mediterranean Oil. In Oxidative Stress and Dietary Antioxidants in Neurological Diseases; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 143–154.

26. World Health Organization. Safety Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol. 2, Health Criteria and Other Supporting Information; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 1996.

27. Lowry, O.H.; Rosebrough, N.J.; Farr, A.L.; Randall, R.J. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. J. Biol. Chem. 1951, 193, 265–275.

28. Ohkawa, H.; Ohishi, N.; Yagi, K. Assay for Lipid Peroxides in Animal Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction. Anal. Bio-chem. 1979, 95, 351–358.

29. Ellman, G.L. Tissue Sulfhydryl Groups. Arch. Biochem. Biophys. 1959, 82, 70–77.

30. Mills, G.C. The Purification and Properties of Glutathione Peroxidase of Erythrocytes. J. Biol. Chem. 1959, 234, 502–506.

31. Beyer, W.F.; Fridovich, I. Assaying for Superoxide Dismutase Activity: Some Large Consequences of Minor Changes in Con-ditions. Anal. Biochem. 1987, 161, 559–566.

32. Lobo, V.; Patil, A.; Phatak, A.; Chandra, N. Free Radicals, Antioxidants and Functional Foods: Impact on Human Health. Pharmacogn. Rev. 2010, 4, 118.

33. Xie, D.; Zhou, P.; Liu, L.; Jiang, W.; Xie, H.; Zhang, L.; Xie, D. Protective Effect of Astragaloside IV on Hepatic Injury Induced by Iron Overload. BioMed Res. Int. 2019, 2019, 3103946.

34. Rishi, G.; Subramaniam, V.N. The Liver in Regulation of Iron Homeostasis. Am. J. Physiol.-Gastrointest. Liver Physiol. 2017,

313, G157–G165.

35. Antoine, D. Quand Le Cerveau s'enflamme: Le Rôle Des Enzymes NOX Dans Certaines Maladies Du Cerveau. Available online: https://www.echosciences-grenoble.fr/communautes/atout-cerveau/articles/quand-le-cerveau-s-enflamme-le-roledes-ezymes-nox-dans-certaines-maladies-du-cerveau (accessed on 1 February 2022).

36. Vilhardt, F.; Haslund-Vinding, J.; Jaquet, V.; McBean, G. Microglia Antioxidant Systems and Redox Signalling. Br. J. Phar-macol.

2017, 174, 1719–1732.

37. Dringen, R. Metabolism and Functions of Glutathione in Brain. Prog. Neurobiol. 2000, 62, 649–671. [CrossRef] [PubMed]

38. Ndayisaba, A.; Kaindlstorfer, C.; Wenning, G.K. Iron in Neurodegeneration–Cause or Consequence? Front. Neurosci. 2019, 13, 180.

39. Rodrigo, R.; Gil, D.; Miranda-Merchak, A.; Kalantzidis, G. Antihypertensive Role of Polyphenols. In Advances in Clinical Chemistry; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2012; Volume 58, pp. 225–254. ISBN 978-0-12-394383-5.

Évaluation de la qualité nutritionnelle et technologique du pain de blé tendre mélangé au tourteau d'argan traité (*Argania spinosa*. L)

Asma El Kaourat [1*], Hasnae Choukri [2], Badreddine Kartah[1], Ahmed Snoussi [3], Aouatif Benali [4], Mona Taghouti [4], Hanae El Monfalouti [1]

[1] *Laboratory of Plant Chemistry, Organic and Bioorganic Synthesis, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco.*

[2] *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Rabat 10000, Morocco*

[3] *Higher School of Food Industries of Tunis, Innovation and Valorisation Laboratory for a Sustainable Food Industry, 58 Av. Alain Savary, 1003 Tunis El Khadra, Tunisia*

[4] *National Institute of Agricultural Research (INRA), Rabat-Instituts, Rue Hafiane Cherkaoui*

[*] *asma.elkaourat@gmail.com*

RÉSUMÉ :

La valorisation durable des déchets de la biomasse en nouveaux produits alimentaires peut avoir un impact socioéconomique et nutritionnel positif. Le processus d'extraction de l'huile d'argane génère 40 à 50 % de tourteau d'argane (TA), qui est riche en éléments nutritive (protéines, fibre, minéraux…). Cependant, la présence d'une grande quantité de saponines au goût amer empêche son utilisation comme source d'alimentation humaine. A cet égard, les objectifs de ce travail étaient de réduire le niveau de saponine dans le tourteau d'arganier par ébullition dans l'eau distilée, d'évaluer l'impact de ce traitement sur la qualité nutritionnelle. Ainsi que d'étudier la performance du tourteau traité (TT) en tant qu'ingrédient dans le pain à base de la farine de blé tendre (BT). Les résultats indiquent que le traitement a réduit d'une manière significative la teneur en saponine et d'améliorer la qualité du TT en matière de fer de zinc sans affecter la teneur en protéines par rapport au tourteau d'argane non traité (TNT). Néanmoins, l'acide phytique a été réduit de 40%. Cependant, l'ajout de TT à 5% ,10%, 15% et 20% a eu un effet positif sur les propriétés technologiques de la pâte à pain.

Mots clés
Tourteau d'argane, traitement d'ébullition, farine composite, panification.

ABSTRACT

Evaluation of the nutritional and technological quality of soft wheat bread mixed with treated argan cake (*Argania spinosa*. L)

The sustainable valorization of biomass waste into new food products can have a positive socio-economic and nutritional impact. The argan oil extraction process generates 40-50% argan cake (AC), which is rich in nutrients (protein, fiber, minerals, etc.). However, the presence of a large quantity of bitter-tasting saponins prevents its use as a human food source. In this respect, the objectives of this work were to reduce the level of saponin in argan cake by boiling in distilled water, to assess the impact of this treatment on nutritional quality. As well as to study the performance of the treated cake (TT) as an ingredient in bread based on whole wheat flour (BT). The results indicate that treatment significantly reduced saponin content and improved TT quality in terms of zinc iron, without affecting protein content, compared with untreated argan cake (TNT). Nevertheless, phytic acid was reduced by 40%. However, the addition of TT at 5%, 10%, 15% and 20% had a positive effect on the technological properties of the bread dough.

Keywords
Argan press cake, ebullition treatment, composite flour, bread-making.

INTRODUCTION

La sécurité alimentaire et le changement climatique sont parmi les plus grands défis auxquels le monde est confronté. En 2022, le nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire grave et ayant besoin d'une aide immédiate est passé à 193 millions en 2021 dans les 53 pays étudiés. En Afrique, 60 % de la population est touchée par une insécurité alimentaire modérée à grave [1] Ainsi, l'augmentation de la productivité agricole et de la production alimentaire durable est essentielle pour réduire le risque de famine et parvenir à un développement durable. Le Maroc, qui importe plusieurs denrées alimentaires telles que le blé, a été touché par cette flambée des prix mondiaux ainsi que par une grave sécheresse qui a affecté son secteur agricole, lequel représente environ 40 % de ses effectifs totaux [2]. Une transformation profonde du système alimentaire et agricole mondial est nécessaire pour pouvoir nourrir les plus de 820 millions de personnes qui souffrent de la faim et les 2 milliards de personnes de plus dont la population mondiale augmentera d'ici 2050.

L'arganier (*Argania spinosa* (L) Skeels) est une espèce endémique du sud-ouest du Maroc. Cet arbre à usages multiples joue un rôle socio-économique et environnemental crucial pour la population berbère. L'huile d'argane est le produit le plus important connu internationalement pour ses propriétés nutritionnelles ainsi que pour ses vertus thérapeutiques et cosmétiques, qui sont appréciées et très demandées par le secteur cosmétique [3], [4]. Le rendement en huile d'argane est d'environ 1 L à partir de 35 kg de fruits d'arganier [5], la production est estimée entre 2500 et 4000 tonnes/an ; en 20 ans, l'huile d'argane est devenue trop expansive sur le marché [6], [7] ce processus génère de grandes quantités de biomasse, environ 39,48 % de pulpe ; 53,75 % de coques et 6,77 % de grains [8], [9]. La quantité de tourteau d'argane produit au cours du processus de production de l'huile d'argane est de 2% [10]. La plupart de ces ingrédients sont gaspillés ou utilisés pour l'alimentation animale.

Le tourteau d'arganier est une bonne source de protéines (41-47%), fibres (16.72-17%), carbohydrate 9%, de lipides brutes (18-23.45%) [5], [6]. Cependant, la présence de 4 % de saponines dans l'APC réduit son utilisation à des buts nutritionnels [11]. Dans ce but, nous avons cherché à réduire la teneur en saponines dans le TT avec de l'eau distillée bouillante, et à évaluer l'effet de leur addition à la farine pour produire du pain, ce qui pourrait donner un aperçu de l'utilisation potentielle du tourteau d'arganier comme ingrédient fonctionnel, en réduisant les déchets de la production d'huile d'argane tout en améliorant la valeur nutritionnelle des produits de boulangerie.

MATERIALS ET METHODS

2.1. Détermination de la composition nutritionnelle

La réduction de la teneur en saponines du tourteau d'argane a été obtenue par ébullition dans de l'eau distillée. Ce processus a été réalisé à 90 °C pendant 10 minutes à l'aide d'un système à reflux. Après ébullition, les solutions ont été séparées des tourteaux par filtration sous vide. Le tourteau restant a ensuite été rincé avec de l'eau distillée et séchés dans un four à air chaud à 40 °C. Les échantillons obtenus ont été stockés dans des récipients en plastique hermétiquement fermés à 25 °C en vue d'une utilisation ultérieure.

Le tourteau d'argane récupéré dans une coopérative de production d'huile d'argane dans la région de Taroudant, au sud-ouest du Maroc, en 2022, et la farine de blé entier de la variété "LINA" de l'INRA (Institut national de recherche agricole) ont été moulus en farine fine avec des particules de taille uniforme à l'aide d'un Udy cyclone mill. Dif-férents mélanges de farines composites (BT : TT) (95 :5, 90 :10, 85 :15, et 80 :20), ont été formulés et stockés à 4 °C jusqu'à leur utilisation. La teneur en protéine de tous les échantillons a été déterminée en trois réplications, conformément à la méthode AOAC [12]. la teneur en minéraux (Zn et Fe) a été mesurée à l'aide d'une méthode publiée antérieurement [13]. La concentration des saponines a été déterminer par une méthode gravimétrique [14]. Ainsi, l'acide phytique a été mesuré à l'aide d'un kit Megazyme (Irlande) selon une méthode colorimétrique [15] [16].

2.2. Détermination des paramètres technologique

La mesure de la couleur a été déterminée en évaluant les paramètres suivants : L*, a* et b*, à l'aide d'un ChromaMeter CR-400 calibré (Minolta CR-100, Minolta Camera, Ja-pan). Pour étudier l'effet de l'addition de TT sur les propriétés de mélange (absorption d'eau et le temps de mélange) de la farine, on a utilisé le Mixographe (National Mfg. Co., Lincoln, NE). Les volumes des pains ont été déterminés en utilisant en remplacement des graines de colza (AACC, 2000, Standard 10-05). Les pains ont été préparés à l'aide d'une machine à pain domestique (Backmeister 68511, Unold, Hockenheim, Germany). Pour l'évaluation des couleurs et l'analyse des images du pain, les images ont été capturées à l'aide d'un scanner (CanoScan LiDE 220, Canon, Japan).

2.3. Analyse sensorielle

Un panel de dix testeurs volontaires (âge moyen 34,4 ± 5. 9) composé d'hommes et de femmes du Centre international de recherche agricole dans les zones arides (ICARDA), a évalué le contrôle BT et les pains composites, 5%TT, 10%TT, 15%TT, et 20%TT pour cinq attributs sensoriels : (Couleur de la croute, texture

de la croute, couleur de la mie, piquant et saveur, Masticité) sur une échelle affective en 5 points d (de 0 cm - extrêmement désagréable à 10 cm - extrêmement plai-sant).

RÉSULTATS

3.1. Effet de la réduction de la teneur en saponines sur la qualité nutritionnelle du (TA) et impact de l'addition de tourteau d'argane traité (TT) sur la qualité nutritionnelle du (BT).

La concentration initiale des saponines dans le tourteau d'argane a été diminué de 4,71 mg/g à 1,20 mg/g après le traitement. Cela a entraîné une légère réduction de la teneur en protéines, qui est passée de 47,70 % à 46,87 %. Les concentrations initiales moyennes de fer (Fe) et de zinc (Zn) étaient respectivement de 0,89 mg/100g et de 0,62 mg/100g. Cependant, après traitement, ces concentrations ont augmenté à 1,32 mg/100g pour le fer et à 0,93 mg/100g pour le zinc. De même, la teneur en acide phytique est passée de 1,78 % à 1,06 % du poids sec. La substitution de la farine de blé tendre (BT) par le TT a entraîné une augmentation significative des protéines, fer, zinc et d'acide phytique (Tableau1).

3.2. Propriétés rhéologiques des farines composites

Afin d'évaluer les caractéristiques rhéologiques des farines composites, nous avons examiné les propriétés de mélange de la farine de blé tendre avec différentes proportions du tourteau traité. L'absorption d'eau fait référence au volume d'eau que la farine absorbe pour maintenir une consistance idéale et améliorer la qualité de la pâte pour la préparation du pain [18]. Les résultats indiquent que la farine du BT présente l'absorption d'eau la plus faible (63,40 %). Cependant, toutes les farines composites ont une absorption d'eau plus élevée lorsque la proportion de farine composite augmente entre 5 % et 20 %, cette valeur augmente de 64,5 % à 67,6 %. Le temps de pétrissage requis pour le développement de la pâte montre que le tourteau d'argane traité réduise remarquablement le temps de mélange.

3.3. Evaluation de la qualité du pain composites

La qualité du pain a été évaluée en mesurant son volume, sa couleur et la structure cel-lulaire de la mie. Le BT a présenté le volume de pain le plus élevé, soit 1150 cm3. Le mélange du TT à un taux de 5 à 20 % a entraîné une réduction du volume du pain de 850 à 650 cm^3. La couleur de la mie est passée du blanc au brune, comme le montre la figure 1. Les valeurs L* et b* ont diminué de 64,03 à 56,9 et de 25,38 à 21,44 respectivement. Alors que (a*) a augmenté de 4,21 à 5,71. Les préférences des consommateurs ont été divisées en deux groupes : certains individus ont préféré le pain avec des pourcentages plus faibles 5%-10%TT, tandis que d'autres ont préféré le pain avec les pourcentages les plus élevés 15-20%TT (Tableau 2).

3.4. Figures, Tableaux et schémas

Tableau 1 : Effet de la réduction de la teneur en saponines sur la qualité nutritionnelle du (TA) et impact de l'addition de tourteau d'argane traité (TT) sur la qualité nutritionnelle et technologique du (BT).

	TNT	TT	BT	95%BT : 5%TT	90%BT : 10%TT	85%BT : 15%TT	80%BT : 20%TT
Saponines (mg/g)	4.71	1.20	–	–	–	–	–
Protéines	47.79 ±0.10	46.88 ± 0.06	13.56 ±0.03	14.17 ±0.01	15.13 ±0.03	15.62 ±0.03	16.33 ±0.03
Fer	0.87 ±0.04	1.32 ±0.01	0.39 ±0.01	0.50 ±0.02	0.56 ±0.01	0.58 ±0.01	0.59 ±0.01
Zinc	0.63 ±0.00	0.93 ±0.00	0.24 ±0.02	0.34 ±0.01	0.37 ±0.02	0.39 ±0.01	0.41 ±0.02
Acide phytique	1.63 ±0.10	1.03 ± 0.0	0.62 ±0.01	0.69 ±0.01	0.74 ±0.02	0.83 ±0.02	0.92 ±0.02
Absorption d'eau	–	–	63.4±0.0^a	64.5±0.2^b	65.4±0.0^f	66.4±0.0^g	67.6±0.2^h
L*	–	–	77.14 ± 0.08^a	83.68 ± 0.08^e	85.26 ± 0.11^b	84.60 ± 0.06^c	84.17 ± 0.05^d
a*	–	–	1.79 ± 0.05^a	0.69 ± 0.00^{bd}	0.62 ± 0.01^e	0.73 ± 0.02^{df}	0.76 ± 0.01^f
b*	–	–	12.56 ± 0.03^a	11.83 ± 0.03^e	12.41 ± 0.07^f	12.65 ± 0.04^g	12.46 ± 0.02^f

(TA) : tourteau d'argane, (TT) : tourteau d'argane traité, (BT) ; Blé tendre.

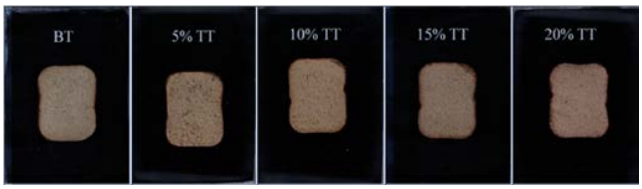


Figure 1 : Aspect du pain à base du blé tendre et du pains avec différents pourcentages du Tourteau d'argane traité.

Tableau 2 : Attributs sensoriels d'échantillons de pain composés de blé tendre et de tourteau d'arganier

Attributs	BT	95%BT : 5%TT	90%BT : 10%TT	85%BT : 15%TT	80%BT : 20%TT
Couleur de la croute	2.12±0.03^a	3.55±0.03^c	4.06±0.04^d	4.77±0.04^e	4.70±0.20^e
Texture de la croute	2.50±0.04^a	2.82±0.02^d	3.07±0.07 b	4.10±0.10 c	4.22±0.02^e
Couleur de la mie	3.25±0.05^a	2.23±0.03^d	2.54±0.01^e	2.13±0.03^f	1.53±0.03^g
Piquant et saveur	4.15±0.03^a	3.28±0.02^d	2.58±0.02^e	2.50±0.10^f	1.25±0.05 g
Masticité	4.11±0.03^a	3.25±0.15^d	2.57±0.03^e	2.79±0.01^f	2.35±0.05^g

DISCUSSION

L'application du traitement thermique réduit la teneur en saponine ; ces résultats sont également confirmés par P. Thavarajah et al [13]. Par conséquent, la méthode de traitement n'a pas eu d'impact significatif sur la teneur en protéines, comme déjà confirmé par N. Lakram et al [19].

L'acide phytique (phytate) est souvent présente dans les légumineuses, les graines et les céréales. Il est

connu pour réduire la biodisponibilité des minéraux et la digestibilité des protéines et des hydrates de carbone, en inhibant l'activité normale des enzymes digestives telles que la pepsine, la trypsine et l'amylase. C'est un agent chélateur pour les cations et une forme de cations ainsi que pour le stockage du phosphore dans de nombreuses graines [20]. L'acide phytique est principalement concentré dans le tourteau de l'arganier, dans ce contexte, le traitement a significativement réduit la teneur en acide phytique d'environ 40%. Les résultats de cette étude sont cohérents avec ceux d'une étude précédente [21], qui a étudié l'effet des processus de lavage, de trempage et de maltage sur le sorgho, entraînant des réductions des niveaux d'acide phytique de 15,6 %, 43,7 % et 54,9 %, respectivement. D'après nos résultats, les teneurs en fer et en zinc ont augmenté après le traitement par d'environ 34 et 32 % respectivement. Ces résultats suggèrent que la méthode de traitement a eu un impact positif sur la concentration du fer et du zinc, ce qui peut avoir des implications pour son utilisation dans les aliments afin de prévenir les carences nutritionnelles et l'anémie.

Les propriétés rhéologiques de la pâte dépendent largement de la structure du réseau de gluten. Des études antérieures suggèrent que l'amélioration de la résistance de la pâte peut être due à la réticulation ou à l'enchevêtrement des protéines facilité par l'incorporation des globulines. Les teneurs en albumine et en globulines du tourteau d'arganier récemment identifiées par Taarji et al, [22] confirment leur richesse en ces molécules.

Le mixographe fournit des informations essentielles sur le développement de la pâte et la formation du gluten. Le temps de pétrissage est l'un des facteurs les plus importants dans l'industrie de la boulangerie. Un temps de pétrissage plus court est souvent souhaitable car il réduit la consommation d'énergie. Dans notre étude, l'enrichissement de la farine de blé tendre avec du tourteau d'argane traité a permis de réduire le temps de pétrissage et d'augmenter l'absorption d'eau par rapport à la farine de BT. Cette tendance a également été observée dans le pain fabriqué à partir de farine de blé et d'arachide [23]. Cela peut être attribué à la rapidité de la formation du réseau de gluten dans la pâte, ce qui réduit la nécessité d'un mélange prolongé en raison de l'absence de gluten. Le volume du pain est considéré comme l'une des caractéristiques les plus im-portantes des produits de boulangerie, car il fournit une mesure qualitative des performances de cuisson [24], la diminution du volume du pain s'explique par une teneur élevée en protéines, qui diminue l'indice de gonflement, comme l'a déjà confirmé une étude antérieure [25], [26].

Dans l'ensemble, cette étude démontre que le tourteau d'argane traité offrent la possibilité d'améliorer la qualité nutritionnelle du pain et de promouvoir les industries zéro déchet en utilisant les sous-produits.

CONCLUSION

L'étude actuelle a conclu que le traitement entraîne une réduction significative des saponines, avec une légère réduction des protéines, amélioration de la concentration du fer et du zinc ainsi qu'une réduction de 40 % de l'acide phytique. L'ajout de TT à la farine de blé tendre s'est avéré bénéfique, améliorant son profil nutritionnel avec des niveaux accrus de protéines, et de minéraux avec des propriétés rhéologiques de la pâte très acceptables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] FAO, « Rising Global Food Insecurity: Assessing Policy Responses ». 2023.

[2] Office of Assistant Director-General (Economic and Social Department), *The state of food insecurity in the world 2000*. in The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI). Rome, Italy: Rome, Italy, 2000. Consulté le: 23 décembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fao.org/documents/card/en/c/e9526a08-d6df-5356-a290-2c993be41693

[3] H. El Monfalouti, « Argan oil: Occurrence, composition and impact on human health », 2010.

[4] S. Moutik et al., « The effect of using diet supplementation based on argane (*Argania spinosa*) on fattening performance, carcass characteristics and fatty acid composition of lambs », *Heliyon*, vol. 7, no 2, p. e05942, févr. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e05942.

[5] J. Zeghlouli, A. Guendouz, D. Duchez, C. El Modafar, P. Michaud, et C. Delattre, « Valorization of co-products generated by argan oil extraction process: application to biodiesel production », *Biofuels*, vol. 13, no 6, p. 771-777, mai 2022, doi: 10.1080/17597269.2021.1941573.

[6] A. El Abbassi, N. Khalid, H. Zbakh, et A. Ahmad, «Physicochemical characteristics, nutritional properties, and health benefits of argan oil: a review », *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 54, no 11, p. 1401-1414, 2014, doi: 10.1080/10408398.2011.638424.

[7] M. Cherki, H. Berrougui, A. Drissi, A. Adlouni, et A. Khalil, « Argan oil: Which benefits on cardiovascular diseases? », *Pharma-col. Res.*, vol. 54, no 1, p. 1-5, juill. 2006, doi: 10.1016/j.phrs.2006.02.004.

[8] D. Demnati, S. Sánchez, R. Pacheco, M. Zahar, et L. Martínez, « Comparative study of argan and olive fruits and oils », *Actes Prem. Congrès Int. L'Arganier*, vol. 7, p. 435-441, 2011, Consulté le: 25 décembre

2023. [En ligne]. Disponible sur: http://webagris.inra.org.ma/doc/ouvrages/arganier2011/arganier435441.pdf

[9] Y. Rahib, B. Sarh, J. Chaoufi, S. Bonnamy, et A. Elorf, « Physicochemical and thermal analysis of argan fruit residues (AFRs) as a new local biomass for bioenergy production », *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 145, p. 2405-2416, mai 2020, doi: 10.1007/s10973-020-09804-7.

[10] F. Z. Zouhair et al., « Typical characterization of argane pulp of various Moroccan areas: A new biomass for the second generation bioethanol production », *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 19, no 3, p. 192-198, avr. 2020, doi: 10.1016/j.jssas.2018.09.004.

[11] Z. Charrouf, J. M. Wieruszeski, S. Fkih-Tetouani, L. Y, M. Charrouf, et B. Fournet, « Triterpenoid saponins from *Argania spinosa* », *Phytochemistry*, vol. 31, no 6, p. 2079-2086, juin 1992, doi: 10.1016/0031-9422(92)80367-N.

[12] « Official Methods of Analysis Program », AOAC INTERNATIONAL. Consulté le: 30 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.aoac.org/scientific-solutions/standards-and-official-methods/

[13] P. Thavarajah, D. Thavarajah, et A. Vandenberg, « Low Phytic Acid Lentils (Lens culinaris L.): A Potential Solution for Increased Micronutrient Bioavailability », *J. Agric. Food Chem.*, vol. 57, no 19, p. 9044-9049, oct. 2009, doi: 10.1021/jf901636p.

[14] H. O. Edeoga, D. E. Okwu, et B. O. Mbaebie, « Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants », *Afr. J. Biotechnol., vol.* 4, no 7, Art. no 7, août 2005, doi: 10.4314/ajb.v4i7.15167.

[15] V. A. McKie et B. V. McCleary, « A Novel and Rapid Colorimetric Method for Measuring Total Phosphorus and Phytic Acid in Foods and Animal Feeds », *J. AOAC Int.*, vol. 99, no 3, p. 738-743, mai 2016, doi: 10.5740/jaoacint.16-0029.

[16] Megazyme Phytic Acid Assay Kit., « Available online at: https://www.megazyme. com/phytic-acid-assay-kit Available online at: https://www.megazyme. com/phytic-acid-assay-kit (accessed January 1, 2021). » 2021.

[17] A. Skendi, P. Mouselemidou, M. Papageorgiou, et E. Papastergiadis, « Effect of acorn meal-water combinations on technological properties and fine structure of gluten-free bread », *Food Chem.*, vol. 253, p. 119-126, juill. 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.01.144.

[18] M. Hussain et al., « Biochemical and nutritional profile of maize bran-enriched flour in relation to its end-use quality », Food Sci. Nutr., vol. 9, no 6, p. 3336-3345, 2021, doi: 10.1002/fsn3.2323.

[19] N. Lakram et al., « The impact of optimizing the detoxification of argane (*Argania spinosa*) press cake on nutritional quality and saponin levels. », 2019, Consulté le: 20 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20193256036

[20] G. Urbano, M. López-Jurado, P. Aranda, C. Vidal-Valverde, E. Tenorio, et J. Porres, « The role of phytic acid in legumes: antinutri-ent or beneficial function? », *J. Physiol. Biochem.*, vol. 56, no 3, p. 283-294, sept. 2000, doi: 10.1007/BF03179796.

[21] E. O. Keyata, Y. B. Tola, G. Bultosa, et S. F. Forsido, « Premilling treatments effects on nutritional composition, antinutritional factors, and in vitro mineral bioavailability of the improved Assosa I sorghum variety (Sorghum bicolor L.) », *Food Sci. Nutr.*, vol. 9, no 4, p. 1929-1938, 2021, doi: 10.1002/fsn3.2155.

[22] N. Taarji, K. Lyamlouli, A. Barakat, K. Tominaga, H. Isoda, et M. Nakajima, « Biochemical and techno-functional investigation of argan press-cake proteins foreseeing food application », *LWT*, vol. 192, p. 115734, janv. 2024, doi: 10.1016/j.lwt.2024.115734.

[23] S. G. Shongwe, S. W. Kidane, J. S. Shelembe, et T. P. Nkambule, « Dough rheology and physicochemical and sensory properties of wheat–peanut composite flour bread », *Legume Sci.*, vol. 4, no 3, sept. 2022, doi: 10.1002/leg3.138.

[24] Z. Kohajdova et K. J, « Influence of hydrocolloids on quality of baked goods », *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, vol. 2, no 07, p. 43-49, 2008, Consulté le: 24 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.infona.pl//resource/bwmeta1.element.agro-article-38f584b9-70d6-478c-a731-c0d46fb18b55

[25] O. J. Ikegwu, P. E. Okechukwu, et E. O. Ekumankana, « Physico-chemical and pasting characteristics of flour and starch from achi Brachystegia eurycoma seed. », *J. Food Technol.*, vol. 8, no 2, p. 58-66, 2010, Consulté le: 7 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103237615

[26] E. Julianti, H. Rusmarilin, Ridwansyah, et E. Yusraini, « Functional and rheological properties of composite flour from sweet potato, maize, soybean and xanthan gum », *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, vol. 16, no 2, p. 171-177, avr. 2017, doi: 10.1016/j.jssas.2015.05.005.

The potential role of major argan oil compounds as nrf2 regulators and their antioxidant effects

Riad El kebbaj [1*] Habiba Bouchab[1,2], Mounia Tahri Joutey [3,4], Soufiane Rabbaa[1,4] , Youness Limami[1] , Boubker Nasser [3], Melford C. Egbujor [5], Paolo Tucci [6] ,Pierre Andreoletti [4] , Luciano Saso [7], Mustapha Cherkaoui Malki [4]

[1] *Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat 26000, Morocco.*

[2] *Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé, Errachidia, Morocco.*

[3] *Laboratory of Biochemistry, Neuroscience, Natural Resources and Environment, Faculty of Science and Technology, Hassan First University of Settat 26000, Morocco.*

[4] *Bio-PeroxIL Laboratory, EA7270, University Bourgogne Franche-Comté/Inserm, 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France*

[5] *Department of Chemistry, Federal University Otuoke, Bayelsa State, Nigeria*

[6] *Department of Clinical and Experimental Medicine, University of Foggia, 71122 Foggia, Italy.*

[7] *Department of Physiology and Pharmacology "Vittorio Erspamer", Sapienza University of Rome, 00185 Rome, Italy*

[*] *elkebbajriad@gmail.com ;*

Keywords
Argan oil, Antioxidants, Nrf2, tocopherols, polyphenols, fatty acids.

ABSTRACT

In recent years, research on the discovery of natural compounds with potent antioxidant properties have shown a growing interest due to their potential therapeutic applications in oxidative stress-related diseases. Argan oil, derived from the kernels of a native tree from Morocco, *Argania spinosa* L., is renowned for its rich composition of bioactive compounds, prominently tocopherols, polyphenols and fatty acids. Interestingly, a large body of data has shown that several components of argan oil activate the nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (Nrf2) pathway, playing a crucial role in the cellular defense against oxidative stress. Activation of this Nrf2 pathway by argan oil components leads to increased expression of downstream target proteins like NAD(P)H quinone oxidoreductase (NQO1), superoxide dismutase (SOD), Heme oxygenase 1 (HO-1), and catalase (CAT). Such NrF2 activation accounts for several health benefits related to antioxidant defense, anti-inflammatory effects, cardiovascular health, and neuroprotection in organisms. Furthermore, the synergistic action of the bioactive compounds in argan oil enhances the Nrf2 pathway. Accordingly, the modulation of the Kelch-like ECH associated protein 1 (Keap1)/Nrf2 signaling pathway by these components highlights the potential of argan oil in protecting cells from oxidative stress and underlines its relevance in dietetic prevention and therapeutic applications. This review aims to provide an overview of how major compounds in argan oil activate the Nrf2 pathway, updating our knowledges on their mechanisms of action and associated health benefits.

RÉSUMÉ

Le rôle potentiel des principaux composés de l'huile d'argan en tant que régulateurs Nrf2 et leurs effets antioxydants

Mots clés
Huile d'Argane, Antioxidants, Nrf2, tocopherols, polyphenols, Acides gras..

Ces dernières années, la recherche scientifique sur la découverte des composés naturels ayant de puissantes propriétés antioxydantes a suscité un intérêt croissant en raison de leurs applications thérapeutiques potentielles dans les maladies liées au stress oxydatif. L'huile d'argane, dérivée des noyaux d'un arbre originaire du Maroc, *Argania spinosa*, est réputée pour sa riche composition en composés bioactifs, en particulier les tocophérols, les polyphénols et les acides

gras. Il est intéressant de noter que de nombreuses données ont montré que plusieurs composants de l'huile d'argane activent la voie du facteur nucléaire lié à l'érythroïde 2 (Nrf2), qui joue un rôle crucial dans la défense cellulaire contre le stress oxydatif. L'activation de cette voie Nrf2 par les composants de l'huile d'argane entraîne une augmentation de l'expression des protéines cibles en aval comme la NAD(P) H quinone oxido-reductase (NQO1), la superoxyde dismutase (SOD), l'hème oxygénase 1 (HO-1) et la catalase (CAT). Cette activation de NrF2 est à l'origine de plusieurs bienfaits pour la santé liés à la défense antioxydante, aux effets anti-inflammatoires, à la santé cardiovasculaire et à la neuroprotection chez les organismes. En outre, l'action synergique des composés bioactifs de l'huile d'argane renforce la voie Nrf2. En conséquence, la modulation de la voie de signalisation Keap1/Nrf2 par ces composants met en évidence le potentiel de l'huile d'argane dans la protection des cellules contre le stress oxydatif et souligne sa pertinence dans la prévention diététique et les applications thérapeutiques. Cette revue a pour but de fournir une vue d'ensemble de la façon dont les principaux composants de l'huile d'argane protègent les cellules du stress oxydatif.

INTRODUCTION

Our body naturally generates antioxidants to combat the harmful effects of free radicals. However, an imbalance can result in excess reactive oxygen species (ROS) production leading to oxidative stress [1]. The ROS are consistently produced in the organism from internal metabolism and external exposure [2,3]. The excessive production of free radicals can lead to various disorders, including cardiovascular diseases, cancer, and inflammatory pathologies [4]. To combat this oxidative stress, the organism has evolved a complex system of antioxidants which could be divided into enzymatic such as superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) and non-enzymatic such as glutathione (GSH), ascorbic acid and thioredoxin [5]. Nuclear factor erythroid 2-related factor 2 (Nrf2) is the main redox-sensitive transcription factor that plays a crucial role in regulating gene expression for molecules that have antioxidant properties [6]. In recent decades, there has been a growing interest in bioactive compounds that have a range of biological activities, including anti-inflammatory, anticancer, immunomodulatory, and antioxidant effects [7] [8] . In this context, argan oil has gained significant recognition for its unique composition and its numerous health benefits. It's obtained from *Argania Spinosa*, an endemic tree in the middle of Morocco [9]. Morocco produces 3000 to 4000 tons of argan oil annually, making it the world's leading producer [10]. Argan oil has traditionally been used for culinary, medicinal, and cosmetic purposes. It is used for joint issues, skin, hair, and nails [11]. Our research team has focused on exploring the antioxidative effect of argan oil and some of its components.

MATERIÉLS ET MÉTHODES

The present work provides a general review of the chemical composition of argan oil compared to other oils. Then, it delves into the antioxidant properties of argan oil as well as its effects on lipid metabolism. Moreover, it describes on the main redox-sensitive transcription factor, Nrf2, and its downstream signaling pathways. Finally, it focuses on the action mechanisms of argan oil and its components on the Nrf2 pathway, aiming to elucidate the antioxidative potential of compounds related to argan oil.

RÉSULTATS

3.1 Composition of argan oil

Argan oil has a unique composition marked by elevated levels of linoleic and oleic acids. Moreover, it is rich in polyphenols and tocopherols, which confer antioxidant properties. Additionally, argan oil contains other minor compounds such as carotenoids, squalene, sterols, and xanthophylls. These compounds potentially contribute to the nutritional value of argan oil, its health benefits, its organoleptic characteristics, and its shelf-life

The primary goal of Table 1 is to emphasize the differences in the chemical composition (sterols and tocopherols) of argan oil based on its geographical origin and the extraction method used.

It lists the five sterols found in argan oil. The two main sterols are schottenol and spinasterol, while stigmatasol, stigma-8,22-dien-3-ol, and stigma-7,24-dien-3-ol are found in trace amounts [12]. Both spinasterol and schottenol are absent from sunflower and olive oils [13]. Based on previous studies, the sterol content of argan oil (Table 1) remains unaffected

by different extraction methods and fruit origins. However, seasonal and regional variations cannot be excluded due to their influences related to the climate and the soil characteristics, respectively [13].

As natural antioxidants, four isoforms of tocopherols are found in vegetable oils: α-tocopherol (vitamin E), β-tocopherol, γ-tocopherol, and δ-tocopherol [14]. Argan oil contains double the amount of tocopherol as olive oil, with γ-tocopherol constituting the majority at over 75% of the total tocopherols[9].

Reported data reveal that the tocopherol content of argan oil can vary significantly between extraction methods and even between fruits grown in the same region(Table1).

Table1. Chemical composition of argan oil sterols and tocopherols by different extraction methods and in different geographical origins.

Extraction method	Extraction by mechanical press										Artisanal Extraction				Extraction by organic solvents		
Roasting	Roasted argan seeds					Non-roasted argan seeds					Roasted argan seeds			Non-roasted argan seeds			Roasted argan seeds
Depuling	Mechanical										Manual	Animal (Goat dejections)			Mechanical		
References	1 [13]	2 [15]	3 [12]	4 [16]	5 [17]	6 [18]	3 [12]	3 [12]	3 [12]	3 [12]	6 [18]	6 [18]	4 [16]	4 [16]	4 [16]	4 [16]	4 [16]
Geographical origin	Agadir	Taroudant	Tizdi Essaouira	Benaiznassen Chtouka ait baha	Tamanar Essaouira	Tiout Taroudant	Beniznassen Oujda	Ait mzal Chtouka ait baha	Ighrem Taroudant	Tizdi Essaouira	Tiout Taroudant	Tiout Taroudant	Tamanar Essaouira	Tamanar Essaouira	Tamanar Essaouira	Ighrem	Tamanar Essaouira
	Tocopherols mg/kg of oil																
α-Tocopherol	44.5±6.2	42.23 ± 2.52	26.6	37.2	35	16 ± 1.6	37.2	33.2	49.3	32.7	13 ± 1.3	30 ± 3.0	29.6	33.0	32.0	49.3	29.6
β-Tocopherol	3.1±0.8	3.07 ± 0.40													1.1		1.2
γ-Tocopherol	616.9±15.8	715.42 ± 7.8	631.3	701.1	480	382 ± 38.2	701.1	615.6	545.9	621.1	345 ± 34.5	283 ± 28.3	619.1	599.3	640.0	545.9	581.3
δ-Tocopherol	50.8±6.8	103.22 ± 4.19	59.5	37.2	122	21 ± 2.1	37.2	38.0	38.7	50.9	32 ± 3.2	21 ± 2.1	50.2	46.4	45.4	38.7	56.3
	Sterol mg/100 g of oil																
Schottenol			46.66	48.47	142	44 ± 2.2	48.47	44.99	46.12	43.39	46 ± 2.3	45 ± 2.3	46.03	47.43	44.62	46.12	45.39
Spinasterol			37.07	35.44	115	39 ± 2.0	35.44	39.17	39.29	38.50	38 ± 1.9	42 ± 2.1	36.11	38.54	37.05	39.29	36.91
Stigmasta-8,22-dien-3-ol			4.31	4.85	9	5 ± 0.3	4.85	4.77	5.40	4.57	5 ± 0.3	4 ± 0.2	4.08	3.01	4.21	5.40	4.99
Stigma 7,24--dien-3-ol			4.81	2.57		6 ± 0.3	2.57	4.71	3.55	5.94	5 ± 0.3	5 ± 0.3	4.48	4.67	6.89	3.55	4.48
Campesterol			0.20	0.11			0.11	0.24	0.31	0.17			0.16	0.14	0.16	0.31	0.20

3. Nrf2 and Argan Oil Compounds

Table 2. Biological activities of major argan oil compounds as Nrf2 pathway regulators in preclinical studies.

	Compound	Effective Concentration	Biological activities	NrF2 Down stream genes	Disease(s)	Study model	Ref
1	Linoleic acid	1 - 10 µM	Antioxidant	NQO1	Oxidative stress	IMR-32 neuroblastoma cells and cerebro-cortical neurons.	[19]
		>1 µM	Antioxidant	NQO1, HO-1, GCLM	Oxidative stress	HepG2 cells	[20]
		>1 µM	Antioxidant	HO-1	Oxidative stress	Murine dermal fibroblast	[21]
		0.6, 4 and 8 mL/kg	Antioxidant; anti-inflammatory	HO-1	Inflammation	Rats	[22]
		1 mM	Antioxidant	HO-1	Oxidative stress	Mice	[23]
2	Oleic acid	100 µM	Antioxidant, anti-inflammatory	-	Hepatic ischemia-reperfusion (I/R) injury	Mice	[24]
3	Ferulic acid	0-100 µM	Antioxidant, anti-inflammatory	SOD, CAT	Oxidative stress, inflammation, apoptosis	IPEC-J2 cells	[25]
		0.2-5 µM	Antioxidant	NQO1, HO-1, GCLM, GCLC	Oxidative stress	human umbilical vein endothelial cells (HUVECs)	[26]
		50 mg/kg	Antioxidant	NQO1, HO-1, GST, SOD, CAT, GPx	Oxidative stress	Rats	[27]
4	Alpha-tocopherol	0.01 mL/g	Antioxidant, anti-inflammatory	HO-1	Oxidative stress, obesity	mice	[28]
		100 µM	Antioxidant,	SOD	Oxidative stress	hTERT-RPE cells	[29]

CONCLUSIONS

When compared to other edible oils, Argan oil shows an unique composition, with high levels of linoleic and oleic acids, as well as polyphenols, sterols, and tocopherols. Nrf2 is the main redox-sensitive transcription factor that regulates the expression of genes that encode antioxidant molecules. This pathway plays a crucial role in controlling the cellular anti-oxidant response against oxidative damage. Major argan oil constituents have been shown to regulate the Nrf2 pathway, and their antioxidant properties highlight the natural re-source's possible therapeutic uses in enhancing cellular defense systems and reducing oxidative stress. This pathway plays a crucial role in controlling the cellular antioxidant response against oxidative damage. The antioxidant qualities of argan oil are attributed to its constituents, including fatty acids, polyphenols, and tocopherols. Such structurally diverse chemicals can scavenge free radicals, prevent lipid peroxidation, and enhance cellular resilience. These findings underline the chemical basis that gives argan oil its antioxidant properties and highlight its promising medicinal uses. Of note, minor components of argan oil, such as alpha-linolenic acid (ALA), contribute to its nutritional profile and can activate the skn-1/Nrf2 transcription factor, offering potential benefits at different levels by inhibiting oxidative stress, promoting longevity, and exerting an-ti-inflammatory effects. Moreover, the activation of the Nrf2 signaling pathway by gamma-linolenic acid (GLA) can alleviate muscle atrophy and increase antioxidant de-fense mechanisms. Collectively, this research highlights the interesting interplay between natural compounds and cellular defense systems, making the natural argan oil a sustainable option for improving health by curing oxidative-stress-related diseases. Future studies will further explore the dietetic potential of argan oil, paving the way for comprehensive healthcare approaches.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Sies, H.; Berndt, C.; Jones, D.P. Oxidative Stress. *Annu Rev Biochem* 2017, 86, 715–748, doi:10.1146/annurev-biochem-061516-045037.

2. Finkel, T. Signal Transduction by Reactive Oxygen Species. *Journal of Cell Biology* 2011, 194, 7–15, doi:10.1083/jcb.201102095.

3. Ma, Q. Transcriptional Responses to Oxidative Stress: Pathological and Toxicological Implications. *Pharmacol Ther* 2010, 125, 376–393, doi:10.1016/j.pharmthera.2009.11.004.

4. Tan, B.L.; Norhaizan, M.E.; Liew, W.-P.-P. Nutrients and Oxidative Stress: Friend or Foe? *Oxid Med Cell Longev* 2018, 2018, 9719584, doi:10.1155/2018/9719584.

5. Sies, H. Oxidative Stress: Oxidants and Antioxidants. *Experimental Physiology* 1997, 82, 291–295, doi:10.1113/expphysiol.1997.sp004024.

6. Ma, Q. Role of Nrf2 in Oxidative Stress and Toxicity. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 2013, 53, 401–426, doi:10.1146/annurev-pharmtox-011112-140320.

7. Marhoume, F.Z.; Aboufatima, R.; Zaid, Y.; Limami, Y.; Duval, R.E.; Laadraoui, J.; Belbachir, A.; Chait, A.; Bagri, A. Antioxidant and Polyphenol-Rich Ethanolic Extract of Rubia Tinctorum L. Prevents Urolithiasis in an Ethylene Glycol Experimental Model in Rats. *Molecules* 2021, 26, 1005, doi:10.3390/molecules26041005.

8. Ndayambaje, M.; Wahnou, H.; Sow, M.; Chgari, O.; Habyarimana, T.; Karkouri, M.; Limami, Y.; Naya, A.; Oudghiri, M. Exploring the Multifaceted Effects of *Ammi Visnaga* : Subchronic Toxicity, Antioxidant Capacity, Immunomodulatory, and Anti-Inflammatory Activities. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 2024, 87, 150–165, doi:10.1080/15287394.2023.2289430.

9. El Kharrassi, Y.; Maata, N.; Mazri, M.A.; El Kamouni, S.; Talbi, M.; El Kebbaj, R.; Moustaid, K.; Essamadi, A.K.; Andreoletti, P.; El Mzouri, E.H.; et al. Chemical and Phytochemical Characterizations of Argan Oil (*Argania Spinosa* L. Skeels), Olive Oil (Olea Europaea L. Cv. Moroccan Picholine), Cactus Pear (Opuntia Megacantha Salm-Dyck) Seed Oil and Cactus Cladode Essential Oil. *Food Measure* 2018, 12, 747–754, doi:10.1007/s11694-017-9688-x.

10. Taous, F.; Amenzou, N.; Marah, H.; Maia, R.; Maguas, C.; Bahmad, L.; Kelly, S. Stable Isotope Ratio Analysis as a New Tool to Trace the Geographical Origin of Argan Oils in Morocco. *Forensic Chemistry* 2020, 17, 100198, doi:10.1016/j.forc.2019.100198.

11. Lucarini, M.; Durazzo, A.; Nicoli, S.F.; Raffo, A.; Santini, A.; Novellino, E.; Souto, E.B.; Romani, A.; Belcaro, M.F.; Vita, C. Cold Pressed Argan (Argania Spinose) Oil. *In Cold Pressed Oils*; Elsevier, 2020; pp. 459–465.

12. Hilali, M.; Monfalouti, H.E.; Kartah, B.E. Evaluation of the Chemical Composition of Argan (*Argania Spinosa* L.) Oil According to Its Extraction Method, Origin of Production and Altitude. *Online Journal of Animal and Feed Research* 2020, 10, 111–118.

13. Harhar, H.; Gharby, S.; Kartah, B.; El Monfalouti, H.; Guillaume, D.; Charrouf, Z. Influence of Argan Kernel Roasting-Time on Virgin Argan Oil Composition and Oxidative Stability. *Plant Foods Hum Nutr* 2011, 66, 163–168, doi:10.1007/s11130-011-0220-x.

14. Adlouni, A. L'huile d'argan, de La Nutrition à La Santé. *Phytothérapie* 2010, 8, 89–97.

15. Kamal, R.; Kharbach, M.; Vander Heyden, Y.; Doukkali, Z.; Ghchime, R.; Bouklouze, A.; Cherrah, Y.; Alaoui, K. In Vivo Anti-Inflammatory Response and Bioactive Compounds' Profile of Polyphenolic Extracts from Edible Argan Oil (*Argania Spinosa* L.), Obtained by Two Extraction Methods. *J Food Biochem* 2019, 43, e13066, doi:10.1111/jfbc.13066.

16. Hilali, M.; Charrouf, Z.; Aziz Soulhi, A.E.; Hachimi, L.; Guillaume, D. Influence of Origin and Extraction Method on Argan Oil Physico-Chemical Characteristics and Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2005, 53, 2081–2087.

17. Khallouki, F.; Younos, C.; Soulimani, R.; Oster, T.; Charrouf, Z.; Spiegelhalder, B.; Bartsch, H.; Owen, R.W. Consumption of Argan Oil (Morocco) with Its Unique Profile of Fatty Acids, Tocopherols, Squalene, Sterols and Phenolic Compounds Should Confer Valuable Cancer Chemopreventive Effects. *European Journal of cancer prevention* 2003, 12, 67–75.

18. Matthäus, B.; Guillaume, D.; Gharby, S.; Haddad, A.; Harhar, H.; Charrouf, Z. Effect of Processing on the Quality of Edible Argan Oil. *Food chemistry* 2010, 120, 426–432.

19. Wang, R.; Kern, J.T.; Goodfriend, T.L.; Ball, D.L.; Luesch, H. Activation of the Antioxidant Response Element by Specific Oxidized Metabolites of Linoleic Acid. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 2009, 81, 53–59, doi:10.1016/j.plefa.2009.04.008.

20. Furumoto, H.; Nanthirudjanar, T.; Kume, T.; Izumi, Y.; Park, S.-B.; Kitamura, N.; Kishino, S.; Ogawa, J.; Hirata, T.; Sugawara, T. 10-Oxo-Trans-11-Octadecenoic Acid Generated from Linoleic Acid by a Gut Lactic Acid Bacterium Lactobacillus Plantarum Is Cytoprotective against Oxidative Stress. *Toxicology and Applied Pharmacology* 2016, 296, 1–9, doi:10.1016/j.taap.2016.02.012.

21. Romana-Souza, B.; Saguie, B.O.; Pereira De Almeida Nogueira, N.; Paes, M.; Dos Santos Valença, S.; Atella, G.C.; Monte-Alto-Costa, A. Oleic Acid and Hydroxytyrosol Present in Olive Oil Promote ROS and Inflammatory Response in Normal Cultures of Murine Dermal Fibroblasts through the NF-κB and NRF2 Pathways. *Food Research International* 2020, 131, 108984, doi:10.1016/j.foodres.2020.108984.

22. Hussein, M.E.; El Senousy, A.S.; Abd-elsalam, W.H.; Ahmed, K.A.; El-askary, H.I.; Mouneir, S.M.; Fishawy, A.M. Roselle Seed Oil and Its Nano-Formulation Alleviated Oxidative Stress, Activated Nrf2 and Downregulated m-RNA Expression Genes of Pro-Inflammatory Cytokines in Paracetamol-Intoxicated Rat Model. *Rec.Nat.Prod.* 2019, 14, 1–17, doi:10.25135/rnp.133.19.03.1220.

23. Wang, X.-H.; Cui, X.-X.; Sun, X.-Q.; Wang, X.-H.; Li, X.-C.; Qi, Y.; Li, W.; Han, M.-Y.; Muhammad, I.; Zhang, X.-Y. High Fat Diet-Induced Hepatic 18-Carbon Fatty Acids Accumulation Up-Regulates CYP2A5/CYP2A6 via NF-E2-Related Factor 2. *Front Pharmacol* 2017, 8, 233, doi:10.3389/fphar.2017.00233.

24. Guo, Y.; Cao, R.; Zhang, X.; Huang, L.; Sun, L.; Zhao, J.; Ma, J.; Han, C. Recent Progress in Rare Oncogenic Drivers and Targeted Therapy For Non-Small Cell Lung Cancer. *Onco Targets Ther* 2019, 12, 10343–10360, doi:10.2147/OTT.S230309.

25. Meng, X.; Yu, W.; Duan, N.; Wang, Z.; Shen, Y.; Wu, S. Protective Effects of Ferulic Acid on Deoxynivalenol-Induced Toxicity in IPEC-J2 Cells. *Toxins (Basel)* 2022, 14, 275, doi:10.3390/toxins14040275.

26. Ma, Z.-C.; Hong, Q.; Wang, Y.-G.; Tan, H.-L.; Xiao, C.-R.; Liang, Q.-D.; Zhang, B.-L.; Gao, Y. Ferulic Acid Protects Human Umbilical Vein Endothelial Cells from Radiation Induced Oxidative Stress by Phosphatidylinositol 3-Kinase and Extracellular Signal-Regulated Kinase Pathways. *Biological & Pharmaceutical Bulletin* 2010, 33, 29–34, doi:10.1248/bpb.33.29.

27. Adeyi, O.E.; Somade, O.T.; James, A.S.; Adeyi, A.O.; Ogbonna-Eze, S.N.; Salako, O.Q.; Makinde, T.V.; Ajadi, O.M.; Nosiru, S.A. Ferulic Acid Mitigates 2-Methoxyethanol-Induced Testicular Oxidative Stress via Combined Downregulation of FoxO1, PTEN, and Modulation of Nrf2-Hmox1-NQO1 Signaling Pathway in Rats. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine* 2023, 7, doi:10.1016/j.prmcm.2023.100257.

28. Tapia, G.; Silva, D.; Romero, N.; Pettinelli, P.; Dossi, C.G.; De Miguel, M.; González-Mañán, D. Role of Dietary α- and γ-Tocopherol from Rosa Mosqueta Oil in the Prevention of Alterations Induced by High-Fat Diet in a Murine Model. *Nutrition* 2018, 53, 1–8, doi:10.1016/j.nut.2018.01.012.

29. Duncan, R.S.; Hurtado, D.T.; Hall, C.W.; Koulen, P. Differential Mechanisms of Action and Efficacy of Vitamin E Components in Antioxidant Cytoprotection of Human Retinal Pigment Epithelium. *Front Pharmacol* 2022, 12, 798938, doi:10.3389/fphar.2021.798938.

Effets thérapeutiques de la consommation de l'huile d'argane sur les maladies inflammatoires chroniques des intestins

FZ. Hamdoun[1], O. El Abed[1], H. Abid[1], N. Lahmidani[1], A. El Mekaoui[1], M. El Yousfi[1], DA. Benajah[1], SA. Ibrahimi[1], M. El Abraki[1], M. Errasfa[2]

[1] *Service d'hépato-gastro-entérologie de CHU Hassan II. Faculté de médecine de pharmacie et de médecine dentaire. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès.*

[2] *Département de pharmacologie. Faculté de médecine de pharmacie et de médecine dentaire. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès*

[*] *mourad.er-rasfa@usmba.ac.ma*

Mots clés

Huile d'Argane, , Maladies inflammatoires chroniques des intestins, Calprotectine fécale Inflammation, Appareil digestif.

RÉSUMÉ

Introduction : Le produit phare de l'arbre arganier est l'huile d'argane, riche en substances bioactives : acides gras essentiels (acides oléique, linoléique et linolénique), tocophérols, caroténoïdes, stérols, polyphénols, squalène, mélatonine et Coenzyme Q10. Il a été démontré que certaines de ces molécules exercent des activités antioxydantes, antitumorales et anti-inflammatoires en expérimentation sur les cellules et les animaux. Par contre, peu d'études cliniques ont été réalisées sur l'huile d'argane. Dans ce sens et parmi ces études, nos équipes de recherches de plusieurs spécialités médicales (Fès et Rabat) ont réalisé plusieurs études cliniques sur l'effet de la consommation de l'huile d'argane sur plusieurs pathologies. La dernière étude clinique que nous rapportons dans ce travail a concerné l'effet de la consommation d'huile d'argane sur les maladies inflammatoires chroniques des intestins (MICI) que nous présentons dans ce résumé.

Matériels et Méthodes : Nous avons effectué l'étude clinique sur les patients souffrant de deux sortes de maladie inflammatoire chronique des intestins ; la maladie de Crohn (120 patients) et la réctocolite ulcérohémorragique (86 patients). Les patients (hommes et femmes) ont été assignés au hasard au groupe témoin et groupe traité par l'huile d'argane (30 ml chaque matin, pendant 3 mois). Les paramètres cliniques, biologiques (calprotectine fécale) et endoscopiques de deux groupes de patients ont été évalués avant et après la fin du traitement.

Résultats : Comparé au groupe témoin, la consommation d'huile d'argane a amélioré d'une manière statistiquement significative les scores cliniques, biologiques et endoscopiques chez les patients souffrant de MICI, détaillés ci-dessous.

Discussion et Conclusions : La consommation d'huile d'argane a pu produire des effets thérapeutiques sur les patients souffrant d'une MICI, et ce, à travers sa composition chimique riche en principes actifs naturels. Nos résultats devraient encourager des équipes de recherches cliniques à travers le territoire national à entreprendre d'autres sujets de recherches similaires, en particulier dans les pathologies des systèmes nerveux, cardiovasculaires et sur les maladies métabolique.

ABSTRACT

Therapeutic effects of argan oil consumption on Chronic Inflammatory Bowel Diseases.

Introduction : The flagship product of the argan tree is argan oil, rich in bioactive substances: essential fatty acids (oleic, linoleic and linolenic acids), tocopherols, carotenoids, sterols, polyphenols, squalene, melatonin and Coenzyme Q10.

It has been demonstrated that some of these molecules exert antioxidant, antitumor and anti-inflammatory activities in experiments on cells and animals. On the other hand, few clinical studies have been carried out on argan oil. In this sense and among these studies, our research teams from several medical specialties (Fez and Rabat) have carried out several clinical studies on the effect of consuming argan oil on pathologies such as chronic renal failure and metabolic syndrome-associated osteorthritis. Our current clinical study is about the effect of the of argan oil consumption on inflammatory bowel diseases (IBD).

Patients and methods : In the present work, a clinical study was carried out on patients suffering from two kinds of chronic inflammatory bowel disease; Crohn's disease (120 patients) and ulcerative colitis (86 patients). The patients (men and women all taking regular prescribed drugs for their bowed disease) were randomly assigned to the control group (no argan oil) and the group treated with argan oil (30 ml every morning, for 3 months). The clinical, biological (fecal calprotectin) and endoscopic parameters of the two groups of patients were evaluated before and after the end of treatment.

Results : Compared to the control group, the consumption of argan oil statistically and significantly improved the clinical, biological and endoscopic scores in patients suffering from IBD. Argan oil consumption has been able to produce therapeutic effects on patients suffering from IBD, through its chemical composition rich in natural active ingredients. Our results should encourage clinical research on other clinical topics, particularly in pathologies of the nervous, cardiovascular systems and metabolic diseases.

Keywords
Argane oil, Chronic inflammatory bowel diseases, Fecal calprotectin Inflammation, Digestive system.

INTRODUCTION :

L'huile d'argane est le produit phare de la "Reserve de Biosphère de l'aganeraie", première réserve de biosphère déclarée au Maroc par l'UNESCO en 1998. Elle est extraite à partir des amendons du fruit de l'Arganier (*Argania Spinosa* L) au Sud-ouest du Maroc. La population amazigh a toujours utilisé l'huile d'argane dans la tradition culinaire (graines torréfiées), mais aussi pour adoucir la peau par application externe ou encore comme remède aux douleurs articulaires et autres soucis de la santé comme ceux de la peau ou de l'appareil digestif.

Elle est riche en molécules biologiquement actives issues des métabolites secondaires de la plante dont les tocophérols (vitamine E), stérols, polyphénols, caroténoïdes, mélatonine, squalène et Coenzyme Q10, connues par leurs bienfaits sur la santé [1-6]. Ces molécules apportent un pouvoir anti-inflammatoire et surtout anti-oxydant, ce qui peut expliquer ses propriétés bénéfiques pour la santé.

L'huile d'argane a fait l'objet d'un intérêt particulier au sein de plusieurs équipes au Maroc et à l'étranger travaillant sur les effets thérapeutiques de l'huile d'argane). Plusieurs études cliniques ont été réalisées dans ce sens montrant notamment l'amélioration du bilan lipidique sanguin chez les patients ayant consommé l'huile d'argane [7-10]. Plus récemment, une étude clinique a montré que les patients souffrant d'arthrose du genou et qui ont en plus un syndrome métabolique, avaient eu un soulagement de la douleur articulaire, et avaient amélioré leur fonction physique et même certains paramètres du syndrome métabolique (glycémie, tension artérielle, LDL, HDL, Triglycérides) [11,12]. Une autre étude a montré ses propriétés à amé-liorer le profil lipidique principale-ment chez les hémodialysés chro-niques avec dyslipidémie [13,14].

La recherche clinique sur l'huile d'argane promet une place bien particulière pour ce produit naturel dans la prévention de certaines maladies ou même le traitement de certains facteurs de risques liés à certaines pathologies humaines.

Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI), dont la maladie de Crohn et la rétrocolite ulcérohémorragique (RCH) sont des maladies multifactorielles. Il semble que plusieurs intervenants soient impliqués dans le processus inflammatoire, dont les molécules classiques impliquées dans d'inflammation (neutrophiles, cellules endothéliales, les métabolites de l'acide arachidonique (prostaglandines et leukotriènes), radicaux libres oxygénés, les cytokines inflammatoires (IL1, IL6 et TNFalpha), les protéases et autres enzymes protéolytiques. L'apparition des biothérapies a révolutionné la prise en charge pharmacologique des MICI permettant un contrôle plus rapide et une obtention d'une cicatrisation muqueuse à court ou moyen terme [15].

L'objectif de notre étude est :

- Aborder, pour la première fois, l'effet de la consommation d'huile d'argane sur les MICI.
- Comparer les paramètres cliniques, biologiques et endoscopiques de deux groupes de patients : le premier groupe ayant reçu le traitement conventionnel seul, le 2éme ayant reçu l'huile d'argane en plus du traitement conventionnel.
- Comparer les scores des diagnostiques cliniques, endoscopiques et biologiques des deux groupes de patients de l'étude.

MÉTHODES :

Il s'agit d'un essai contrôlé où nous avons recruté au hasard, à partir des consultations spécialisées de MICI du service d'hépato-gastroentérologie du CHU HASSAN II de Fès, des patients suivis pour maladie de Crohn et RCH non compliquées. Les patients ont signé un consentement éclairé et l'étude a été approuvée par le comité d'éthique local de notre hôpital universitaire (accord n° 14/19 daté du 18/01/2001). La taille de l'échantillon était déterminée comme suite, en concertation avec le laboratoire d'épidémiologie :

Pour la maladie de Crohn : Le nombre de sujets était estimé à 120 patients (60 dans chaque groupe : avec et sans huile d'argan) afin de détecter une différence minimale, entre les deux groupes, de 70 points selon le score CDAI, avec une puissance de 90% et un risque α de 5%. Puisque l'utilisation de l'huile d'argan n'a jamais été tes-tée auparavant dans le traitement de la maladie de Crohn, nous nous sommes basés sur la variance retrouvée dans une étude pilote d'un essai clinique fait sur le cannabis [16].

Pour la RCH : Puisque aucune autre étude n'a été faite pour tester l'efficacité de l'huile d'argan dans le traitement de la rectocolite hémorragique, le calcul du nombre de patients nécessaires a été basé sur les données d'une métaanalyse faite sur des études ayant utilisé la transplantation de microbiote fécal pour le traitement de la RCH [17] qui a estimé le taux de rémission dans le groupe recevant le traitement à 60% contre 26% dans le groupe placebo. Pour une différence de 34% entre les 2 groupes, une puissance de 90% et un risque d'erreur de première espèce définie à 5%, le nombre de sujets nécessaire a été estimé à 86 patients (43 dans chaque groupe).

Tous les patients ayant une MICI non compliquée, légère à modérée sans limite d'âge et de sexe, ont été inclus. Nous avons exclu les patients porteurs de MICI compliquée ayant de lourdes comorbidités.

Le groupe témoin recevrait seulement le traitement conventionnel, alors que le groupe des cas, recevait en plus du traitement conventionnel, de l'huile d'Argane (2 cuillères à soupe « environ 30ml » par jour chaque matin avant le repas) pendant 3 mois.

L'huile d'argane utilisée était du commerce dont la qualité est attestée par un certificat d'analyse du producteur. L'huile était embouteillée dans des bouteilles en verre teinté d'un demi-litre et stockée au service de gastro-entérologie du CHU Hassan II au dé-but de l'étude, à l'abri de l'humidité et de la lumière. C'est une huile de commerce, amplement utilisée dans le commerce national et international. Sa qualité est garantie par une composition stable connue de l'huile d'argane en générale, qui répond aux normes de qualité en vigueur.

Les patients ont été suivis avant, pendant et après la consommation d'huile d'argane :

Clinique : avec mise en œuvre de l'hôpital du jour du service pour les consultations d'inclusion et pour le suivi.

Biologique : à travers le dosage des paramètres du syndrome inflammatoire ainsi que la calprotéctine fécale à trois mois.

Endoscopique : une coloscopie a été réalisée chez tous nos patients à 6 mois suivant les recommandations de l'ECCO pour pister l'amélioration et la rémission endoscopique.

Nous avons utilisé pour comparer entre les deux groupes le score CDEIS (Crohn's Disease Endoscopic Index score) pour la maladie de crohn et UCEIS (Ulcerative Colitis Endoscopic Index of Severity) pour la RCH.

La saisie et l'analyse des résultats ont été effectué par le logiciel statistique Package for social science (SPPS). Les variables quantitatives ont été exprimées en moyenne ± écart type. Les variables qualitatives ont été exprimées en effective et pourcentage. Le test de Student a été utilisé comme moyen d'analyse statistique pour comparer les données de chaque groupe.

RÉSULTATS :

Selon les critères d'inclusion et exclusion, nous avons recruté 86 patients atteints de RCH. Le sexe ratio (F/H) était 2,07. La répartition des patients selon le sexe est résumée dans la figure 1.

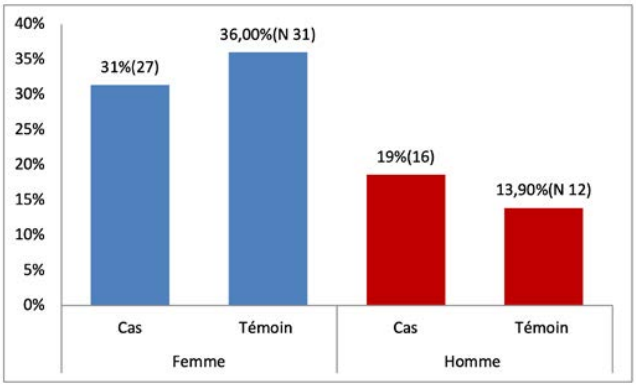


Figure 1 : Répartition des patients selon le sexe dans le groupe de la maladie RCH.

Plus de la moitié des patients 58.13% (N 50) ayant la RCH étaient en pancolite, 36% (N 31) avaient une localisation gauche et 5,81% (N 5) avaient une localisation distale. Concernant le traitement : 61,62% (N 53) étaient sous acide 5-aminosalicylique, 25.58% (N 22) étaient sous Azathioprine, 5.8% (N 5) étaient sous Purinéthol et 6.97% (N 6) sous Infliximab. Les données des patients du groupe témoin et groupe d'huile d'argane ont été comparés et la valeur p est donnée dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Caractéristiques cliniques des patients de l'étude at-teints de la RCH

	Groupe témoin	Groupe huile d'argan	p
Age	44,27±0,68	39,76±13,61	0,001
Sexe	1,68	2,58	
Rectorragies	93% (N 40)	74,4% (N 32)	0,038
Douleurs abdominales	0	2,32% (N1, 1 cas sur un total de 43 dans le bras cas)	1
Nombre des selles	2,8±0,21	2,91±0,53	0,67

Tableau 2 : Caractéristiques biologiques des patients de l'étude at-teints de la RCH

	Groupe témoin	Groupe huile d'argan	p
Hémoglobine	12,06±1,31	12,27±1,07	0,12
CRP	2[0 ; 50]	5[0 ; 45]	0,072
Calprotéctine fécale (µg/g)	505,27±391,72	506,80 ± 435,03	0,195

En comparant les patients ayant la RCH avant et après l'utilisation de l'huile d'Argane, nous avons constaté une amélioration significative dans le groupe des cas : le taux de calprotéctine fécale est passé de 506,80±435,03 µg/g à 165,41±137,02 µg/g avec un p=0,0001 et le score UCEIS est passé de 4,9±0,8 à 2,86±1,5 avec un p=0,0001. Dans le groupe des cas : 34,8% (N 15) étaient en rémission en fin d'étude, 53.48% (N 23) étaient en amélioration et 11,6% (N 5) nécessitaient une optimisation du traitement. Par contre, dans le groupe des témoins : seuls 4,65% (N 2) étaient en rémission en fin d'étude, 76,7% (N 33) étaient en amélioration et 18,6% (N 8) nécessitaient une optimisation du traitement.

Tableau 3 : Niveau de la calprotéctine et le score UCEIS avant et après traitements dans la RCH

	Groupe témoin			Groupe huile d'argan		
	Avant	Après	p	Avant	Après	P
Calprotéctine fécale	505,27±439,27	327,47±289,47	0,093	506,80±435,03	165,41±137,02	0,0001
UCEIS	2,72±0,29	1,74±0,46	0,027	4,9±0,8	2,86±1,5	0,0001

Concernant la maladie de Crohn, nous avons recruté 120 patients atteints de maladie de Crohn. Le sexe ratio (F/H) était 1,63. La ré-partition des patients selon le sexe est résumée dans la figure 2.

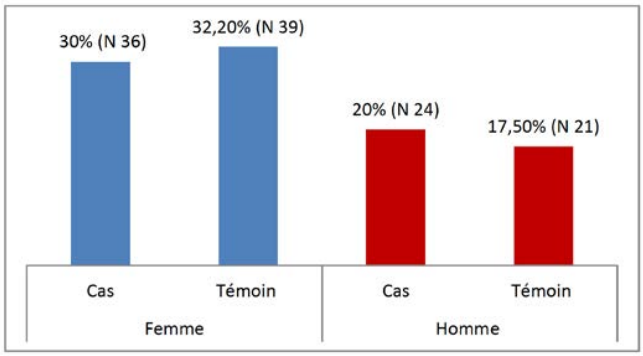


Figure 2: répartition des patients selon le sexe dans le groupe d'étude de la maladie de Crohn.

La localisation iléocolique était la plus fréquente avec 55,8% (N 67) contre la localisation colique uniquement avec 44,16% (N 53). Concernant le traitement : 2,5% (N 3) étaient sous acide 5-aminosalicylique, 73,33% (N 88) étaient sous immunossupresseurs, 22,5% (N 27) étaient sous anti TNF et 1,66% (N 2) étaient sous aucun traitement. Les caractéristiques cliniques et biologiques des patients sont représentées dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4: Caractéristiques cliniques des patients porteurs de la maladie de Crohn.

	Groupe témoin	Groupe huile d'argan	p
Age	41,31±11,95	39,45±11,91	0,706
Sexe ratio (F/H)	1,85	1,5	
Rectorragies	23,07% (N 6)	76,6% (N 26)	0,003
Douleursabdominales	77,35% (N 41)	22,64% (N12)	0,0001
Nombre des selles	2,65±0,56	2,41±0,75	0,0001

Tableau 5 : Caractéristiques biologiques des patients porteurs de la maladie de Crohn.

	Groupe témoin	Groupe huile d'argan	p
Hémoglobine	12,16±0,97	11,9±1,30	0,012
CRP	4[0 ; 50]	4[0 ; 57]	0,057
Calprotéctine fécale(µg/g)	558,71±309,44	511,10±30 8,94	0,095

La consommation d'huile d'Argane a contribué à diminuer chez les patients suivis pour la maladie de Crohn le taux de calprotectine fécale (723,29±395,37 µg/g vs 298,92±223,52 µg/g ; p=0,0001) ainsi que le score CDEIS (8,9±1,4 vs 5,53±0,4 ; p=0,0001) (Tableau 6). Dans le groupe des cas : 31,66% (N 19) étaient en rémission en fin d'étude, 45% (N 27) étaient en amélioration et 23,33% (N 14) nécessitaient une optimisation du traitement. Par contre, dans le groupe des témoins : seuls 3,33% (N 2) étaient en rémission en fin d'étude, 58.33% (N 35) étaient en amélioration et 38,33% (N 23) nécessitaient une optimisation du traitement.

Tableau 6 : Niveau de la calprotéctine et le score CDEIS avant et après traitements dans la maladie de Crohn

	Groupe témoin			Groupe huile d'Argan		
	Avant	Après	P	Avant	Après	P
calprotéctine fécale (µg/g)	776,59± 385,37	340,59± 233,52	0,001	723,29± 395,37	298,92± 223,52	0,0001
score CDEIS	9,3±0,95	6,8±2,08	0,001	8,9±1,4	2,86±1,5	0,0001

DISCUSSION :

Dans l'ensemble, la consommation de l'huile d'argane par les patients semble avoir eu un effet positif sur les scores cliniques, endoscopiques et biologiques. Ces résultats prouvent que la composition particulière de l'huile d'argane est derrière les effets positives de l'huile d'argane et que les substances actives de cette huile auraient des effets synergiques pour aboutir à contrecarrer certains phénomènes moléculaires néfastes dans la physiopathologie de plusieurs maladies comme les MICI.

CONCLUSIONS :

Les résultats positifs de cette étude sur les effets de la consommation d'huile d'argane sur les aspects cliniques et biologiques des MICI devraient encourager d'autres études de recherches cliniques sur les possibles intérêts thérapeutiques que pourrait avoir la consommation de l'huile d'argane sur d'autres pathologies.

RÉFÉRENCES :

[1]. 1. Gharby S, Harhar H, Guillaume D, Haddad A, Matthäus B, Charrouf Z . Oxidative stability of edible argan oil: A two-year study LWT - Food Science and Technology 2011; 44; 1-8

[2]. Kartah BE, El Monfalouti H, Harhar H, Gharby S, Charrouf Z and Matthaus B. Effect of filtration on virgin argan oil: Quality and Stabi-lity. J. Mater. Environ. Sci. 6 (10) (2015) 2871-2877

[3]. Khallouki F, Younos C, Soulimani R, Oster T, Charrouf Z, Spie-gelhalder B, Bartsch H, Owen RW. Consumption of argan oil (Mo-rocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols and phenolic compounds should confer valuable cancer chemopreventive effects. Eur J Cancer Prev. 2003 Feb;12(1):67-75

[4]. Marfil R, Giménez R, Martínez O, Bouzas PR , Rufián-Henares JA, Mesías M and Cabrera-Vique C. Determination of polyphenols, toco-pherols, and antioxidant capacity in virgin argan oil (*Argania spinosa*, Skeels). Eur J lipid sci tech 2011; 113 (7); 886-93

[5]. Rueda A, Seiquer I, Olalla M, Giménez R, Lara L, and Cabre-ra-Vique C. Characteri-zation of Fatty Acid Profile of Argan Oil and Other Edible Vegetable Oils by Gas Chro-matography and Discrimi-nant Analysis. Journal of Chemistry Volume 2014, Article ID 843908, 8 pages http://dx.doi.org/10.1155/2014/843908

[6]. Collier A, Lemaire B. Carotenoids of argan oil. Cah Nutr Diet 1974 ; 9 : 300-1.

[7]. Derouiche A, Cherki M, Drissi A, Bamou Y, El Messal M, Idris-si-Oudghiri A, Lecerf JM, Adlouni A. Nutritional intervention study with argan oil in man: effects on lipids and apolipoproteins. Ann Nutr Metab. 2005 May-Jun;49(3):196-201. Epub 2005 Jul 13

[8]. OuldMohamedou MM, Tacha A, El Messal M, El Kebbaj MS, Chraibi A, Adlouni A. The consumption of argan oil induces a li-pid-lowering effect in dyslipidemic patients. Med-iterranean journal of nutrition and metabolism 2012; 5 (2); 143-7.

[9]. Sour S, Belarbi M, Khaldi D, Benmansour N, Sari N, Nani A, Che-mat F, Visioli F. Argan oil improves surrogate markers of CVD in humans. . Br J Nutr. 2012 Jun;107(12):1800-5.

[10]. Haimeur A, Messaouri H, Ulmann L, Mimouni V, Masrar A, Chraibi A, Tremblin G, Meskini N. Argan oil prevents prothrombotic complications by lowering lipid levels and platelet aggregation, en-hancing oxidative status in dyslipidemic patients from the area of Rabat (Morocco). Lipids Health Dis. 2013 Jul 20;12:107. doi: 10.1186/1476-511X-12-107.

[11]. Jamila Essouiri, Fatima Ezzahra Abourazzak, Faiza Lazrak, Adil Najdi, Nadia Benaicha, Taoufik Harzy and Mourad Errasfa. Efficacy of Argane Oil on Metabolic Syn-drome in a Moroccan Knee Osteoarthritis Population. Curr Rheumatol Rev. 2018 Apr 20;14(1):84-88. doi: 10.2174/1573397112666161205103009. PMID: 27917705.

[12]. Jamila Essouiri, Taoufik Harzy, Nadia Benaicha, Mourad Errasfa, Fatima zahra Abourazzak. Effectiveness of Argan Oil Consumption on Knee Osteoarthritis Symptoms: A Randomized Controlled Clinical Trial. Curr Rheumatol Rev. 2017;13(3):231-235. doi: 10.2174/1573397113666170710123031. PMID: 28699499.

[13]. El Jaoudi R, Elkabbaj D, Bahadi A, Ibrahimi A, Benyahia M, Er-rasfa M. Consumption of Argan Oil Improves Anti-Oxidant and Lipid Status in Hemodialysis Patients. Phytother Res. 2015 Oct;29 (10):1595-9.

[14]. Fatima Zahra batta, Tarik Sqalli Houssaini, Kaoutar Alaoui Sekkouri, Hanae Alaoui, Souad Dahri, Khadija Alaoui Belghiti, Mohamed Arrayhani and Mourad Errasfa. He-modialysis-associated dyslipidemia: effectof virgin argane oil consumption. Journal of International Research in Me-dical and Pharmaceutical Sciences, 2016, 9(3): 139-14

[15]. X. Treton. Traitement des maladies inflammatoires de l'intestin en 2022. Hépa-to-Gastro et Oncologie Digestive / Volume 29 • Numéro 10 • décembre 2022.

[16]. TIMNA NAFTALI. Cannabis Induces a Clinical Response in Pa-tients With Crohn's Disease: A Prospective Placebo-Controlled Study. CLINICAL GASTROENTEROLOGY AND HEPATOLOGY 2013;11:1276–1280.https://doi.org/10.1016/j.cgh.2013.04.034

[17]. Alon Lang. Curcumin in Combination With Mesalamine Induces Remission in Pa-tients With Mild-to-Moderate Ulcerative Colitis in a Randomized Controlled Trial. Clinical Gastroenterology and Hepatology 2015;13:1444–1449.DOI: 10.1016/j.cgh.2015.02.019

Developement of two argan oil-based recipes worth for many health conditions

M. Errasfa[1]

[1] *Département de pharmacologie. Faculté de médecine, pharmacie et de médecine dentaire. Fès. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Fès*

[*] *mourad.er-rasfa@usmba.ac.ma*

Keywords
functional diet, argan, olive, flaxseed, immune sytstem, anti-oxidant, inflammation.

ABSTRACT

Background: Many pathologic situations are associated with a decrease of the immune capacities of patients. Special functional food could be of help for many kind of patients. Such an example is argane oil which has been shown to be effective in several health conditions. For this porpose, elaboration of two functional mediterranean based diets is described.

Methods: A combined oil mixture and a special food recipe were prepared from Argane oil, olive oil, flaxseed oil, several plant seeds (sesame, anise, green anise, flaxseed), almonds, cinnamon, icing sugar and pure honey. For the tasting of combined oil mixtures, organoleptic tests were carried out to selecting the best accepted taste of the prepared formulations from several known mixed oil proportions.

Results: The plant oil mixture (50% argan oil, 40% olive oil , 10% flaxseed oil) gave the best accepted formulation, and an energy supply of 894 calories per 100 ml. It brings a balanced omega 6/9/3 fatty acid composition, enriched with gamma tocopherol, sterols and polyphenols. We also prepared an argan oil and a plant-based dessert ; a granulated powder preparation, with an energy supply of 632 calories per 100g and, rich in essential fatty acids, and other antioxidants and active ingredients.

Conclusion : The plant oil mixture and the plant-based dessert described in the present study composed of the best active ingredients of several edible oils, plant seeds, spices and pure honey could be of extreme importance for boosting immunity and antioxidant status in health conditions and chronic diseases. It is also an excellent daily functional diet food of intense physical and mental activities.

Mots clés
huile d'argan, olive, graines de lin, système immunitaire, anti-oxydant.

RÉSUMÉ

Développement de deux recettes culinaires à base d'huile d'argane utiles pour une bonne santé

Introduction : De nombreuses situations pathologiques sont associées à une diminution des capacités immunitaires des patients. Des aliments fonctionnels spéciaux pourraient être utiles à de nombreux types de patients. Un tel exemple est l'huile d'argane qui s'est révélée efficace dans plusieurs problèmes de santé. Pour ce projet, l'élaboration de deux recettes culinaires à bases d'huile d'argane et d'autres ingrédients riches en vitamines et sels minéraux est décrite.

Méthodes : Un mélange d'huiles combinées et une recette culinaire spéciale ont été préparés à partir d'huile d'argane, d'huile d'olive, d'huile de lin, de plusieurs graines de plantes (sésame, anis, anis vert, graines de lin), d'amandes, de cannelle, de sucre glacé et de miel pur. Des tests organoleptiques ont été réalisés pour sélectionner les meilleures formulations.

Résultats : Les mélanges d'huiles végétales ont abouti au choix de la meilleure combinaison qu'est : 50% huile d'argan, 40% huile d'olive, 10% huile de lin.

Celle-ci a donné la formulation la mieux acceptée par son goût, et un apport énergétique de 894 calories pour 100 ml. Cette formulation apporte une composition équilibrée en acides gras oméga 6/9/3, enrichie en gamma tocophérol, stérols et polyphénols. D'autre part, nous avons également préparé à partir de l'huile d'argan un dessert à base de de plusieurs graines de plantes (sésame, anis, anis vert, graines de lin), d'amandes, de cannelle, de sucre glacé et de miel pur, dont le conditionnement final est une préparation en poudre granulée, avec un apport énergétique de 632 calories pour 100 g et riche en acides gras essentiels, et autres antioxydants et principes actifs.

Conclusions : Le mélange d'huiles végétales et le dessert culinaire à base d'huile d'argane et de graines décrits dans la présente étude, composés des meilleurs ingrédients de plusieurs huiles comestibles, graines de plantes, épices et miel pur, pourraient être d'une extrême importance pour renforcer l'immunité et le statut antioxydant pour une bonne santé. Ces préparations pourraient être très utiles pour certaines conditions physiques précaires et certaines maladies chroniques. C'est également d'excellentes formulations diététiques pour booster les activités physiques et mentales.

INTRODUCTION

Argan oil: Among edible oils, Argan oil "AO" is extracted from the nuts of an endemic tree in south-west of Morocco, called *Argania Spinoa* L. For many centuries, the amazigh/berber population has used AO for culinary purposes, and also as traditional cosmetic to moisturize and soften skin. Most importantly, AO has always been used as a traditional medicine for joint pain and many other health issues. Chemical composition of AO has been studied thoroughly (1-4). AO chemical composition is as follows: 99% of it are triglycerides that contain most of the fatty acids of AO, of whom, 80 % belong to the unsaturated category of fatty acids, such as oleic acid (45%) and linoleic acid (34%). The most abundant saturated fatty acid in AO is palmitic acid (12%). Sterols in AO are represented by two major molecules, namely, schottenol (46%) and spinasterol (38%). Most of the clinical studies that were carried out on AO have focused on its effect on blood lipids and oxidative status. Several studies have shown that the consumption of AO for several weeks can improve plasma lipid status in humans (5-11). In controlled randomized clinical studies in chronic hemodialysis patients and osteoarthritis patients, AO consumption improved blood lipid profiles, oxidative status and several parameters of metabolic syndrome and pain-associated osteoarthritis.

Olive oil: Thanks to its chemical composition, olive oil consumption has many health benefits, as reported by several clinical trials (12-14). Its consumption is associated with a low incidence of cardiovascular events, hypertension and stroke in men. This low incidence is thought to be associated with the content of oleic acid and other fish omega 3 fatty acids which are abundant in olive oil and fish, respectively. Among edible oils, olive oil has the highest content of oleic acid and polyphenol molecules.

Flaxseed oil: Flaxseed oil is among the richest plant sources of omega 3 fatty linolenic fatty acid that can be transformed in human body to eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid (15,16). Flaxseed consumption was shown to have anti-hypertensive (17) and anti-cancer (18) properties.

Plant seeds, spices and dry fruits: Plant seeds such as sesame, anis, green anis, and dry fruits such as almonds are very rich in minerals and vitamins. They are used in many traditional cuisines in the mediterranean countries and they also are used as ingredients for many cake recipes.

Pure honey: Honey is a popular source of vitamins, minerals and a lot of active substances. It is known for its broad health benefits (19).

In the present paper, I suggest two food preparations made of argan oil, olive oil, flaxseed oil, plant seeds, almonds, honey and spices. The first preparation is intended to bring a balanced mixture of fatty acids and anti-oxidant molecules. The second food preparation contains ground seeds, spices, almonds, honey and argan oil. It is very appreciated in the Moroccan traditional gourmet, as a sweet and energetic multivitamins functional food preparation.

MATERIAL AND METHODS:

Materials:

Virgen argan oil used in the present study was purchased from a specialized argan oil producer. It is similar to the one that we previously used in our clinical trials in rheumatology and nephrology studies (13-16). Virgen olive oil was purchased from a local

specialized store market. Flaxseed oil was generously prepared and provided by our argan oil provider. Plant seeds, dry fruits, spices, pure honey and sugar were purchased from a local traditional Moroccan market. The following ingredients were used: Sesame seeds, anis seed, green anis, cinnamon, almonds, pure honey and icing sugar.

Preparation of the plant oil mixture :

Organoleptic tests of several oil mixtures made of argan oil, olive oil and flaxseed oil were carried out. Four trained persons participated in the organoleptic test. A score was given to the taste of a given oil mixture preparation, using a scale ranging from 0 to 10, taking into account the good flavor and the acceptability of the maximum level of bitter taste (due to flaxeed oil content) in the oil mixture; . The higher score, the better taste is. Several oil mixtures were prepared with the three different oils, to achieve a given percentage of each oil in the total oil mixture. One of the above oil mixtures that was chosen for its best organoleptic characteristics is used later to make the oil mixture, which is intended for consumption on a daily regular basis of 30 ml per day, usually, at breakfast time. it can be administered orally alone with a tablespoon, or can be consumed on toasted bread.

Preparation of a new argan and plant-based dessert:

The following are the ingredients to add: 500g of Sesame seeds and 500g of flaxseed were separatelyroasted for 5 to 10 mins on a lower heat,then they were separately ground in a grinder. 50g of green anise and 50g of anise seeds were roasted for 5 min and ground in a grinder. 1000g of almonds were roasted for 10 min and ground in a grinder. All ingredients were washed with tap water before roasting. In a convenient basin, the above ground seeds and almonds were mixed with 100g of ground cinnamon, to which 100g of icing sugar were added. The above preparation was well mixed, then 500ml of argan oil and 350g of pure honey were added onto theprepared . Then a gentle mixing is necessary in order to achieve a final powder mixture that can be stored in a closed glass box, and kept in the refrigerator.

RESULTS:

In this paper, an edible oil mixture was developed. Thanks to the organoleptic test, the better oil formulation selected was composed of 50% of argan oil, 40 % of olive oil, and 10% of flaxseed oil. Its energy supply is 894 calories per 100 ml. It is noteworthy that flaxseeds are used in many good taste nougat recipes, however, flaxseed oil has a very bitter taste, which limits its use in an oil mixture to more than 20%. The actual formulation of our plant oil mixture was selected from a dozen of experimental formulations that include different percentages of argan, olive and flaxseed oils. Our plant oil mixture has the advantage of including active ingredients from the three oils used in the present formulation, namely, essential fatty acids (omega 9 oleic acid, omega 6 linoleic acid and omega 3 linolenic acid), high levels of gamma tocopherols, sterols, and several families of polyphenols.

An argan oil and plant-based dessert : it is a powder and granulated preparation developed according to the recipe described in methods. It has an energy supply of 632 calories per 100g. Its composition includes several seeds, cinnamon, ice sugar, honey and argan oil. Compared to a Moroccan similar sweet preparation called Sellou, Our plant based dessert does not include flour nor butter, instead, it is mainly enriched with argan oil that represents 33% of the total weight preparation. It also has the particularity to include more than 16% of flaxseeds, whereas this ingredient is not included in Sellou's recipe. When consuming this preparation, there is a sweet taste, mixed with the characteristic aromas of anise grains, fennel,cinnamon and argan oil in particular. Our argan oil and plant-based recipe has a significant difference of taste with the Moroccan Sellou recipe, because the latter includes a large proportion of wheat flour (at least half of the total weight), which gives Sellou its special taste and and makes it much cheaper in terms of price per kilogram of the product.

DISCUSSION:

Our plant oil mixture is intended to combine various high quality edible oils (argan, olive, flaxseed), where each one of them has special qualitative features. Among the three oils, olive oil has the highest level of monounsaturated omega 9 oleic acid (9). The latter is described as the main active ingredient of olive oil involved in cardiovascular protection and blood pressure control. Both argan and olive oils bring high levels of omega 6 linoleic acid (4,11-14), a very important fatty acid for omega 6 arachidonic acid synthesis in human cells. The latter is a very important substrate of prostaglandins and leukotriens synthesis that plays an important role in immunity and different cell functions. They also play a role in the whole human physiopathology and cell signal transductions in many cell systems, such as platelets, endothelial cells, macrophages and neutrophiles, neurones and several gland cells. Instead, flaxssed oil brings a fair amount of the omega 3 linolenic fatty acid (15-18), that can be metabolized in human cells to generate another omega 3 fatty acids, such as eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acids, which are known to play an important role as cardiovascular and neuronal protectors. Thanks to olive and argan oil, many polyphenol and sterol molecular species are enriched in our present combined oil mixture. These active

ingredients are known for their health benefits such as improving blood lipid profile, metabolic syndrome and joints pain (10,11). On the other hand, our argan oil and plant-based recipe could have positive effects on human immune and antioxidant status on immunocompromised patients, and it can be a good food supplement for those who have intense physical and intellectual activities. Based on the consumption of the Moroccan traditional recipes such as Sellou, and in relation to the consumption of culinary plant oils (olive and argane), I suggest a daily consumption of our plant oil mixture (35 ml each morning at breakfast on a bread toast or swallowed using two tablespoons), and the consumption of our argan oil and plant-based recipe as an occasional consumption like a dessert with tea (50g to 100 g per day). In the Moroccan traditional cuisine, a similar recipe to our plant-based dessert is called "Sellou" or "Sfouf", though, the basic component of Sfouf is flour that represents 50% of the total ingredients, and it contains butter instead of argan oil, and very often it has no flaxseed in its composition. Green anis and anis seeds give our plant-based dessert a very nice taste, which it is usually found in many other Mediterranean cake and pasta recipes. They give it a very nice anis smell. Among the health benefits of argan oil, it was shown that it can improve blood lipid and antioxidant profiles in hemodialysis patients (8,9), and improves both pain scores (10) and metabolic syndrome-associated osteoarthritis (11). As a liquid formulation, our oil mixture is suitable for infants and elderly people. Oxidative stress has been shown to play an important role in physiopathology of many diseases. I hypothesize that, due to their high content of antioxidant molecules, both of our actual preparations could benefit to many clinical situations such as mild cognitive impairment and memory loss (20), some vision issues (21), subfertility (22,23) and blood lipid-associated cardiovascular diseases (24).

CONCLUSIONS:

Our two Mediterranean food preparations were obtained, in part, from Moroccan traditional food recipes. The main composition of these preparations are argane oil, olive oil and honey, which are very known for their health benefits in clinical nutrition. Flaxseed and flaxseed oil were introduced in the above preparation for its chemical composition as a source of many active ingredients (fibers, omega 3 linolenic acid) and thanks to its documented health benefits as well. Similarly to the proven clinical effects of argan, olive and flaxseed oils, they should be further investigated in clinical trials.

Aknowledgements: Argan oil and flaxseed oil were provided by Hassan Louli, FHA System, (Marrakesh, Morocco) and Wim Reinders, SULA NYC (New York, USA).

Conflicts of interests: None

REFERENCES:

1. Gharby S, Harhar H, Guillaume D, Haddad A, Matthäus B, Charrouf Z . Oxidative stability of edible argan oil: A two-year study LWT - Food Science and Technology 2011; 44; 1-8

2. Khallouki F, Younos C, Soulimani R, Oster T, Charrouf Z, Spiegelhalder B, Bartsch H, Owen RW. Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols and phenolic compounds should confer valuable cancer chemo-preventive effects. Eur J Cancer Prev. 2003 Feb;12(1):67-75

3. Marfil R, Giménez R, Martínez O, Bouzas PR , Rufián-Henares JA, Mesías M and Cabrera-Vique C. Determination of polyphenols, tocoph-erols, and antioxidant capacity in virgin argan oil (*Argania spinosa*, Skeels). Eur J lipid sci tech 2011; 113 (7); 886-93

4. Rueda A, Seiquer I, Olalla M, Giménez R, Lara L, and Cabrera-Vique C. Characterization of Fatty Acid Profile of Argan Oil and Other Edible Vegetable Oils by Gas Chromatography and Discriminant Analysis. Journal of Chemistry Volume 2014, Article ID 843908, 8 pages

5. OuldMohamedou MM, Tacha A, El Messal M, El Kebbaj MS, Chraibi A, Adlouni A. The consumption of argan oil induces a lipid-lowering effect in dyslipidemic patients. Mediterranean journal of nutrition and metabolism 2012; 5 (2); 143-7.

6. Sour S, Belarbi M, Khaldi D, Benmansour N, Sari N, Nani A, Chemat F, Visioli F. Argan oil improves surrogate markers of CVD in humans. . Br J Nutr. 2012 Jun;107(12):1800-5.

7. Haimeur A, Messaouri H, Ulmann L, Mimouni V, Masrar A, Chraibi A, Tremblin G, Meskini N. Argan oil prevents prothrombotic complica-tions by lowering lipid levels and platelet aggregation, enhancing oxi-dative status in dyslipidemic patients from the area of Rabat (Morocco). Lipids Health Dis. 2013 Jul 20;12:107.

8. Batta FZ, Sqalli Houssaini T, Alaoui Sekkouri K, Alaoui H, Dahri S, Alaoui Belghiti K, Arrayhani M and Errasfa M. Hemodialysis-associated dyslipidemia: Effect of Virgin Argan Oil consumption. J Int Res Med Pharm Sci 2016, vol 9 (3): 139-145.

9. El Jaoudi R, Elkabbaj D, Bahadi A, Ibrahimi A, Benyahia M, Errasfa M, Consumption of Argan Oil Improves Anti-Oxidant and Lipid Status in Hemodialysis Patients.Phytother Res. 2015, Jun 23. doi: 10.1002/ptr.5405.

10. Essouiri J, Harzy T, Benaicha N, Errasfa M, Abourazzak FE. Effectiveness of Argan Oil Consumption on Knee Osteoarthritis Symptoms: A Randomized Controlled Clinical Trial. Curr Rheumatol Rev. 2017;13(3):231-235.

11. Essouiri J, Abourazzak FE, Lazrak F, Najdi A, Benaicha N,Harzy T and Errasfa M. Efficacy of Argan oil on metabolic syndrome in a Moroccan knee osteoarthritis population. Curr Rheumatol Rev. 2016 Dec 4.

12. Genevieve Buckland and Carlos A. Gonzalez.The role of olive oil in disease prevention: a focus on the recent epidemiological evidence from cohort studies and dietary intervention trials. British Journal of Nutrition (2015), 113, S94–S101

13. Annalisa Romani , Francesca Ieri , Silvia Urciuoli. Health effects of Phenolic Compounds Found in Extra-Virgin Olive Oil, By-Products, and Leaf of Olea europaea L. Nutrients 2019, 11, 1776

14. Samieri C, Féart C, Proust-Lima C, Peuchant E, Tzourio C, Stapf C, Berr C, Barberger-Gateau P. Olive oil consumption, plasma oleic acid, and stroke incidence: the Three-City Study. Neurology. 2011 Aug 2;77(5):418-25.15. Bernacchia R, Preti R and Vinci G. Chemical Compo-sition and Health Benefits of Flaxseed.Austin J Nutri Food Sci. 2014;2(8): 1045.

16. Viorica-Mirela Popa, Alexandra Gruia, Diana icoleta Raba1, Delia Dumbrava, Camelia Moldovan1, Despina Bordean1, Constantin Mateescu1. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (Linum Usitatissimum L.) from Romania. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies 2012, 18 (2), 136-140

17. Delfin Rodriguez-Leyva, Wendy Weighell, Andrea L. Edel, Renee LaVallee, Elena Dibrov, Reinhold Pinneker, Thane G. Maddaford, Bram Ramjiawan, Michel Aliani,

Randolph Guzman, Grant N. Pierce. Potent Antihypertensive Action of Dietary Flaxseed in Hypertensive Patients. Hypertension. 2013;62:1081–1089.

18. S. Franklyn De Silva and Jane Alcorn. Flaxseed Lignans as Important Dietary Polyphenols for Cancer Prevention and Treatment: Chemistry, Pharmacokinetics, and Molecular Targets. Pharmaceuticals 2019, 12, 68;

19. Manisha Deb Mandal and Shyamapada Mandal. Honey: its medicinal property and antibacterial activity. Asian Pac J Trop Biomed. 2011 Apr; 1(2): 154–160.

20.ShanmugamManoharan, Gilles J. Guillemin, Rajagopal Selladurai Abiramasundari,MusthafaMohamed Essa, Mohammed Akbar, and Mohammed D. Akbar. The Role of Reactive Oxygen Species in the Pathogenesis of Alzheimer's Disease, Parkinson's Disease, and Huntington's Disease: A Mini Review. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. Volume 2016, Article ID 8590578, 15 pages.

21. A. Shahandeh S. Purushothuman K. Martin M. Graham D.M. Johnstone E.A. Milward . Anti-Oxidant Phytochemicals as Potential Treatments for Age-Related Macular Degeneration. Antioxidant Activity, 2015, 1 (1): 29-41.

22. Showell MG, Mackenzie-Proctor R, Brown J, Yazdani A, Stankiewicz MT, Hart RJ. Antioxidants for male subfertility. Cochrane Database Syst Rev. 2014;12:CD007411.

23. Gharagozloo P, Gutiérrez-Adán A, Champroux A, Noblanc A, Kocer A, Calle A, Pérez-Cerezales S, Pericuesta E, Polhemus A, Moazamian A, Drevet JR, Aitken RJ. A novel antioxidant formulation designed to treat male infertility associated with oxidative stress: promising preclinical evidence from animal models. Hum Reprod. 2016 Feb;31(2):252-62. doi: 10.1093/humrep/dev302.

24. Brian A. Ference, Ian Graham, Lale Tokgozoglu and Alberico L. Catapano. Impact of Lipids on Cardiovascular Health. Journal of the American College of Cardiology. Volume 72, Issue 10, September 2018 .

Effect of argania nut-shells content on flexural and viscoelastic properties of reinforced phenolic resin composites

H. Essabir[1,2,3*], M. Raji[2,3], R. Bouhfid[2,3], A. Qaiss[2,3]

[1] *Mechanic Materials and composites (MMC), Laboratory of Energy Engineering, Materials and Systems, National School of Applied Sciences of Agadir, Ibn Zohr University, Morocco.*

[2] *Composites and Nanocomposites Center, Moroccan Foundation for Advanced Science, Innovation and Research (MAScIR), Rabat, Morocco.*

[3] *Mohammed VI Polytechnic University, Lot 660 –Hay Moulay Rachid, 43150 Ben Guerir, Morocco*

* *h.essabir@iuiz.ac.ma ; h.essabir@mascir.ma*

Keywords

Phenolic resin composites ; Bionic materials; Coir Fibers; Argania nut-shells; Dynamical mechanical properties; Rheological properties.

ABSTRACT

The characteristics of two different kinds of lignocellulosic materials (vegetable fillers) with two morphologies as Argania nut-shells (ANS) particles and Coir Fibers (CF) were used as reinforcement for phenolic resin (Bakelite) in this work, and the composite are studied as a function of filler types, shape, content (10, 20, and 30 wt.%) and manufacturing loading force (1500 and 3000 LBs). Compression molding was used to create the composites, which were then evaluated using Scanning electronic microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), bending, dynamic-mechanical thermal and rheological studies. The morphology of broken samples demonstrates that both fillers are well dispersed and distributed. When fillers are added to the matrix, the flexural characteristics improve, and the optimal values are attained in the case of Argania nut-shells. The results showed that the kind and shape of the fillers had a direct influence on the dynamic mechanical characteristics of the composites due to the reinforcement's modulus augmentation. It was noticed that, the increment of manufacturing loading force decreased the mechanical and dynamical properties of composites. The optimum properties obtained indicate that the composites can only be manufactured at low manufacturing loading force (1500 LBs).

RÉSUMÉ

Effet des coques de noix d'Arganier sur les propriétés viscoélastiques des composites a base de résine phénolique

Mots clés

Composites en résine phénolique ; Matériaux bioniques ; Fibres de coco ; Coques de noix d'argane ; Propriétés mécaniques dynamiques ; Propriétés rhéologiques

Ce travail étudie les caractéristiques de composites renforcés par de la résine phénolique (Bakelite) et chargés de deux types de matériaux lignocellulosiques (charges végétales) de morphologies différentes : des particules de coques de noix d'Arganier (CNA) et des fibres de coco (CF). Les composites ont été étudiés en fonction du type de charge, de sa forme, de sa teneur (10, 20 et 30 % en poids) et de la force de compression de fabrication (1500 et 3000 livres). Les composites ont été fabriqués par compression et ensuite évalués par microscopie électronique à balayage (MEB), spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), essais de flexion, analyses thermiques dynamiques et études rhéologiques. La morphologie des échantillons cassés montre une bonne dispersion et distribution des deux charges. L'ajout de charges à la matrice améliore les propriétés de flexion, les valeurs optimales étant obtenues avec les coques de noix d'Arganier. Les résultats démontrent que le type et la forme des charges influencent directement les propriétés mécaniques dynamiques des composites en raison de l'augmentation du module de renfort. Il a été observé

que l'augmentation de la force de compression de fabrication diminue les propriétés mécaniques et dynamiques des composites. Les propriétés optimales obtenues indiquent que les composites ne peuvent être fabriqués qu'avec une faible force de compression (1500 livres).

INTRODUCTION

The 'bio-based economy' is a growing area of global growth that encompasses a wide range of industries that use bio based resources. In this sense, 'bio-based' denotes that the materials and products are derived/ made from renewable resources, with the condition that a renewable resource returns quicker than it is drained, as opposed to many min eral and fossil resources [1–3]. Composite materials based on the thermosetting matrix are now widely used in industry and in all areas of applications where polymers are used such as aeronautics [4], automotive [5, 6] buildings [7], and textile [8]. Several processes may be employed to construct the composite, but the most common is hot compression [9, 10] to make a component from thermosetting materials because to its capacity to produce complicated geometric pieces at cheap cost and speed while maintaining the charge dimensions.

Bakelite is a type of thermosetting material, preferred in a wide range of applications including electrical and building application and this follows from the fact that it has several desirable characteristics to mention superior mechanical strength, resistance to heat, dimensional stability, flame resistance, low cost, etc. However, this intriguing material has significant downsides, including as low hardness and poor fracture resistance. Natural renforcements were employed to cover the Bakelite's shortcomings, which manifested themselves in its brittle ness, to have improved mechanical qualities while keeping the thermal capabilities of the Bakelite.

The present study examines the viscoelastic property of phenol–formaldehyde (Bakelite) resin composites rein forced with Argania particles (10–30% by weight) and Coir Fibers (10–30% by weight) through an experimental study using a compression molding system to conduct the effect of particles and fibers for different percentages on the rheo logical features through a compression flow. On the other hand, the aim of this work is to determine the most effective charge morphology that can give high thermal conductiv ity, mechanical properties in terms of rigidity, ductility, and dynamical mechanical analysis (DMA)

MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The PF resin (Bakelite 13,591–9005-S) supplied by Momen tive Specialty Chemicals with a density of 1.42 g/cm3, was sifted through a 150 µm sieve size to remove the agglomer ates. The Coir Fibers originated from Ivory Coast and were supplied as bundles of roughly 20 cm length fibers. Before use, the fibers were grinded into small 2–3 mm length pieces, using a Fritsch pulverisette 19 Germany. On the other hand, the raw Argania nut-shells used in this work were collected from the rural areas of south-west Morocco as the extraction of the Argania fruit residues. The Argania nutshells were grinded using a FRITSCH pulverisette 13 equipped with a 250 µm sieve. The final ANS particles (p = 1.29 g/cm3) were sieved again at 100 µm. The resulting Argania nut shells average particle was in the range of 25–90 µm.

2.2. Methods

2.2.1. Composites preparation

In two phases, bakelite composites containing Argania particles (10–30% by weight) and Coir Fibers (10–30% by weight) were created. First, a pellet of a size of (2100 mm3) was briquetted using 32 g of each product, and then this pel let was pressed between two rectangular plates using a hot molding machine (CARVER INC, USA). The mold is made of two stainless steel plates connected by a screw nut mechanism that ensures the samples' compression. The mold design allows for the release of surplus resin following the compression of impregnated fillers. The production was carried out using an automated press with two heated trays at 170° and two loads of 1500 LBs and 3000 LBs, equal to 103.42 Bar and 206.84 Bar, respectively.

2.2.2. Chemical composition

The chemical composition of both natural charges includ ing Argania nut-shells and Coir Fibers (CF) was determined according to TAPPI standard methods. The humid ity, ash, and klason lignin content were measured using TAPPI T 550 om-08, TAPPI T 211 om-02, and TAPPI T 2122 om-02, respectively. Also, both major components of the holocellulose include the alpha-cellulose and betacellulose content was done according to TAPPI T 203 cm-99.

2.2.3. Infrared Spectrum Fourier transforms

Infrared spectra (FT-IR) of Argania, coir and the composites (Bakelite-Argania and Bakelite-Coir) were recorded using an ABB Bomem FTLA 2000–102 spectrometer (ATR: SPECAC GOLDENGATE). The spectra were obtained with an accumulation of 16 scans and a resolution of 4 cm−1.

2.2.4. Flexural Test

The bending test used in this work is the three points. The specimen dimensions are 100 × 15 mm × mm and the sample support spanning 80 mm. The used machine is Tinius Olsen Horizon H10KT with the load cell of 5KN at a cross head of 5 mm/min in compression mode. This test is carried out according to the ASTM D790 standard.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Chemical Composition

Table 2 shows the composition of Argania nut-shells and Coir Fib ers. The chemical makeup of bio-fillers varies depending on where they come from, but in general, cellulose accounts for roughly 30–50% of the total. Lignin concentrations vary from 30 to 40%, hemicelluloses from 30 to 40%, humidity from 8 to 10%, and ash from 8 to 10%. Based on the out comes (Table 2). According to these findings, Argania nut shells contain the highest percentage of cellulose (48%) fol lowed by Coir Fibers (42%). The results show that there is a significant difference in the quantity of lignin and Cellulose (%) with Argania nut-shells having a significant advantage, which has a direct influence on the mechanical qualities. Cellulose has a positive association with tensile strength, specific strength, specific Young's modulus, density, diam eter, and length of fibers, according to, but lignin has a positive correlation with failure strain and moisture gain. Our prior work on the prediction of young's modu lus of a single Argania nut-shells particle and Coir Fibers backs up this conclusion. Coir Fibers have a greater modulus (12.6 GPa) than Argania nut-shells (9.2 GPa). This vari ance in mechanical characteristics is closely connected to the chemical composition of the bio-fillers, particularly the cellulose content, leading us to conclude that bio-fillers with the greatest cellulose content have the highest mechanical rigidity.

Table 1 : Chemical composition of Argania nutshells and Coif fibers

sample	Moisture (%)	Lignin (%)	Ash (%)	Hemecellulose (%)	Cellulose (%)
Argania shells	9.22	34.58	0.54	7.56	48.10
Coir fibers	9.59	28.98	0.89	18.74	41.8

3.2. Infrared Spectrum

Figure 2a, show the FTIR spectra of ANS and CF superimposed on one other. The curves are nearly identical, as indicated. The strong, wideband found at 3350 cm−1 in biofillers might be attributable to hydrogen-bonded O–H stretching vibrations. The C–H stretching vibration intensity at 2860 cm−1 and 2925 cm−1 was used to determine the fiber's overall organic material composition. The aromatic rings of lignin are responsible for the C = O ester band of carboxyl groups at 1740 cm−1. The lignin is responsible for the C = C in plane aromatic vibrations at 1595 cm−1 and 1507 cm−1.The bands at 1364 cm−1 and 1330 cm−1 were assigned as the bending vibration of the phenolic OH group in lignin. The C–C band at 1160 cm−1 and the C–O–C glycosidic ether band at 1105 cm−1 both arose from polysaccharide components, which were mainly cellulose as shown in the spectra [30]. On the other hand, Fig. 2b presents the major character istic peaks of the FTIR spectrum for the neat and Bakelite composites for Argania nut-shell and Coir Fibers at 30wt. % content in the 4000–700 cm−1 range. The IR spectra of Bakelite present a band at 3267 cm−1 corresponds to the vibration of the phenolic O–H bond. The peaks at 3020 and 2918 cm−1 are the main characteristic of the aliphatic and aromatic CH2 and CH stretches, respectively. The peaks at 1594 and 1504 cm−1 are attributed to the C = C aro matic ring vibrations. The peaks at 1450 and 1370 cm−1 corresponds to the scissoring vibration of CH2. The peak at 1229 cm−1 is associated to the C–O–C asymmetric stretch. The peak at 1007 cm−1, is correlated to C-O stretch ing of hydroxymethyl, however the peaks at 874, 808 and 752 cm−1 belonged to the C-H out of plane vibrations [11,12].

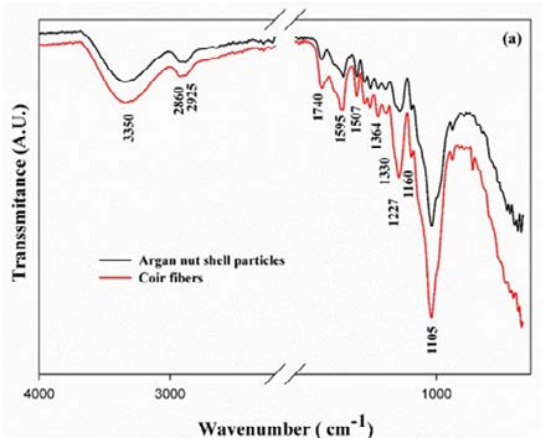


Figure 1: FTIR spectrum of Argania nut-shells particles and Coir Fibers

3.3. Flexural Properties

Figure 4 shows that by adding filler to the Bakelite matrix, the flexural modulus increases linearly to a maximum value at 30wt. % content. Composites become more rigid when a more stiff particle is added, like in the case of composites with ANS versus Coir Fibers. The shape of fillers, on the other hand, is crucial because the high est tensile and maximum

compression stresses arise during the bending test from the outside surfaces of rectangular cross-section samples to the fillers via interfacial adhesion [13,14]. ANS are displayed in a spherical form (particles), whilst Coir Fibers are presented in a fibrillar shape (straight line); this difference in shape is determined by the variation of radius of curvature, which is greater in the case of fibers than in the case of particles.

When comparing the flexural characteristics of both composites under two different manufacturing loading forces, it is obvious that raising the loading force from 1500 to 3000 LBs results in a significant reduction. This decrease is related to the loss of mechanical capabilities of the utilized fillers ; under high loading force, the fillers are subjected to high stress, which favors their degradation inside the matrix, and thus the reinforcing effect of fillers is diminished. Stress transmission between fillers and matrix is decreased at greater production loading forces due to filler breakdown, resulting in poor interfacial adhesion between fractured fill ers and matrix. When comparing the flexural characteristics of both composites under two different manufacturing load ing forces (Fig. 4), it is obvious that raising the loading force from 1500 to 3000 LBs results in a significant reduction. This decrease is related to the loss of mechanical capabili ties of the utilized fillers ; under high loading force, the fillers are subjected to high stress, which favors their degradation inside the matrix, and thus the reinforcing effect of fillers is diminished. Stress transmission between fillers and matrix is decreased at greater production loading forces due to filler breakdown, resulting in poor interfacial adhesion between fractured fillers and matrix.

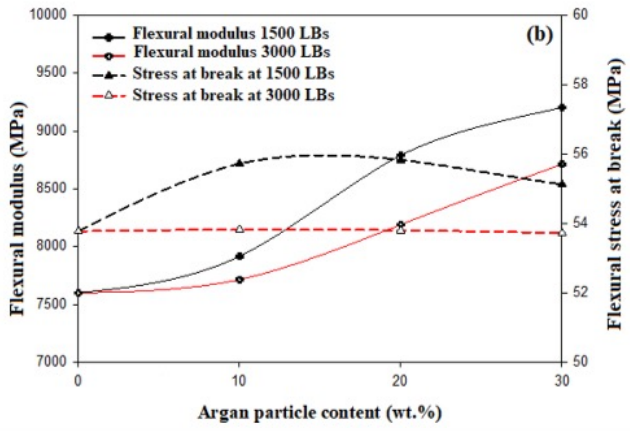


Figure 2 : Curve of bending properties versus all different elaborated composites, ANS particles

CONCLUSIONS

The Argania nut-shells particles and Coir Fibers reinforced composites based on phenolic resin as Bakelite were fabri cated using compression molding under two manufactur ing loading force to investigate the impact of fillers types, morphology, content and manufacturing process on mor phological, structural, mechanical and rheological properties of composites. The following conclusions were drawn from the tests :

1. Morphological properties showed a good dispersion and distribution of both bio-fillers into matrix, with an acceptable interfacial adhesion. While, by applying a high loading force (3000 LBs) it is observed a change set on the filler's diameter, showing a break of fillers.

2. Flexural properties showed significant improvement with filler content up to 30wt.% and further increase in filler content increased the flexural modulus with a slight advantage of ANS particles against Coir Fibers. On the other hand, the 1500 LBs loading force shows the maximum values against 3000 LBs.

3.The manufacturing loading force has a direct impact on all properties of composites and the lowest loading force as 15,000 LBs showed the optimum results.

REFERENCES

1.Essabir, H., Nekhlaoui, S., Bensalah, M. O., Rodrigue, D., Bouh f id, R., & Qaiss, Ak. (2017). Phosphogypsum waste used as reinforcing fillers in polypropylene based composites: structural, mechanical and thermal properties. J Poly Environ., 25, 658–666.

2. Raji, M., Essabir, H., Bouhfid, R., & KacemQaiss, AEl. (2017). Impact of chemical treatment and the manufacturing process on mechanical, thermal, and rheological properties of natural fibers based composites. Handbook of Composites from Re-newable Materials (pp. 225–252). USA. Wiley: Hoboken, NJ.

3. Essabir, H., Hilali, E., Elgharad, A., El Minor, H., Imad, A., Elam raoui, A., et al. (2013). Mechanical and thermal proper-ties of bio composites based on polypropylene reinforced with Nut-shells of Argan particles. Mater Design., 49, 442–448.

4. I Hamerton J Kratz (2018) The use of thermosets in modern aerospace applications In Thermosets (Second Edition) Else-vier 303–340.

5. Mallick, P. K. (2010). Thermoset-matrix composites for light weight automotive structures. Materials, Design and Manu-fac turing for Lightweight Vehicles: Woodhead Pub Ltd. https://doi. org/10.1533/9781845697822.1.208

6. Kordass, T., Bachy, B., Weisser, M., & Franke, J. (2017). Laser assisted selective activation of injection molded chip pack-aging devices with thermoset substrate materials for intelligent connec tivity systems in automobiles. Procedia CIRP., 63, 101–106.

7. S Agarwal, RK Gupta (2017). The use of thermosets in the build ing and construction industry 2nd eds Thermosets Struc-ture Prop erties and Applications: Second Edition Elsevier 279–302.

8. Tóth, L. F., Sukumaran, J., Szebényi, G., Kalácska, Á., Faucon nier, D., Nagarajan, R., et al. (2020). Large-scale tribological characterisation of eco-friendly basalt and jute fibre reinforced thermoset composites. Wear. https:// doi. org/ 10. 1016/j. wear. 2020.203274.

9. Xie, B. J., Sun, M. Y., Xu, B., Wang, C. Y., Jiang, H. Y., Li, D. Z., et al. (2019). Oxidation of stainless steel in vacuum and evolu-tion of surface oxide scales during hot-compression bond ing. Corrosion Science, 147, 41–52.

10. Lu, S. H., Wu, D., Chen, R. S., Han, E., & hou. (2019). The effect of twinning on dynamic recrystallization behavior of Mg-Gd-Y alloy during hot com

11. Zhang, L., Zhao, W., Ma, Z., Nie, G., & Cui, Y. (2012). Enzy matic polymerization of phenol catalyzed by horseradish peroxi dase in aqueous micelle system. European Polymer Journal., 48, 580–585.

12. Crespy, D., Bozonnet, M., & Meier, M. (2008). 100 Years of bake lite, the material of a 1000 Uses. Angew Chem Intern Edit, 47, 3322–3328.

13. Rajeswaran, M., Prathap, P., Kannan, S., & Naveenkumar, S. (2020). Evaluation of tensile and flexural properties of foundry slag reinforced particulate polymer composite. Materials Today: Proceedings. Elsevier, 33, 214–216.

14. Sahu, R., Gupta, M. K., Chaturvedi, R., Tripaliya, S. S., & Pappu, A. (2020). Moisture resistant stones waste based polymer com posites with enhanced dielectric constant and flexural strength. Composites Part B: Engineering, 182, 107656.

Valorisation des sous-produits de l'arganier : Sources innovantes et valorisables de composés bioactifs à haute valeur ajoutée

Otmane Hallouch[1,2*], Mohamed Ibourki[1] , Abderrahim Asbbane [1], Samira Oubannin [1], Laila Bijla [1], Said Gharby [1] and Khalid Majourhat[2]

[1] *Biotechnology, Analytical Sciences and Quality Control Team, Polydisciplinary Faculty of Taroudant, University Ibn Zohr, Agadir, Morocco ;*

[2] *Geo-Bio-Environmental Engineering and Innovation Laboratory, Molecular Engineering, Biotechnology and Innovation Team, Polydisciplinary Faculty of Taroudant, University Ibn Zohr, Agadir, Morocco ;*

[*] *hallouch.o@gmail.com*

Mots clés

Sous-produits de l'arganier, feuilles, pulpe, coque, tourteau de presse, protéines, valorisation des déchets.

RÉSUMÉ

La recherche de la minimisation des déchets et la valorisation des sous-produits sont des pratiques clés pour une bonne gestion et une meilleure durabilité dans l'industrie alimentaire et une bonne application de l'économie circulaire. Chaque année, une grande quantité de sous-produits de l'arganier est générée lors du processus de production de l'huile d'argan. Ces sous-produits comprennent un contenu estimé de coquilles (52%), de pulpe (43%) et environ 2% de tourteau de pression d'argane. Ces sous-produits sont peu utilisés. En effet, ils sont utilisés pour l'alimentation animale et comme source d'énergie. Les feuilles, la pulpe, les coques et le tourteau de l'arganier contiennent des composés précieux qui pourraient générer des richesses pour les coopératives en général et les femmes rurales en particulier. Des produits dermo-cosmétiques et plusieurs brevets déposés par des firmes cosmétiques justifient la valeur des substances extraites de ces sous-produits. Cependant, l'intérêt pour ces sous-produits s'est accru car ils possèdent des propriétés bénéfiques et peuvent être utilisés comme sources prometteuses de nouveaux ingrédients pour les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. Il est donc important d'explorer l'utilisation des sous-produits de l'arganier pour développer de nouveaux produits à haute valeur ajoutée qui contribueraient à réduire l'impact environnemental et à améliorer la durabilité et la compétitivité du secteur de l'arganier.

Keywords

Argan by-products, leaves, pulp, nut shell, press cake, proteins, waste valorization.

ABSTRACT

Valorisation of argan by-products : Innovative and valuable sources of high added value bi-oactive compounds

Minimising waste and recovering by-products are key practices for good management and greater sustainability in the food industry, as well as for the application of the circular economy. Every year, a large quantity of by-products from the argan tree is generated during the argan oil production process. These by-products include an estimated content of shells (52%), pulp (43%) and around 2% of argan press cake. There is little use for these by-products. They are used for animal feed and as a source of energy. The leaves, pulp, nut shells and press cake of the argan tree contain valuable compounds that could generate wealth for cooperatives in general and rural women in particular. Der-mo-cosmetic products and several patents filed by cosmetic firms jus-tify the value of the substances extracted from these by-products. However, interest in these by-products has grown because they have beneficial properties and can be used as promising sources of new ingredients for the food, cosmetics and pharmaceutical industries. It is therefore important to explore the use of argan

by-products to develop new high value-added products that would help to reduce the environmental impact and improve the sustainability and competitiveness of the argan sector.

INTRODUCTION

L'arganier ou *Argania spinosa* (L.) Skeels est un arbre à feuilles persistantes qui appartient à la famille des Sapotaceae et est le seul membre du genre Argania. Cet arbre pousse de manière endémique au Maroc, principalement dans le centre-ouest, où il occupe environ 800 000 ha.[1–4] L'arganier est particulièrement apprécié pour l'huile extraite des amandes de ses graines. L'huile d'argane, est composée à 99% d'acylglycérols dont les acides gras sont à 80% insaturés, et à 1% de composés phytochimiques [5,6]. Le processus d'extraction de l'huile d'argane implique l'élimination des parties externes, et plusieurs sous-produits sont générés en grandes quantités, principalement la pulpe, la coque et le tourteau. Ces sous-produits sont estimés contenir 52% de coques, 43% de pulpe et 2% de tourteau d'argane [7,8]. Ces volumes importants de sous-produits générés par l'extraction de l'huile d'argane n'ont reçu que très peu d'attention et n'offrent qu'une faible valeur ajoutée [9]. L'énorme quantité de déchets générés continue d'augmenter et devient un véritable défi pour cette industrie, d'où la nécessité de mettre en place un système alimentaire durable qui réduise la production de résidus et respecte les réglementations en matière de sécurité alimentaire. L'objectif de notre travail est la récupération d'huile résiduelle du tourteau, la préparation de concentrés de protéines à partir du tourteau et des feuilles, et de concentrés de composés phénoliques à partir des feuilles et des pulpes en vue de leur valorisation industrielle.

MATÉRIEL & MÉTHODES

2.1. Source de matière végétale

Les feuilles d'arganier que nous avons utilisées ont été cueilles dans la province de Taroudant, notamment, dans la commune rurale d'AIT IGASS à la fin du mars 2023. "AIT IGASS" est situé à 16,9 km au Nord-est de la ville de Taroudant à 320 m au-dessus du niveau de la mer (30° 32° 29° Nord, 8° 43° 17° Ouest). Les tourteaux d'argane sont fournis par la Coopérative Agricole Féminine Taitmatine située dans la commune rurale Tiout à Taroudant.

2.2. Extraction de l'huile résiduelle

La teneur en huile résiduelle a été déterminée par extraction par macération à température ambiante. La poudre de tourteau de presse a été soumis à un processus d'extraction de 24 heures avec de l'hexane. Après l'extraction, le solvant a été évaporé à 45°C à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide (R-200, Buchi, Zurich, Suisse). La teneur en huile a ensuite été déterminée par gravimétrie à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Oil content (\%)} = \frac{\text{Weight of Oil (g)}}{\text{Sample weight (g)}} \times 100$$

2.3. Extraction des protéines

Pour obtenir les concentrés de protéines, les échantillons ont été broyés dans un broyeur, puis l'huile a été extraite avec du n-hexane (ratio 1:3 v/v) à l'aide d'un appareil Soxhlet. Les échantillons dérivés ont été conservés dans une étuve à 45 °C pour permettre au n-hexane de s'évaporer. Les échantillons finaux ont été obtenus en dissolvant les échantillons secs dans de l'eau distillée et en agitant les solutions pendant 15 minutes. Ensuite, le pH a été ajusté à un pH approprié à l'aide de NaOH 1 N. Après 3 heures, les échantillons ont été centrifugés pendant 20 minutes à 10 000× g à 4 °C, puis les surnageants ont été recueillis et ajustés à un pH acide approprié à l'aide de HCL 1 N pour permettre aux protéines de précipiter. Les protéines précipitées ont été centrifugées pendant 30 minutes à 3500 x g à 4°C, lavées plusieurs fois avec de l'eau distillée, et le pH de la solution a été ajusté à 7 avec du NaOH 0,1 M, puis lyophilisées.

2.4. Extraction de composés phénoliques

L'extraction des composants bioactifs a suivi la procédure décrite par Ait Bouzid et al., 2023. La poudre de tourteau ou de feuilles a été macérée dans le méthanol aqueux à 80 % (1/ 10 m/v), sous agitation pendant 24 heures. Après avoir filtré le mélange avec du papier filtre Whatman, le liquide obtenu a été stocké à +4°C jusqu'à utilisation ultérieure. La teneur en phénols, en flavonoïdes et l'activité antioxydante ont été évaluées sur les extraits obtenus.

2.5. Détermination de la teneur des polyphénols totaux

La teneur des polyphénols totaux a été déterminé par la méthode du réactif de Folin-Ciocalteu en suivant le protocole décrit par Ismaili et al. (2016). 0,5 mL de la solution d'extrait solution d'extrait diluée a été mélangée à 2,5 mL de Folin-Ciocalteu (1/10), puis 4 mL de carbonate de sodium Na2CO3 (7,5%) ont été ajoutés et le mélange a été incubé à 45°C pendant 30 min avant de mesurer l'absorbance à 765 nm. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (mg GAE/g de matière sèche) à partir de la courbe d'étalonnage utilisant l'acide gallique comme étalon.

2.6. Détermination de la teneur des Flavonoides totaux

Le teneur des flavonoides totaux (TFT) a été évalué par la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium selon Abifarin et al. (2019). Brièvement, 1 mL de la solution d'extrait diluée a été placé dans une fiole jaugée (10 mL) puis 4 mL d'eau distillée ont été ajoutés à chaque fiole et 0,3mL de NaNO2 à 5% a également été ajouté au mélange. On a laissé reposer pendant 5 minutes avant d'ajouter 0,3 ml d'AlCl3 (10 %). Ensuite, 1 ml de NaOH 2 M a été introduit dans le ballon après 6 minutes et complété avec de l'eau distillée jusqu'à 10 ml. L'absorbance a été mesurée à 415 nm après 30 minutes d'incubation du mélange. Le TFT a été exprimé en mg d'équivalent de quercétine (mg EQ/g de matière sèche) calculé à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage utilisant la quercétine comme étalon.

2.7. Activités antioxydante

2.7.1. Détermination de l'activité antioxydante par FRAP

Le pouvoir antioxydant des échantillons, indicateur de leur capacité de réduction, a été évalué selon la méthode décrite par [11]. En bref, 2,5 ml de tampon phosphate de sodium 0,2 M (pH 6,6) et 2,5 ml de solution de ferricyanure de potassium (K3Fe(CN)6) à 1 % (p/v) ont été mélangés à 1 ml de la solution d'extrait. Après 20 minutes d'incubation à 50°C, 2,5 millilitres d'acide trichloracétique à 10% (w/v) ont été ajoutés au mélange. Du chlorure ferrique (FeCl3) (0,5 ml à 0,1% w/v) et de l'eau déminéralisée (2,5 ml) ont été combinés au surnageant de la solution (2,5 ml). Après 30 minutes d'incubation, la solution a été mesurée à λmax 700 nm contre un blanc. Le pouvoir réducteur de l'extrait a été exprimé en équivalents milligrammes d'acide ascorbique standard en grammes de matière sèche.

2.7.1. Détermination de l'activité antioxydante par DPPH

La capacité antioxydante des extraits a été déterminée à l'aide de la méthode 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Cette méthode modifiée, adoptée par [12], évalue la capacité des extraits à neutraliser les radicaux libres. Une solution éthanolique de DPPH à 0,2 mM a été préparée et conservée dans un flacon ambré à l'abri de la lumière du soleil. Les extraits de ont été dilués à 1:1000 (v/v) dans de l'éthanol. Ensuite, 0,8 millilitres de solution de DPPH ont été mélangés à 4 millilitres des échantillons dilués. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre SCILOGEX SP-UV1100 et comparée à un blanc. Le pourcentage d'inhibition des radicaux libres par DPPH a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Inhibition of DPPH \%} = \frac{Ac - As}{Ac} \times 100$$

Où "As" représente l'absorbance de l'échantillon et "Ac" l'absorbance du contrôle. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide ascorbique par gramme de matière sèche.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les acides gras jouent un rôle essentiel en tant que constituants primaires des substances biologiques chez l'homme et dans les autres organismes [13]. Le tableau 1 présente la composition en acides gras dans l'huile restituée de tourteau d'argane. En général l'huile examiné présente une présenece notable d'acides gras insaturés (acide oléique et acide linoléique), et une concentration plus faible en acide gras saturés (acide palmitiuqe et acide myristique). Nos résultats sont en harmonie avec ceux reportés par zeghlouli et al. [9]

Tableau 1 : Composition en acides gras de l'huile de tourteau d'argane

Acides Gras	Teneur en g/100g
C14: 0 (Myristic acid)	0,12 ± 0,01
C16: 0 (Palmitic acid)	12,95 ± 0,01
C18: 0 (Stearic acid)	5,11 ± 0,01
C18: 1 (Oleic acid)	44,61 ± 0,01
C18: 2 (Linoleic acid)	36,70 ± 0,01
C20: 0 (Arachidic acid)	0,29 ± 0,01
C20: 1 (Galdoleic Acid)	0,22 ± 0,01
SFA**	18,47 ± 0,01
USFA***	81,53 ± 0,01

Tableau 2 : Paramètres physico-chimique de l'huile de tourteau d'argane

Paramètres	Valeur
Acidité (%)	2,945 ± 0,08
IP (mEq O2/ kg)	5,45 ± 0,35
IpA	4,75 ± 0,49
Totox	15,65 ± 0,21
E232	1,62 ± 0,05
E270	0,43 ± 0,01
Caroténoides (ppm)	1,72 ± 0,01
Chlorophylles (ppm)	0,63 ± 0,01
Humidité (%)	5,82 ± 0,01
Indice d'iode	106,58 ± 0,01

Les protéines, macromolécules biologiques essentielles présentes dans toutes les cellules vivantes, sont de riches sources de nombreux acides aminés essentiels et de macro-nutriments vitaux [14]. Les tourteaux à haute teneur en protéines offrent une valeur nutritionnelle accrue, ce qui en fait une source de protéines substantielle pour les animaux et les humains. Les

graines d'argane sont une bonne source de protéines, qui représentent environ 50 % de la composition du tourteau [15]. C'est pourquoi nous avons réalisé des études préliminaires sur l'extraction des concentrés de protéines dans les deux types de tourteaux d'argan déshuilés. La détermination des protéines des tourteaux après un traitement acide/alcalin a indiqué que les échantillons contenaient presque 14 à 15 % de protéines. En revanche, l'extraction des protéines des feuilles de l'arganier par le même procédé a donné un concentré avec environ 12 % de protéines (Figure 1).

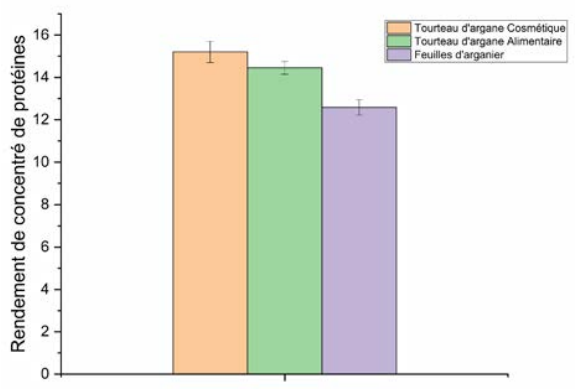


Figure 1 : Rendement de concentré de protéines dans les feuilles et les tourteaux d'arganier

Les flavonoïdes et autres composés phénoliques sont fréquemment reconnus comme des métabolites secondaires dans les plantes, caractérisés par un anneau aromatique contenant au moins un groupe hydroxyle [16]. Les teneurs en polyphénols totaux et en favonoïdes totaux quantifiées par spectrophotométrie dans le tourteau et les feuilles d'arganier sont présentées dans la figure 2. Nos résults ont montré que les feuilles de l'arganier contient plus de composés phénolique en comparaison avec le tourteau.

Les plantes contiennent de nombreux composés bioactifs dotés d'une puissante activité antioxydante [17]. Cependant, il existe différents tests permettant d'évaluer l'activité antioxydante des matières végétales, chacun d'entre eux ayant son propre mécanisme de mesure de ces caractéristiques [18]. Il est recommandé d'utiliser au moins deux tests différents pour évaluer correctement l'activité antioxydante du produit [18]. Dans notre étude, les tests FRAP et DPPH ont été utilisés pour évaluer les propriétés antioxydantes des extraits des feuilles et du tourteau d'arganier. En ce qui concerne l'activité antioxydante des extraits étudiés, on constate que les extraits de feuilles présentent des pourcentages élevés de réduction du radical DPPH par rapport aux extraits de tourteau. Les mêmes constatations ont été enregistrées pour l'activité antioxydante en utilisant le test FRAP.

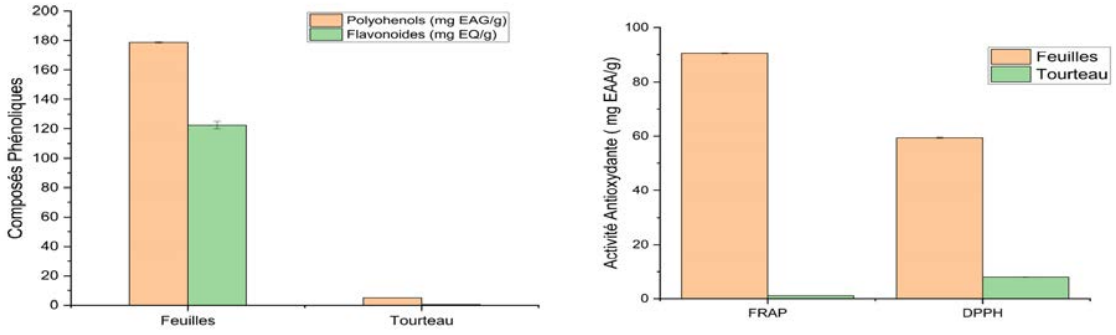


Figure 2 : Teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante dans les feuilles et le tourteau d'arganier

CONCLUSION

Nos résultats indiquent que le tourteau et les feuilles de l'arganier sont une source riche en nutriments et en composés précieux en raison de leur contenu en polyphénols, matières grasses et protéines, ce qui représente un potentiel significatif de valeur ajoutée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ait Hammou, R.; Harrouni, C.; Ben El Caid, M.; Hallouti, A.; Baroud, S.; Daoud, S. Establishment of Argan Tree Plantlets (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) Grown from Generative and Vegetative Propagation under Different Watering Regimes at the Nursery Stage. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2022, 44, 102457, doi:10.1016/j.bcab.2022.102457.

2. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Secondary Metabolites from *Argania Spinosa* (L.) Skeels. *Phytochem. Rev.* 2002, 1, 345–354, doi:10.1023/A:1026030100167.

3. Msanda, F.; El Aboudi, A.; Peltier, J.-P. Biodiversité et Biogéographie de l'arganeraie Marocaine. *Cirad Rev. Cah. Agric.* 2005, 14, 357–364.

4. Msanda, F.; Mayad, E.H.; Furze, J.N. Floristic

Biodiversity, Biogeographical Significance, and Importance of Morocco's Arganeraie Biosphere Reserve. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021, 28, 64156–64165, doi:10.1007/s11356-020-11936-0.

5. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Argan Oil: Occurrence, Composition and Impact on Human Health. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2008, 110, 632–636, doi:10.1002/ejlt.200700220.

6. Gharby, S.; Charrouf, Z. Argan Oil: Chemical Composition, Extraction Process, and Quality Control. *Front. Nutr.* 2022, 8.

7. Zeghlouli, J.; Christophe, G.; Guendouz, A.; El Modafar, C.; Belkamel, A.; Michaud, P.; Delattre, C. Optimization of Bioethanol Production from Enzymatic Treatment of Argan Pulp Feedstock. *Molecules* 2021, 26, 2516, doi:10.3390/molecules26092516.

8. Zouhair, F.Z.; Benali, A.; Kabbour, M.R.; EL Kabous, K.; El Maadoudi, E. haj; Bouksaim, M.; Essamri, A. Typical Characterization of Argane Pulp of Various Moroccan Areas: A New Biomass for the Second Generation Bioethanol Production. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 2020, 19, 192–198, doi:10.1016/j.jssas.2018.09.004.

9. Zeghlouli, J.; Guendouz, A.; Duchez, D.; El Modafar, C.; Michaud, P.; Delattre, C. Valorization of Co-Products Generated by Argan Oil Extraction Process: Application to Biodiesel Production. *Biofuels* 2022, 13, 771–777, doi:10.1080/17597269.2021.1941573.

10. Ait Bouzid, H.; Oubannin, S.; Ibourki, M.; Bijla, L.; Hamdouch, A.; Sakar, E.H.; Harhar, H.; Majourhat, K.; Koubachi, J.; Gharby, S. Comparative Evaluation of Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Some Contaminants in Six Moroccan Medicinal and Aromatic Plants. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2023, 47, 102569, doi:10.1016/j.bcab.2022.102569.

11. Aryal, S.; Baniya, M.K.; Danekhu, K.; Kunwar, P.; Gurung, R.; Koirala, N. Total Phenolic Content, Flavonoid Content and Antioxidant Potential of Wild Vegetables from Western Nepal. *Plants* 2019, 8, 96, doi:10.3390/plants8040096.

12. Xu, Y.; Fan, M.; Ran, J.; Zhang, T.; Sun, H.; Dong, M.; Zhang, Z.; Zheng, H. Variation in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Apple Seeds of Seven Cultivars. Saudi *J. Biol. Sci.* 2016, 23, 379–388, doi:10.1016/j.sjbs.2015.04.002.

13. Tian, M.; Bai, Y.; Tian, H.; Zhao, X. The Chemical Composition and Health-Promoting Benefits of Vegetable Oils—A Review. *Molecules* 2023, 28, 6393, doi:10.3390/molecules28176393.

14. Langyan, S.; Yadava, P.; Khan, F.N.; Dar, Z.A.; Singh, R.; Kumar, A. Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Front. Nutr.* 2022, 8.

15. Mirpoor, S.; Giosafatto, C.; Mariniello, L.; D'Agostino, A.; D'Agostino, M.; Cammarota, M.; Schiraldi, C.; Porta, R. Argan (*Argania Spinosa* L.) Seed Oil Cake as a Potential Source of Protein-Based Film Matrix for Phar-maco-Cosmetic Applications. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 8478, doi:10.3390/ijms23158478.

16. Tungmunnithum, D.; Thongboonyou, A.; Pholboon, A.; Yangsabai, A. Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. *Medicines* 2018, 5, 93, doi:10.3390/medicines5030093.

17. Chaves, N.; Santiago, A.; Alías, J.C. Quantification of the Antioxidant Activity of Plant Extracts: Analysis of Sensitivity and Hierarchization Based on the Method Used. *Antioxidants* 2020, 9, 76, doi:10.3390/antiox9010076.

18. Švarc-Gajić, J.; Rodrigues, F.; Moreira, M.M.; Delerue-Matos, C.; Morais, S.; Dorosh, O.; Silva, A.M.; Bassani, A.; Dzedik, V.; Spigno, G. Chemical Composition and Bioactivity of Oilseed Cake Extracts Obtained by Subcritical and Modified Subcritical Water. *Bioresour. Bioprocess.* 2022, 9, 114, doi:10.1186/s40643-022-00603-6.

Comparison of moroccan argan oil from the east and the west by studies of chemical composition

Miloudi Hilali [1,*] and Nadia Maata[2]

[1] *Laboratory of Plant Chemistry and Organic and Bioorganic Synthesis, Faculty of Science, University Mohamed-V, Av. Ibn Battouta, BP 1014 Agdal-Rabat, Morocco.*

[2] *Official Laboratory of Chemical Analysis and Research 25, street Nichakra Rahal, Casablanca, Morocco.*

[*] *hillali400@yahoo.com*

ABSTRACT

This work studied the influence of the geographical origin (the east and the west of the kingdom of Morocco) on the chemical composition of argan oil to know which is the best argan oil (oriental or western part of the Kingdom of Morocco). To carry out this work, 3 different samples were selected, two samples from the Tidzi and Tamanar regions in Essaouira province of South-West Morocco, and one sample from the Beni Snessan region of North-West Morocco. Afterwards, argan oil was prepared by mechanical pressing from roasted almonds. Physico-chemical analysis showed that the acidity and the peroxide index are higher in argan oil from the Beni Snassene region. The analysis of fatty acids and triglycerides showed that the percentage of behinic acid (C22:0) (0.38%) is higher in the argan oil collected in the plantation of Beni Snassene. The result of this work also showed that the percentage of total sterols (206 mg/100g) and the content of total tocopherols (775.5 mg/kg) in argan oil from the Beni Snassene region are higher compared to other oils. Hence, this result clearly indicates that the geographical origin can influence the chemical composition of argan oil.

Keywords
Argan, Sapotaceae, Fatty Acids, Sterols, Polyphenols, Chemical composition.

RÉSUMÉ

Comparaison de l'huile d'argane l'est et de l'ouest par les études de la composition chimique

Dans ce travail nous avons étudié l'influence de l'origine géographique (l'est et l'ouest du royaume du Maroc) sur la composition chimique de l'huile d'argan pour savoir quelle est la meilleure qualité de l'huile d'argan, est ce que l'huile d'argan de la région orientale ou occidentale du Royaume du Maroc. Pour réaliser ce travail nous avons sélectionné 3 échantillons différents par leur région géographique, deux échantillons de la région de Tidzi et Tamanar, province d'Essaouira au sud-ouest du Maroc, et un échantillon de la région de Beni Snessan au nord-ouest du Maroc

Après, l'huile d'argane a été préparée par pressage mécanique à partir des amandes torréfiées. Les analyses physico-chimiques montrent que l'acidité et l'indice de peroxyde sont plus élèves dans l'huile d'argane de la région Beni Snassene. L'analyse des acides gras et des triglycérides montrent que le pourcentage de l'acide béhinique (C22:0) (0,38%) est plus élevé dans l'huile d'argane rassemblée en plantation de Beni Snassene, Le résultat de ce travail montre aussi que le pourcentage des stérols totaux (206 mg/100g) et la teneur en tocophérols totaux (775,5 mg/kg) dans l'huile d'argane de la région de Beni Snassene sont plus élèves par rapport aux autres huiles. Alors ce résultat montre clairement est nette que l'origine géographiques peut être influencer la composition chimique de l'huile d'argane.

Mots clés
Argan, Sapotaceae, Acides gras, Stérols, Polyphénols, composition chimique.

INTRODUCTION

The argan tree (*Argania spinosa*, Skeels L., Sapotaceae) is an endemic tree of southwestern Morocco, where it plays a very important socio-economic and environmental role. It is deeply rooted in the daily life of rural populations and plays a fundamental role in their livelihood [1].

The main product of the argan tree is argan oil, this oil originating from Morocco, rich in vitamin E and unsaponifiables, is renowned for its nourishing, regenerating and restructuring properties. Its antioxidant content makes it an ideal active ingredient to fight against the signs of skin aging, and its fatty acids restore suppleness and softness to dry and undernourished skin. Despite all these interests, we are witnessing an alarming regression of argan trees both in area and in density. In less than a century, more than 2/3 of the forest has disappeared [2]. This regression is essentially due to an ecological imbalance of anthropogenic (human) origin. In the mountains, there is overgrazing and overexploitation of wood, in the plain, the argan tree is cleared because it hinders the intensification of agriculture.

Faced with this problem, the laboratory of plant chemistry and organic and bio-organic synthesis of the Faculty of Sciences of Rabat-Agdal has set the objective of promoting the products of the argan tree for the benefit of rural communities so that they are more motivated to protect and replant the argan tree.

MATERIALS AND METHODS

2.1. Preparation of different samples of Argan oil.

In this present work, we selected 3 samples of the argan fruit coming from different regions (two samples from the South-West region of Morocco (Tidzi and Tamanar) and one sample from the North-West region of Morocco (Beni Snassene), the distance between the two regions is equal to 1047 km). Argan oil was prepared by extraction by mechanical pressing [3].

2.2. Physico-chemical analysis of oils.

Determination of acidity, the peroxide index, the refractive index of the absorbance in the ultraviolet, the saponification index, the unsaponifiable content, were measured according to the standardized methods respectively of ISO reference 660 [4], ISO 3960 [5], ISO 6320[6], ISO 3656[7], ISO 3657[8], NFT.60.205 NOV 1975 [9]. The analyzes were carried out within Official Laboratory of Chemical Analysis and Research of Casablanca.

2.3. Sterol determination [10].

To 5 g of argan oil, 500 mL of a 0.2% solution of α-cholestanol in chloroform was added. Saponification was performed using 2N ethanolic KOH solution. After 1h of boiling, 100 mL of water was added and extraction of unsaponifiable matter was carried out using 200 mL of Et2O. The organic solution was collected, evaporated, and 20 mg of unsaponifiable matter was dissolved in 0.5 mL of chloroform then chromatographed on a silica gel plate eluted with a mixture of n-hexane and diethylether (65:35 v/v). Then the plate was sprayed with a solution of 2,7-dichlorofluorescein (0.2% in EtOH), and the band corresponding to sterols carefully removed. The silicagel recovered from the plate was suspended in chloroform and filtered through a paper filter. The solvent was evaporated under N2 and the sterol composition determined after trimethylsilylation of the crude sterol fraction. Trimethylsilylated derivatives were analyzed by GC using a Varian 3800 instrument equipped with a VF-1ms column (30 m, 0.25 mm i,d.) using helium (flow rate 1.6 mL/min) as carrier gas. Column temperature was isothermal at 270°C; injector and detector temperature was 300°C. Injected quantity was 1 mL for each analysis.

2.4. Fatty acids composition [11].

Into 5 mL screw top test tubes, 0.60 g of oil and 4 mL of iso-octane were introduced, followed by 0.20 mL of 2N methanolic KOH solution. Tubes were tightened with a screw cap provided with a PTEF joint, then vigorously shaken. The upper layer was separated and methyl esters were extracted with n-hexane. Aliquots (1 µL) were injected into a gas chromatograph (Varian CP-3800, Varian Inc.) equipped with a FID. The column used was a CP-Wax 52CB column (30 m×0.25 mm i.d.; Varian Inc., Middelburg, The Netherlands). The carrier gas was helium, and the total gas flow rate was 1 mL/min. The initial column temperature was 170°C, and the final temperature 230°C; the temperature was increased by steps of 4°C/min. The injector and detector temperature was 230°C. Data were processed using Varian Star Workstation v 6.30 (Varian Inc., Walnut Creek, CA).

2.5. Tocopherol analysis [12].

Tocopherols were analyzed as recommended (IUPAC. 1987) by HPLC using a Shimadzu CR8A instrument (Champ sur Marne, France) equipped with a C18-Varian column (25 cm×4 mm; Varian, Middelburg, The Netherlands). Detection was performed using a fluorescence detector (excitation wavelength 290 nm, detection wavelength 330 nm). Eluent used was a 99:1 iso-octane/iso-propanol (v/v) mixture, flow rate: 1.2 mL/min.

2.6. Triglycerides [13].

Triglyceride composition was determined by HPLC analysis using a C18 analytical column (250 x 4.6 mm) packed with silica according to EEC/2568/91 regulation. Triglycerides were identified by comparing, under the same analytical conditions, their retention time to that of standard triglycerides. A mobile phase of dry acetonitrile/acetone (50:50, v/v) was used at the rate of 0.5 mL/min. Detection was performed using a HP10 47A refractometer.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Analysis of physico-chemical characteristics

Table 1 shows the results of the acidity value, the peroxide value, the unsaponifiable content, the saponification value and the specific extinction values at 270 nm (k270) (each analysis was repeated three times).

Table 1: The main physico-chemical constants of the 3 argan oil samples studied.

Samples	1	2	3
Acidity in %	**0.33**	**0.32**	**0.67**
Unsaponifiable rate in %	**0.55**	**0.72**	**0.63**
Saponification index	**197.9**	**196.3**	**189.6**
Peroxide index in meq O_2/kg	**1.23**	**0**	**2.40**
Specific extinction at 270 nm (k270).	**0.228**	**0.426**	**0.291**

The acidity of sample 3 (0.67%) (Belonging to the Benisnassene batch) is higher compared to other samples such as 1, 2 (0.33%, 0.32% respectively) (belonging to the Tidzi and Tamanar. These results suggest that the origin can influence the acidity values of argan oil.

The unsaponifiable rate of argan oil is less than 0.72% (for virgin olive oil, it is less than or equal to 1.50%) [14]. Argan oil extraction technology can influence the unsaponifiable content in argan oil. The saponification index of argan oil (table 1) was found between 189.6 and 197.9.

In general, the observed values of the specific extinction of argan oil are higher than those of olive oil, they vary between 0.228 and 0.426 for argan oil compared to 0.10 and 0.90 for olive oil. The specific extinction of sample 2 is higher (0.426).

For the results of the peroxide value, a lower peroxide value than that required for virgin olive oil was observed [15].

The peroxide number of sample 3 is higher. Indeed, this sample belonging to the batch of Beni Snassene. This result clearly indicates that some components of argan oil are extremely sensitive to oxidation.

3.2. Fatty acid analysis

The fatty acid composition of the different oils was determined after methylation of the oil and analysis of the methyl esters by gas chromatography on a capillary column. Table 2 groups together the results obtained for the 3 samples.

Table 2: Fatty acid composition of the samples (in %)

Samples	$C_{14:0}$	$C_{15:0}$	$C_{16:0}$	$C_{16:1}$	$C_{17:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$	$C_{18:2}$	$C_{18:3}$	$C_{19:1}$	$C_{20:0}$	$C_{20:1}$	$C_{22:0}$
1	**0.12**	**0.04**	**12.45**	**0.04**	**0.08**	**5.44**	**47.11**	**33.53**	**0.09**	**-**	**0.36**	**0.44**	**0.11**
2	**0.12**	**0.04**	**13.0**	**0.08**	**0.08**	**6.11**	**50.05**	**29.12**	**0.06**	**-**	**0.43**	**0.48**	**0.13**
3	**0.15**	**0.04**	**12.06**	**0.09**	**0.07**	**6.35**	**48.32**	**31.73**	**-**	**-**	**0.35**	**0.41**	**0.38**

The fatty acid composition corroborates with data from the literature [16].

Argan oil contains 80% unsaturated fatty acids. It is of the oleic-linoleic type and contains between 29 to 33% of essential fatty acids: linoleic acid (29 to 33%) (Vitamin F). This acid is said to be essential because it cannot be synthesized by the body and must be provided by food.

Unsaturated fatty acids play an essential role in the prevention of cardiovascular diseases and the omega 6 family (such as linoleic acid) is essential for child growth [17]. Its oleic acid content makes argan oil particularly interesting in the regulation of cholesterol.

Sample 3 contains a higher percentage of behinic acid (C22:0) (0.38%). On the other hand, this percentage does not exceed 0.13% for all the other samples, this sample is prepared from argan kernels gathered in the Beni Snassene plantation. These variations can be considered as useful markers to ascertain the geographical origin of argan oils.

3.4 Triglyceride analysis

The triglycerides of the different samples of argan oil analyzed by high performance liquid chromatography are grouped in Table 3.

Table 3: Triglyceride composition of the 3 samples (in %)

Samples	LLL	LLO	LLP	LOO	LOP	PPL	OOO	POO	OPP	LPS	PPP	SOO	SOP
1	**6.89**	**13.22**	**5.85**	**15.96**	**14.18**	**1.94**	**13.77**	**16.05**	**4.06**	**0.31**	**0.11**	**4.58**	**2.25**
2	**5.77**	**11.59**	**5.48**	**14.73**	**13.46**	**1.97**	**14.34**	**16.95**	**4.12**	**0.29**	**-**	**5.18**	**2.61**
3	**6.84**	**12.20**	**6.00**	**14.31**	**13.22**	**2.08**	**13.98**	**15.48**	**4.39**	**0.66**	**-**	**6.04**	**4.00**

The analysis of the triglyceride fraction of argan oil by HPLC allowed the separation of individual triglycerides. We note the predominance of triglycerides LLO (11.5 to 13.2%), LOO (14.3 to 15.9%), LOP (13.2% to 14.1%), OOO (13.7 to 14 .3%) and POO (15.4 to 16.9%).

Sample 1 has a higher percentage of LLL and LOO triglycerides (6.89%, 15.96% respectively). This result agrees with the fatty acid result, which indicates that sample 1 contains a higher percentage of linoleic acid.

3.5 Sterol analysis

The composition of the sterols of the various samples of argan oil was determined by gas chromatography after silylation of the sterol fraction. Table 4 summarizes the results obtained for the 3 samples selected.

Table 4: Sterol composition of the samples (mg/100g)

Samples	Campest.	Stigma 8,22	Spinast.	Schott.	Stigma 7,24	Total
1	**0.20**	**4.31**	**37.07**	**46.66**	**4.81**	**142.0**
2	**0.11**	**4.76**	**37.16**	**46.16**	**4.41**	**188.3**
3	**0.11**	**4.85**	**35.44**	**48.47**	**2.57**	**206.3**

Campest.: Δ5-campesterol; Stigma 8,22: Stigmasta-8,22-diene-3β-ol; Spinast.: spinasterol; Schott: schottenol; Stigma 7,24: stigmasta-7,24-diene-3β-ol.

The total sterol content of all samples of argan oil ranges from 142 to 206 mg/100g of fat. This is not negligible compared to other seed and olive oils [18].

The sterol composition is consistent with literature data [19]. They are essentially Δ-7-stigmasterols. The majority products are schottenol (or Δ-7-stigmasterol) and spinasterol. Their proportion varies respectively between 46 and 48%, and 35 and 37%.

Schottenol and spinasterol are rarely found in vegetable oils and are characteristic of this oil. Argan oil does not contain β-sitosterol (Δ-5-stigmasterol) this has been confirmed by GC/MS. This ambiguity noted in the literature is due to the fact that β-sitosterol and spinasterol have the same retention time in GC on certain columns.

Two minority sterols have been identified in argan oil. These are stigmast-8,22-diene and stigmasta-7,24-diene (or Δ-7-avenasterol). Their proportion varies between 4.8% and 2.5% of the mixture of total sterols.

We find that the campesterol content in argan oil is very low (0.2%) compared to other seed oils and olive oil. So we can take this parameter as a marker to detect the adulteration of argan oil by other edible oils.

We found that the percentage of total sterols is higher for sample 3 (206 mg/100g) (gathered in the Beni Snassene).

3.6 Tocopherol analysis

Tocopherols were analyzed by HPLC on a normal phase column, directly from the vegetable oil without saponification. They were identified by comparing their chromatogram with controls injected under the same conditions. Their dosage was possible by the use of α-tocopherol. The results obtained are grouped in Table 5.

Table 5: Tocopherol composition of the samples (mg/kg)

Samples	γ-tocopherol	δ-tocopherol	α-tocopherol	β-tocopherol	Total
1	**631.3**	**59.5**	**26.6**	-	**717.4**
2	**606.7**	**48.6**	**38.0**	-	**693.3**
3	**701.1**	**37.2**	**37.2**	-	**775.5**

Tocopherols are natural antioxidants, gamma tocopherol has the highest antioxidant power [16]. Rich in gamma tocopherol, argan oil is a valuable nutraceutical. Tocopherols (vitamin E) and polyphenols are natural antioxidants. The latter play an essential role in the prevention of several diseases, because they are anti-free radicals. β-tocopherol has been detected in trace form in argan oil. We found that samples 3 (the Beni Snassene region) have a higher content of total tocopherols (775.5 mg/kg). So this result shows that the geographical origin can influence the tocopherol composition of argan oil.

CONCLUSION

The study of the physicochemical characteristics shows that the sample of argan oil coming from the Beni Snassene batch in the east of Morocco which have an acidity and peroxide value are higher compared to the samples of Tidzi and Tamanar (west of the Kingdom of Morocco). This result suggests that geographic origin can influence acidity and peroxide index values.

The results related to tocopherols also show that the origin of argan oil can influence the composition of tocopherols. On the other hand, the sample obtained from the Beni Snassene region has a higher content of total tocopherols (775 mg/kg) compared to the other samples.

The analysis of the triglyceride fraction of argan oil shows that the Beni Snassene sample has a higher percentage of LLL (linoleic acid) and LOO (oleic acid) triglycerides (6.89%, 15.96% respectively). The results of this work clearly show that geographical origin can influence the chemical composition of argan oil.

REFERENCES

1. Santoro, A., Ongoma, V., Ait el Kadi, M., Piras, F., Fiore, B., Bazzurro, A. and Bouchaou, L. Innovation of argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) products and byproducts for sustainable development of rural communities in Morocco. A systematic literature review. *Biodiversity and Conservation*, 2023, 1-29.

2. Ziyadi, M., Dahbi, A., Aitlhaj, A., El Ouahrani, A., El Ouahidi, A. and Achtak, H. Terraced agroforestry systems in West Anti-Atlas (Morocco): Incidence of climate change and prospects for sustainable development. *Climate Change-Resilient Agriculture and Agroforestry: Ecosystem Services and Sustainability*, 2019, 1-19.

3. Hilali, M., Charrouf, Z., Aziz Soulhi, A. E., Hachimi, L. and Guillaume, D. Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2005, 53(6), 2081-2087.

4. ISO 660. Corps gras d'origines animale et végétale-détermination de l'indice d'acide et de l'acidité,1996..

5. ISO 3960. Corps gras d'origines animale et végétale-détermination de l'indice de peroxyde, 2001.

6. ISO 6320. Corps gras d'origines animale et végétale-détermination de l'indice de réfraction, 2000.

7. ISO 3656. Corps gras d'origines animale et végétale-détermination de l'absorbance dans l'ultraviolet exprimée sous la forme d'extinction spécifique en lumière ultraviolette, 2002.

8. ISO 3657. Corps gras d'origines animale et végétale-détermination de l'indice de saponification, 2002.

9. NF T60.205 Norme Afnor. Le conseil d'administration de l'association française de normalisation par décision n° 2005-05 février 2005.

10. Goad, J. and Akihisa, T. *Analysis of sterols*. Springer Science and Business Media, 2012.

11. Ollivier, V., Ollivier, D. and Artaud, J. Analyse des lipides. *Techniques de l'ingenieur*, 2015.

12. IUPAC. International of pure and Applied Chemistry. Detremination of tocophérols in vegetable

oils fats by HPLC; Method 2432 In Standart Methods for the Analysis of oils, fats and derivatives, Paquot C, Haufenne A, (Eds) Blackwell Scientfic publications, Oxford, 1987, 2432/1-2432/7.

13. Normalisation, Organisation Internationale, et al. Corps gras d'origines animale et végétale. Détermination des esters de chloropropanediols (MCPD) et d'acides gras et des esters de glycidol et d'acides gras par CPG/SM. Pt. 1: Méthode par transestérification alcaline rapide et mesure pour le 3-MCPD et par mesure différentielle pour le glycidol, 2015.

14. Hilali, M., Monfalouti, H. E. and Kartah, B. E. Evaluation of the chemical composition of Argan (*Argania spinosa* L.) oil according to its extraction method, origin of production and altitude. *Online Journal of Animal and Feed Research*, 2020, 10 (3), 111-118.

15. Hilali, *M. Contribution à la valorisation de l'arganier (Argania Spinosa): Contribution à la valorisation de l'arganier.* Éditions universitaires européennes, 2019.

16. Shrestha, N., Sleep, S. L., Cuffe, J. S., Holland, O. J., Perkins, A. V., Yau, S. Y. and Hryciw, D. H. Role Of Omega-6 and Omega-3 fatty acids in fetal programming. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 2020, 47 (5), 907-915.

17. Hilali, M., El Monfalouti, H. and Kartah, B. E. Valorization of argan oil: all you need to know about argan oil from Morocco. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences, 2020, 11(4), 6754-6762.

18. Essadek, S., Gondcaille, C., Savary, S., Samadi, M., Vamecq, J., Lizard, G; and Andreoletti, P. Two Argan Oil Phytosterols, Schottenol and Spinasterol, Attenuate Oxidative Stress and Restore LPS-Dysregulated Peroxisomal Functions in Acox1−/− and Wild-Type BV-2 Microglial Cells. *Antioxidants*, 2023, 12 (1), 168.

19. Zarrouk, A., Martine, L., Grégoire, S., Nury, T., Meddeb, W., Camus, E. and Lizard, G. (2019). Profile of fatty acids, tocopherols, phytosterols and polyphenols in mediterranean oils (argan oils, olive oils, milk thistle seed oils and nigella seed oil) and evaluation of their antioxidant and cytoprotective activities. *Current pharmaceutical design*, 2019 , 25 (15), 1791-1805.

Localisation de la protéine de stockage des graines (SSP) 2S dans la Semence d'arganier (*Argania Spinosa* L)

Mohammed Mrani Alaoui[1*], Elena Lima[2], Antonio Jesús Castro [2], Juan de Dios Alché [2],

[1] *Laboratoire de Biologie et Santé, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tétouan, Maroc*

[2] *Grupo de Biología Reproductiva e Imagen Avanzada de Plantas (BReMAP). Depar-tamento de Estrés, desarrollo y señalización de Plantas, Estación Experimental del Zaidín. CSIC. Profesor Albareda 1, E-18008 Granada. Spain.*

[*] *m.mrani-alaoui@hotmail.fr*

RÉSUMÉ

Avec des usages et des applications croissantes dans les domaines de la cosmétique, de la nutrition et de la santé, l'huile d'argane représente un moteur économique important dans la société du Souss (Maroc). Cette huile est extraite directement de la graine entière d'arganier par des procédés mécaniques, fournissant des acides gras, des protéines et de nombreux autres composants bioactifs. Les graines d'olive sont extrêmement riches en composants protéiques ainsi qu'en huile. Parmi les protéines majoritaires présentes dans cette graine, les protéines de stockage des graines (SSP) 11S sont présentes. Cependant, d'autres SSP font actuellement l'objet d'investigations, en raison de leur présence fréquente dans d'autres sources alimentaires, de leur haute valeur nutritionnelle et de leur potentiel allergène. Dans cette contribution, nous décrivons d'abord la structure histologique détaillée et l'ultrastructure de l'endosperme et de l'embryon de graine d'arganier au stade mature. En plus de la description de ces caractéristiques histologiques dans les tissus des graines, la localisation des protéines de stockage des graines de type 2S (albumine) a été évaluée par des méthodes biochimiques et immunocytochimiques. Ces protéines représentent des caractéristiques distinctives du développement des graines, ainsi que des composants protéiques importants dotés de larges propriétés nutritionnelles et même nutraceutiques. De plus, ils ont été décrits comme des allergènes alimentaires majeurs dans les graines de nombreuses plantes mono- et dicotylédones.

Mots clés
arganier; albumine; semenc ; embryon; endosperme; protéines de stockage des graines; protéines 2S.

ABSTRACT

Localization of the Seed Storage Protein (SSP) 2S in Argan Seed (*Argania Spinosa* L)

With growing uses and applications in the fields of cosmetics, nutrition and health, argan oil represents an important economic driver in the society of Souss (Morocco). This oil is extracted directly from the whole argan seed by mechanical processes, providing fatty acids, proteins and many other bioactive components. Olive seeds are extremely rich in protein components as well as oil. Among the majority proteins present in this seed, 11S seed storage proteins (SSPs) are present. However, other SSPs are currently the subject of investigation, due to their frequent presence in other food sources, their high nutritional value and their allergenic potential. In this con-tribution, we first describe the detailed histological structure and ultrastructure of the endosperm and the argan seed embryo at the mature stage. In addition to the description of these histological features in seed tissues, the localization of type 2S seed storage proteins (albumin) was assessed by biochemical and immunocytochemical methods. These proteins represent distinctive features of seed development, as well as important protein com-ponents with broad nutritional and even nutraceutical properties. Additionally, they have been described as major food allergens in the seeds of many mono- and dicotyledonous plants.

Keywords
argan tree; albumin; seed; embryo; endosperm; seed storage proteins; 2S proteins

INTRODUCTION

Argania spinosa (L.) connue comme arganier appartient à la famille des Sapotacées [1,2]. C'est aussi le seul représentant du genre Argania [3]. Cette espèce endémique du Maroc est située dans la partie centre-ouest, où elle occupe environ 800 000 ha [4]. Il joue un rôle environnemental important, grâce à sa capacité à lutter contre la progression du désert grâce à son système racinaire profond qui protège le sol de l'érosion hydrique et éolienne [5,6]. Différentes parties de cet arbre sont utilisées pour la nutrition humaine [7], l'assainissement [8] l'hydratation de la peau [9] et le soin des cheveux [10]. L'arganier est apprécié pour son huile comestible extraite des graines. Cette huile est la seule partie comestible de l'arbre, en plus il est connu pour ses valeurs nutritionnelles élevées [11]. Les graines oléagineuses sont considérées comme l'une des cultures les plus importantes en raison de leur teneur élevée en huile et de leurs bonnes sources de protéines, de fibres, de vitamines et de minéraux. Les cultures de graines oléagineuses sont principalement cultivées pour la production d'huile comestible, et le rendement en matières grasses des graines oléagineuses est généralement assez élevé, bien qu'il varie d'une culture à l'autre et en fonction des méthodes d'extraction [12,13]. Par conséquent, la plupart des composants de cette huile sont présents à l'origine dans la graine. L'histologie des tissus des graines a été décrite chez diverses espèces d'intérêt commercial, notamment l'olivier (Olea europaea L.) [14], en raison de l'intérêt croissant de ce matériel. De plus, la connaissance de la présence de ces différents composants au niveau des tissus des graines est de la plus haute importance pour comprendre les propriétés chimiques et organoleptiques des huiles générées à partir de ces sources ainsi que leur potentiel thérapeutique [15].

Des études préliminaires ont été réalisées pour révéler la structure histologique de la Semence d'arganier [16-17]. Ils se sont également attachés à caractériser la présence de protéines de stockage des graines (SSP) de type 11-S et 7S (semblables aux légumineuses) dans ce matériel.

Dans le présent travail, nous ajoutons des informations complémentaires concernant l'ultastructure de la graine d'arganier a l'état mature, et nous rapportons également la présence et la localisation cellulaire de la protéine de stockage des graines de type 2S (Albumine), qui représente également des protéines de stockages majeurs dans différents les plantes, en particulier les légumineuses, avec des processus physiologiques végétaux grâce l'approvisionnement et l'apport d'acides aminés lors de la germination des plantules. En outre, il existe de plus en plus de preuves de leurs propriétés nutraceutiques [18,19].

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériel végétal

Les graines mûres utilisées pour les études microscopiques et les analyses biochimiques, ont été collectées sur des arganiers [(*Argania Spinosa* (L.) Skeels]) cultivés à Ait Melloul (Agadir, Maroc). Les graines ont été disséquées soigneusement pour séparer l'endosperme et l'embryon, qui ont été traitées séparément.

2.2 Préparation des échantillons pour la microscopie

2.2.1 Fixation et enrobage d'échantillons

Les matières végétales ont été fixées avec 4 % (p/v) de paraformaldéhyde et 0,2 % (v/v) de glutaraldéhyde dans un tampon cacodylate 0,1 M (pH 7,2) pendant 2 h à 4 °C. Puis lavé avec plusieurs changements de tampon cacodylate 0,1 M (pH 7,2). Les échantillons ont été déshydratés dans une série d'éthanol et incorporés dans la Resine Unycril. Les échantillons choisis pour l'ultrastructure, une post-fixation avec 1% d'Osmium a été ajoutée à la fixation et incorporée dans la résine de l'Epon.

Des coupes semi-minces ont été obtenues avec un microtome Reichert-Jung Ultracut E à l'aide d'un couteau en verre. Les coupes ont été placées sur des lames recouvertes de Biobond et utilisées pour la coloration cytochimique.

2.3 Étude histologique

Pour les observations histologiques, les coupes ont été colorées avec un mélange de colorants basiques [0,05 % (p/v) de bleu de méthylène et 0,05 % (p/v) de bleu de toluidine] visant à colorer les groupes carboxyles des protéines, qui révèlent la présence de ces composants. . La plupart des structures non colorées correspondent à des lipides. Des échantillons colorés ont été observés dans un LM Zeiss Axioplan (Carl Zeiss, Oberkochen, Allemagne). Les photomicrographies ont été obtenues avec un appareil photo numérique ProgRes MF Cool, en utilisant le logiciel ProgRes CapturePro 2.6 (Jenoptik, Laser Optic System).

2.3.1 Coloration de Ponceau

Les coupes Semi-fines des échantillons post-fixées dans 1% d'osmium ont été imbibées dans une solution de 0,1 % de Ponceau dans 0,15 % acide acétique, puis rincer dans 0,15 % acide acétique afin d'être laver par l'eau distillé.

2.4 Immun-localisation des SSP Olive 2S (albumine) au niveau du MOF

Des coupes Semi-fines (1 µm) ont été obtenues à l'aide d'un ultramicrotome Reichert-Jung à partir d'échantillons imbibées dans de la résine Unicryl comme décrit ci-dessus, et montées au niveau des

lames spécifiques.

Les lames avec les coupes ont ensuite été traitées séquentiellement avec une solution de blocage [albumine sérique bovine à 5 % (p/v), Tween 20 à 0,1 % (v/v) dans une solution saline tamponnée au phosphate], une solution diluée (1 : 100) de l'anti-Antisérum 2S dans une solution de blocage, une solution 1:1000 de l'anticorps secondaire (IgG anti-lapin de chèvre avec Alexa488)

2.5 Extraction de protéines et analyse par Western Blot

Le matériel végétal (tel que décrit) a été utilisé pour préparer des extraits de protéines par broyage avec de l'azote liquide. Les protéines ont été extraites avec du Tris – HCl 40 mM pH : 7,0, 2 % de Triton X-100, 60 mM de DTT et 10 µl/échantillon de cocktail d'inhibiteurs de protéase (Sigma). Les échantillons ont été dénaturés avec le tampon d'échantillon Laemmli à 95 ° C pendant 5 min et séparés sur des mini-gels SDS-PAGE préfabriqués TGX à 4–20% (Bio-Rad). Les profils protéiques ont été déterminés au moyen de la technologie Stain-free utilisant un système Gel DocTM EZ (Bio-Rad) et normalisés pour les protéines totales (30 µg/piste). Les gels ont été transférés sur de la nitrocellulose supportée à l'aide d'un appareil semi-sec Trans-Blot Turbo (Bio-Rad) et bloqués avec 5% de lait écrémé dans du TBS plus 0,05% de Tween-20 pendant 1 h à température ambiante (RT) avec agitation. Le transfert a été incubé dans l'anticorps primaire anti-2S Albumin à une dilution de 1: 1 000 pendant 8 h à 4 ° C sous agitation dans du TBS-T plus 5% de lait écrémé. La solution d'anticorps a été décantée et le transfert a été rincé brièvement deux fois, puis lavé une fois pendant 15 min et 3 fois pendant 5 min dans du TBS-T à température ambiante sous agitation. Le transfert a été incubé dans un anticorps secondaire [IgG anti-lapin conjugué à la peroxydase de raifort, de Sigma (A-0545)] dilué à 1: 2000 pendant 1 heure à température ambiante avec agitation. Le transfert a été lavé comme ci-dessus et développé pendant 3 minutes avec le substrat Clarity Western ECL (Bio-Rad). Le temps d'exposition était de 6 à 12 minutes dans un scanner C-Digit (LI-COR Biotechnology, États-Unis). Des

RÉSULTATS

Dans cette étude, la structure de l'endosperme et de l'embryon de la Semence de l'arganier à l'état mature a été analysée en microscopie optique et en microscopie électronique, en se concentrant particulièrement sur les cellules isodiamétriques qui font partie de la région parenchymatique des deux structures. Tant au niveau de l'endosperme qu'au niveau de l'embryon de l'arganier, deux principaux types de matériel de réserve ont été observés : les corps lipidiques et les corps protéiques bien identifiés (Figure 1a et 1b).

Les corps protéiques sont colorés positivement à l'aide de Ponceau (Figures 1c et 1d).

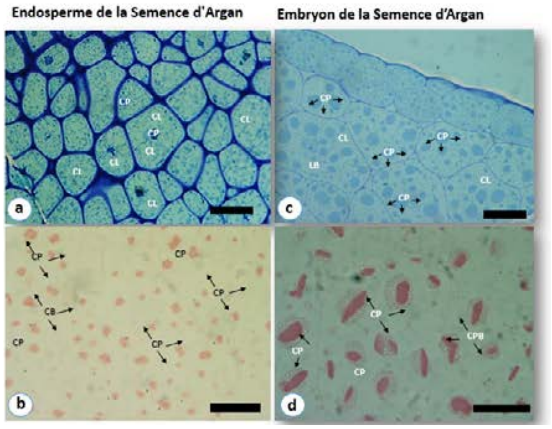


Figure 1. Structure anatomique et coloration de Ponceau de l'endosperme et de l'embryon de la semence d'arganier au stade de maturité. CL : corps lipidiques ; CP : corps protéiques. Les barres représentent 100 µm.

Concernant la teneur en protéines, les protéines s'accumulent dans des corps protéiques typiques avec des cristaux protéiques, complètement entourés de corps lipidiques à pleine maturité à la fois dans l'endosperme et dans les tissus embryonnaires (Figure 2).

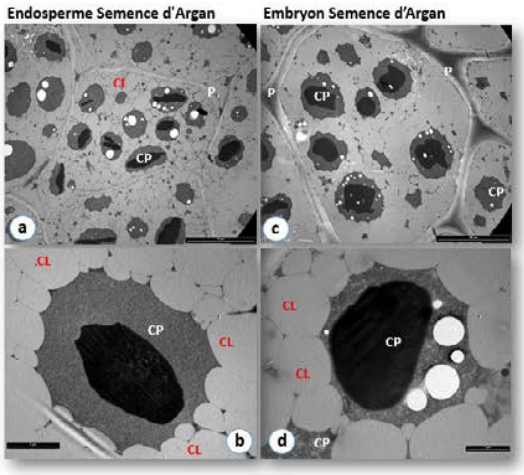


Figure 2. Ultrastructure anatomique de l'endosperme et de l'embryon de la semence d'arganier au stade de maturité. L : lipides ; CL : corps lipidiques ; CP : corps protéiques ; P : Paroi. Les barres représentent 100 µm.

Analyses des Extrais Protéiques et Immun-blot

Nous pouvons observer le profil des protéines qui font partie des extraits protéiques au niveau du gel en fonction de leur poids moléculaire. On remarque différentes bandes majeures, certaines différentielles entre les trois extraits utilisés (Figure 3a). L'anticorps anti-protéine 2S est capable de reconnaître une bande bien spécifique d'un poids moléculaire proche de 16

kDa, ce qui correspond aux orthologues des protéines 2S dans le cas de l'arganier.

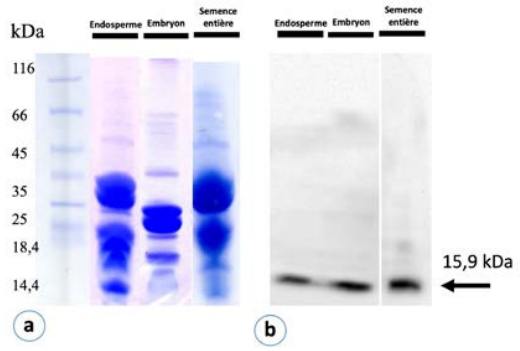


Figure 3. Profils SDS-PAGE et analyse par Western blot de l'albumine 2S dans des échantillons d'embryon, d'endosperme et de la semence entière d'arganier au stade mature. Les profils SDS-PAGE (a) montrent des bandes bien visibles sous dénaturation. (b) Western blot après utilisation de l'anticorps anti-albumine 2S

Immunolocalisation au MOF

Les études d'immunolocalisation au niveau de microscope optique à fluorescence, utilisant l'anticorps primaire anti-albumine 2S ont donné un marquage intense spécifiquement localisé dans les corps protéiques présents dans l'endosperme et l'embryon de la semence de l'arganier (Figure 4). Le marquage dans les corps lipidiques, dans toutes autres structures cellulaires et dans les contrôles négatifs était négligeable.

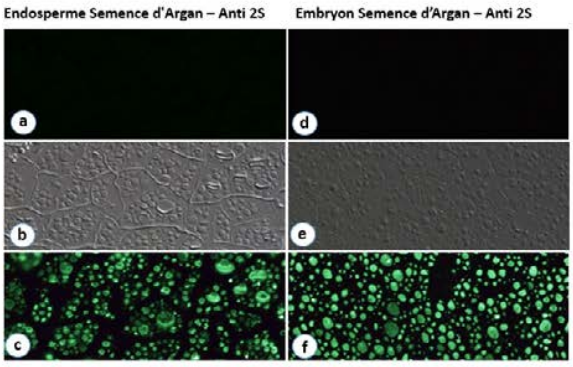


Figure 4: Coupes transversales d'endosperme et d'embryon de la semence d'arganier mature montrant l'immunolocalisation des protéines de stockage des graines 2S (fluorescence verte). Les protéines 2S apparaissent discrètement situées dans des corps protéiques entièrement présents dans les cellules de l'endosperme et l'embryon.

DISCUSSION

Plusieurs études récentes ont démontré la similitude entre les protéines de stockage des graines de type 2S (albumines) de diverses espèces au niveau de la séquence [20,21]. Cependant, cette similarité n'a pas été décrite dans le cas de l'arganier, en raison de l'absence de transcriptomes ou de génomes annotés chez cette plante. La grande similarité de ces protéines entre espèces végétales nous a amené à tester la potentielle réactivité croisée avec l'arganier d'un anticorps existant contre les protéines 2S de l'olive. Cette réactivité croisée est clairement démontrée dans nos expériences de Western Blot, avec un signal très clair dans les bandes de poids moléculaire compatibles avec les protéines 2S décrites dans la littérature. La localisation cellulaire de ces protéines a également été bien déterminée grâce à l'utilisation de l'anticorps susmentionné dans des expériences d'immunocytochimie. Une telle localisation dans les corps protéiques présents à la fois dans l'endosperme et dans l'embryon est également courante avec d'autres SSP (protéines de stockage des graines). La présente étude contribue à déterminer la contribution possible de la graine d'arganier comme source alimentaire, compte tenu de la haute digestibilité et de la valeur nutritionnelle des protéines 2S rapportées chez diverses espèces.

Remerciements : Ce travail a été financé par les projets de recherche CA8313, AT17_5247 et PYC20 RE 009 CSIC. EEZ (Junta de Andalucía/FEDER/EU), PID2020-113324GB-100 et TED2021-130015B-C22 (MCIU/FEDER/EU), tous participés par des fonds FEDER.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Baehni, C. (1948) Mémoires sur les Sapotacées. 1. Système de classification.Candolea-7: 394-476.

2. Ehrig, F.R. (1974) Die Arganie: Charakter, Okologie und wirtschaftliche Bedeuntung eines Tertiarreliktes in Morokko. Ptermanns Geographische Mitteilungen 118 (2): 117-125

3. Fennane, M., & Tattou, M. I. (2008). Statistiques et commentaires sur l'inventaire actuel de la flore vasculaire du Maroc. Flora, 1986(1989).

4. Msanda, F., El Aboudi, A., & Peltier, J. P. (2005). Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Cahiers Agri-cultures, 14(4), 357-364.

5. GHARBY, Said, et al. Refining vegetable oils: Chemical and physical refining. The Scientific World Journal, 2022, vol. 2022.

6. Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2009). Sustainable development in Northern Africa: The argan forest case. Sustainability, 1(4), 1012-1022.

7. Moukal, A. (2004). L'arganier, *Argania spinosa* L. (skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire. Phytothéra-pie, 2, 135-141

8. Khallouki, F., Eddouks, M., Mourad, A., Breuer, A., & Owen, R. W. (2017). Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochemical insights into moroccan argan fruits. International journal of molecular sciences, 18(11), 2277

9. Khallouki, F., Eddouks, M., Mourad, A., Breuer, A., & Owen, R. W. (2017). Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochemical insights into moroccan argan fruits. International journal of molecular sciences, 18(11), 2277

10. El Kabouss, A. (2002). Contribution à la valorisation de l'huile d'argan, étude phytochimique et activité antimicrobienne des métabolites secondaires des feuilles de l'arganier. Skeels Sapotaceae, Soutenue en juillet.

11. Khallouki, F., Younos, C., Soulimani, R., Oster, T., Charrouf, Z., Spiegelhalder, B., ... & Owen, R. W. (2003). Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols and phenolic compounds should confer valuable cancer chemopreventive effects. European journal of cancer prevention, 67-75.

12. Abiodun, O.A. Oilseed Crops: Yield and Adaptations under Environmental Stress; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, NY, USA, 2017; pp. 249–263. 2.

13. Mirpoor, S.F.; Giosafatto, C.V.L.; Porta, R. Biorefining of seed oil cakes as industrial co-streams for production of inno-vative bioplastics. A review. Trends Food Sci. Technol. 2021, 109, 259–270.

14. Zafra, A., M'rani-Alaoui, M., Lima, E., Jimenez-Lopez, J.C., Alché, J.D. Histological Features of the Olive Seed and Pres-ence of 7S-Type Seed Storage Proteins as Hallmarks of the Olive Fruit Development. Frontiers in Plant Science 9, 2018, 1481.

15. Samane, S., Noel, J., Charrouf, Z., Amarouch, H., & Haddad, P. S. (2006). Insulin-sensitizing and anti-proliferative effects of *Argania spinosa* seed extracts. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 3, 317-327.

16. Allach, M. Optimización y análisis celular de la germinación in vitro de la semilla del argán (*Argania spinosa* L.). Master dissertation. University of Granada. 2004.

17. Allach, M., M´rani, M., Sabouni, I., Alché, J.D. Preliminary characterization of SSPs (Seed Storage Proteins) in *Argania spinosa* L. Proceedings 3rd International SMBBM Congress, IUBMB Special Meeting & 6th FASBMB Congress, Marra-kesh, 2009, 358-362.

18. Mohammed M'rani-Alaoui, Elena Lima, Jose Carlos Jimenez-Lopez and Juan de Dios Alché. Histological characteris-tics of the argan seed and presence of 7S-type seed storage proteins as hallmarks of development. Extended Abstract. Actes du 5ème Congrès International de l'Arganier 2019. 222-228.

19. Moreno, F. J., & Clemente, A. (2008). 2S albumin storage proteins: what makes them food allergens?. The open biochem-istry journal, 2, 16.

20. Shewry, P. R., & Pandya, M. J. (1999). The 2S albumin storage proteins. In Seed proteins (pp. 563-586). Dordrecht: Springer Netherlands.

21. Jiménez-López, J. C., Zienkiewicz, A., Zienkiewicz, K., Alché, J. D., Rodríguez-García, M. I. Biogenesis of protein bodies during legumin accumulation in developing olive (Olea europaea L.) seed. Protoplasma 2015, 253, 517–530.

22. Guirao J. M. Caracterización bioinformática, bioquímica y funcional de las proteínas 2s albuminas de la semilla de olivo. 2022. TFM University of Granada.

23. Benslimane I. Identificación y análisis de las proteínas de almacenamiento 2S y del factor de elongación 1-alfa como proteínas con potencial nutracéutico en la semilla del olivo. 2022. TFM University of Cordoba.

Différentes méthodes d'enrichissement d'huile d'argane (*Argania spinosa* L. (Skeels), par des plantes aromatiques et médicinales

Samira Oubannin [*,1], Abderrahim Asbbane [1], Laila Bijla [1], Hasna Ait Bouzid [1], Jamila Gagour [1], Otmane Hallouch [1], and Said Gharby [1],

[1] *Équipe de biotechnologie, sciences analytiques et contrôle de qualité, Faculté polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibnou Zohr, Agadir, Maroc*

[*] *oubannin.samira@gmail.com*

Mots clés
Huile d'argane, Plantes médicinales et aromatiques, Vieillissement accéléré, Antioxydants naturels, Stabilité oxydative, Composition en acides gras totaux.

RÉSUMÉ

L'amélioration de la qualité de l'huile d'argane est d'une importance cruciale pour soutenir la filière de l'huile d'argane. La préservation à long terme de cette huile permettra de conquérir de nouveaux marchés économiquement rentables. C'est dans cette optique que s'inscrit l'idée de cette étude dont l'objectif principal consiste à concevoir un nouveau produit basé sur la valorisation de l'huile d'argane et des plantes médicinales et aromatiques. Pour ce faire, différentes méthodes d'enrichissement vertes sont adoptées, avec diverses quantités de plantes médicinales et aromatiques telles que : le safran et le thym. Pour évaluer l'effet de cet enrichissement, la stabilité oxydative est contrôlée. Les paramètres physicochimiques et sensoriels des échantillons ont été évalués. Ces paramètres comprennent les indices de qualité, la composition en acides gras totaux, l'évaluation sensorielle, la capacité antioxydante, ainsi que les composés phénoliques totaux. Les résultats diffèrent selon la méthode et la plante utilisée. Cependant, il n'y a pas de changements significatifs entre les huiles d'argane enrichies et non enrichies en termes de composition en acides gras. En effet, sur la base des résultats de cette combinaison synergique, on peut conclure que l'enrichissement de l'huile d'argane améliore non seulement la qualité, mais illustre également la puissance de l'exploitation de la diversité de la nature pour créer des produits uniques qui répond à la demande des consommateurs pour des options naturelles riches en nutriments.

Keywords
Argan oil, accelerated ageing, medicinal and aromatic plants, natural antioxi-dants, oxidative stability.

ABSTRACT

Different methods of enriching argan oil (*Argania spinosa* L. (Skeels)) with aromatic and medicinal plants

Improving the value of argan oil is crucial to sustaining the argan oil industry. The long-term preservation of this oil depends on the discovery of new economically profitable markets. The main aim of this study is to develop a new product based on argan oil and medicinal and aromatic plants. To achieve this, various green enrichment methods were adopted, with different quantities of medicinal and aromatic plants such as saffron and thyme. To assess the effect of this enrich-ment, oxidative stability is monitored. The physicochemical and sensory pa-rameters of the samples were evaluated. These parameters include quality in-dices, fatty acids, sensory evaluation, antioxidant capacity and total phenolic compounds. The results differed from one method and one plant to another. However, there were no significant changes between enriched and non-enriched argan oils in terms of fatty acid composition. Indeed, based on the results of this synergistic combination, it can be concluded that enriching argan oil not only improves quality, but also illustrates the power of harnessing nature's diversity to create unique products that meet consumer demand for natural, nutrient-rich options.

INTRODUCTION

La région du Souss-Massa est réputée pour la richesse de ses connaissances en matière de phytothérapie traditionnelle et de son patrimoine culturel dans le domaine de la nutrition [2]. L'endémique *Argania spinosa* L. (Skeels), appartenant à la famille des Sapotaceae, est une plante utilisée par la population indigène pour guérir de nombreux maux et pour préparer des plats authentiques. Grâce à la diversité de son climat et à sa géologie bien différenciée, la région du Souss-Massa est également connue pour sa grande richesse en termes de plantes médicinales et aromatiques. Comme le soulignent Charrouf et al. (2008), l'amélioration de la valeur de l'huile d'argane est d'une importance cruciale pour soutenir l'économie et la biodiversité de l'arganeraie. Selon ces mêmes auteurs, la préservation à long terme de l'huile d'argane dépend de la découverte de nouveaux marchés économiquement rentables [4]. C'est dans cette optique que s'inscrit l'objectif principal de cette étude qui consiste à concevoir un nouveau produit basé sur la valorisation de l'huile d'argane et des plantes médicinales et aromatiques. Une telle valorisation consiste à enrichir l'huile d'argane avec du thym à différentes concentrations, en utilisant des techniques d'enrichissement vertes comme la macération, le co-processing et l'ultrason. Un tel enrichissement permet d'améliorer la durée de conservation, la qualité nutritionnelle et organoleptique des huiles végétales [8]. En fait, l'enrichissement des huiles végétales avec des plantes aromatiques et médicinales s'est avéré efficace dans un certain nombre d'études, à savoir l'étude de Peres et al., 2021 qui ont enrichi l'huile d'olive au cours de son extraction en utilisant le thym (*Thymus mastichina* L.) [10]. Dans une autre étude, Saoudi et al., 2016 ont montré que l'ajout du romarin (*Rosmarinus offi-cinalis* L.) à l'huile de soja par la technique de maceration a suscité 50% de conservation de la teneur totale en tocophérols [11]. De même, la stabilité oxidative de l'huile de chanvre a amélioré après l'enrichissement par l'extrait du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) [9].

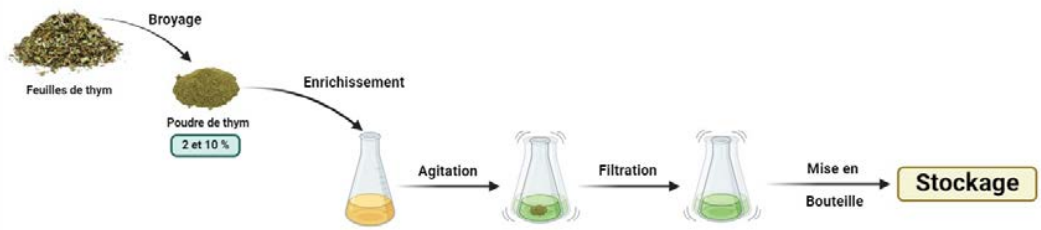
L'étude de l'enrichissement de l'huile d'argane revêt une grande importance pour trois raisons principales. Premièrement, elle permet une compréhension scientifique des composés actifs présents dans ces plantes et de leur interaction avec les huiles. Deuxièmement, le développement de produits : Les entreprises recherchent de plus en plus d'ingrédients naturels pour répondre à la demande des consommateurs. Enfin, la préservation des connaissances traditionnelles, les pratiques durables : l'étude peut également explorer les aspects de la durabilité, en veillant à ce que les plantes soient utilisées de manière responsable pour préserver les écosystèmes et éviter la surexploitation des ressources, et en particulier la réduction de l'utilisation des produits chimiques compte tenu de leurs conséquences négatives sur la santé. A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur l'enrichissement de l'huile d'argane par des plantes médicinales et aromatiques. D'où l'originalité de cette étude, qui a été mise en place pour évaluer l'impact de l'ajout de certaines plantes médicinales à savoir le thym, tant qu'ingrédients (dans des proportions différentes) entre tradition et innovation.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les analyses utilisées dans le suivi de la stabilité oxydative sont les mêmes ce n'est que les approches d'enrichissement qui différent ;

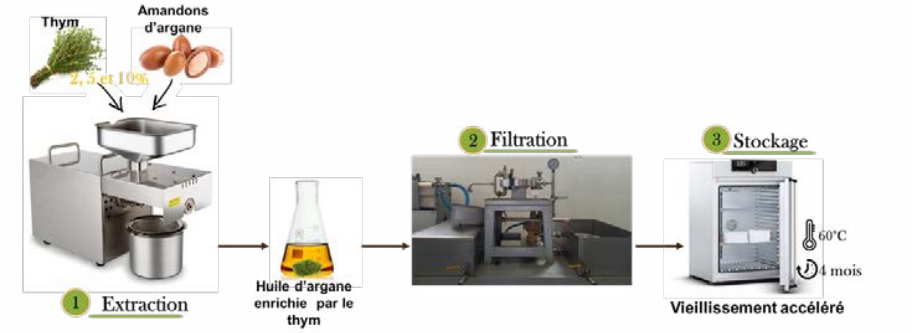
- **Première approche : Enrichissement par macération de l'huile d'argane par le thym *(Thymus vulgaris* L.)**

Le procédé de macération utilisé pour l'enrichissement consiste à immerger des feuilles de thym, préalablement broyées et tamisées dans de l'huile d'argane à deux concentrations : 5 et 10% pendant 1 semaine. Typiquement, le processus s'étend sur plusieurs jours pour permettre une extraction optimale des composés bioactifs du thym. Ensuite, le mélange est filtré à l'aide d'un papier filtre. Ensuite, les échantillons sont répartis dans des flacons de 30 mL puis placés dans une étuve réglée à 60°C pendant quatre mois (120 jours). A chaque mois, les échantillons sont prélevés pour les analyses suivantes : Acidité, indice de peroxyde (IP), et pigments chlorophylliens tandis que le profilage des acides gras a été évalué au début (jour 0) et à la fin (120 jours) de la période de stockage de quatre mois.



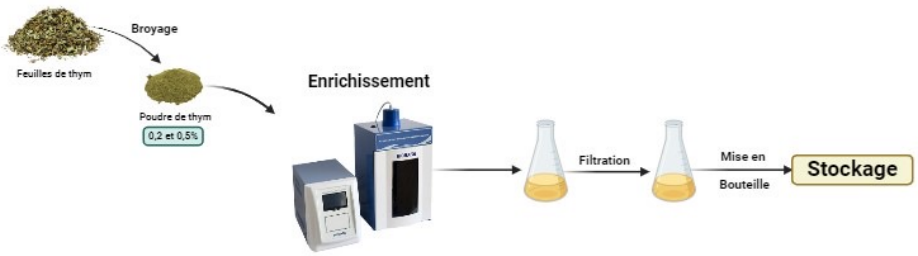
• **Deuxième approche : Enrichissement au cours d'extraction de l'huile d'argane par le thym (*Thymus vulgaris* L.)**

L'enrichissement lors de l'extraction est une méthode qui consiste à ajouter les amandons d'argane et les feuilles du thym dans le mélangeur (extracteur). Dans cette approche, aucune chaleur ni produit chimique n'est utilisé. Trois proportions différentes du thym (2, 5 et 10%) ont été considérées séparément pour chaque extraction. A la fin de l'extraction, le mélange huile d'argane-thym est ensuite filtré à l'aide d'un système de filtration. Les huiles d'argane ont été conservés dans des flacons en verre foncé de 30 mL dans étuve pour un vieillissement accéléré de quatre mois. Les paramètres de qualité ont été mesurés une fois par mois pendant toute la durée de l'expérience.



• **Troisième approche : Enrichissement par ultrason de l'huile d'argane par le thym (*Thymus vulgaris* L.)**

La macération ultrasonique a également été développée comme méthode d'enrichissement. Les ultrasons ont été utilisés pour améliorer l'extraction de produits naturels à partir de matériaux végétaux, grâce au grâce au phénomène de cavitation, et aussi pour accélérer la libération des composants bioactifs de la plante par la rupture de la membrane. Pour y parvenir, cette approche a impliqué l'introduction de de la poudre de thym a deux concentrations (0,2 et 0,5%) dans l'huile d'argane dans l'appareil à ultrasons. Dans ce processus, une lame rotative est utilisée pour homogénéiser le mélange. Le mélange est ensuite filtré afin d'éliminer les traces de feuilles avant l'analyse, es huiles d'argane ont été conservés dans des flacons en verre foncé de 30 mL dans étuve pour un vieillissement accéléré de quatre mois. Les paramètres de qualité ont été mesurés une fois par mois pendant toute la durée de l'expérience.



NB : Les résultats de cette étude seront communiqués dans la présentation (car cette étude est en cours de réalisation)

• **Principales analyses utilisées dans le suivi de l'impact de l'enrichissement de l'huile d'argane sur la qualité des huiles**

Tableau 1: Analyse effectuée pour le suivi de l'impact de lenrichement de l'huile d'argane

Analyses	Références
Acidité (Acides gras libres)	ISO 660, 2020 [5]
Indice de peroxide	ISO 3960, 2017 [6]
Composition en acides gras	ISO 12966-2 : 2011[7]
Analyses sensorielles	Benkhoud et al., 2021 [3]

Analyses sensorielles : L'analyse sensorielle a été réalisée selon le protocole de Benkhoud et al. (2022) [3] avec quelques modifications. Un panel de 10 évaluateurs formés, dont un professeur expert de l'équipe de biotechnologie, de sciences analytiques et de contrôle de la qualité, Tous les évaluateurs sont des consommateurs réguliers de l'huile d'argane, âgés de 20 à 50 ans et non-fumeurs ont procédé à l'évaluation sensorielle des échantillons. Ces derniers ont été distribués dans des verres ambrés portant un code numérique. Les paramètres évalués sont les suivants : rancissement de l'huile suite à une longue période de stockage, l'intensité de la couleur, de la saveur et de l'odeur induites par la plante ajoutée, ont été évalués sur une échelle de 4 points, 0 étant l'absence, 1 le moins intense et 4 le plus fort.

RÉSULTATS

- **Première approche : Enrichissement par macération de l'huile d'argane par le thym (*Thymus vulgaris* L.)**

3.1.1. Variation de l'acidité (acides gras libres) et de l'indice de peroxyde

L'acidité libre, est un facteur important pour évaluer la qualité d'une huile et elle est largement utilisée à la fois comme un critère classique de classification des huiles d'argane, et également un facteur qui renseigne sur l'altération de l'huile par hydrolyse. L'enrichissement par le thym a légèrement augmenté l'acidité libre. Après les quatre mois du stockage, le témoin a enregistré une valeur d'acidité de 0.32 g/100g, alors que l'huile enrichie avec 10% du thym (HET 10%) a établi une valeur de 0,36 g/100g (Figure 1). Cette augmentation observée dans l'huile d'argane enrichie s'est poursuivie tout au long des quatre mois.

L'indice de peroxyde est un paramètre qui indique la concentration d'hydro peroxydes, qui sont l'un des principaux produits de l'oxydation primaire. À partir du 1er mois, le même comportement est toujours signalé, les huiles enrichies par le thym ont montré des valeurs de peroxyde inférieurs à ceux du témoin. Au bout de quatre mois de vieillissement, les huiles enrichies de 5 et 10 % ont montré des moyennes de 3,15 et 3,33 mEqO2 /kg, alors que le contrôle a atteint 19,33 mEq (O2) /kg.

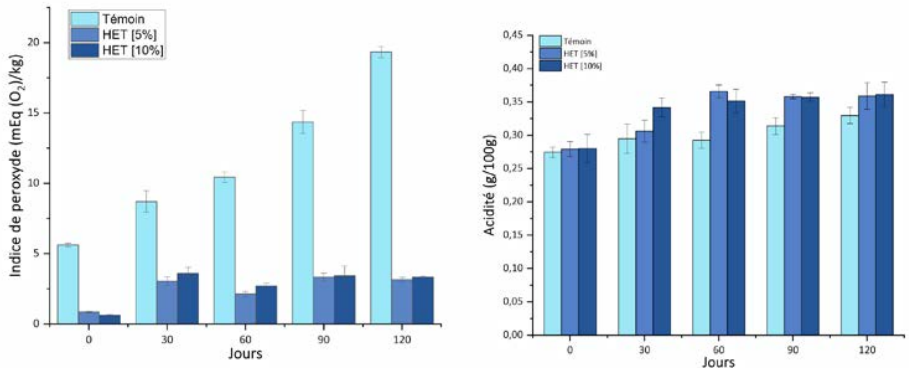


Figure 1: Acidité et indice de peroxyde de l'huile d'argane non enrichie (témoin) et des huiles d'argane enrichies avec 5% (HET 5%), et 10% du thym (HET 10%).

3.2. Deuxième approche : Enrichissement au cours d'extraction de l'huile d'argane par le thym (Thymus vulgaris L.)

3.2.1. Variation de l'acidité libre et de l'indice de peroxyde :

Les échantillons stockés à 60 °C, avaient des comportements différents. Ainsi, l'huile enrichie par 10% subi une évolution la plus intense pendant toute la période de stockage (Figure 2), en effet cette huile est passée, dans quatre mois, de 0,45 à 0,67 g/100g d'acidité et elle a gardé son étiquette de l'huile extra-vierge selon la norme marocaine SNIMA 2003.

Pour l'huile non enrichie, qui avait initialement une acidité assez faible, elle a enregistré des valeurs allant de 0.28 à 0.42 g/100g pendant quatre mois de stockage.

Un deuxieme paramétre pour évaluer la qualité et la stabilité de l'huile d'argane cest l'indice de peroxyde. Ce dernier est un critère qualitatif, utile d'une sensibilité satisfaisante pour apprécier les premières étapes d'une détérioration oxidative. Il est utilisé pour estimer la date limite de conservation d'une huile et l'acceptation du consommateur.

L'indice de peroxyde initial de nos échantillons est faible. Il est de 3,38 mEq (O2) /kg pour l'huile vierge (témoin), 3,24 mEq(O2) /kg pour l'huile enrichie 2%, 2,61 mEq(O2) /kg pour l'huile enrichie 5% et 1,60 mEq (O2) /kg pour l'huile enrichie 10% (Figure 2).

L'huile enrichie par 2% (HET 2%) qui n'a même pas dépassé 9 mEq (O2) /kg, a enregistré un rythme d'augmentation moins intense pendant la période de stockage. Les valeurs de peroxyde des huiles enrichies ont diminué. Cet effet favorable peut être induit par le pouvoir de piégeage des feuilles contre les radicaux libres impliqués dans le processus de peroxydation des lipides [12].

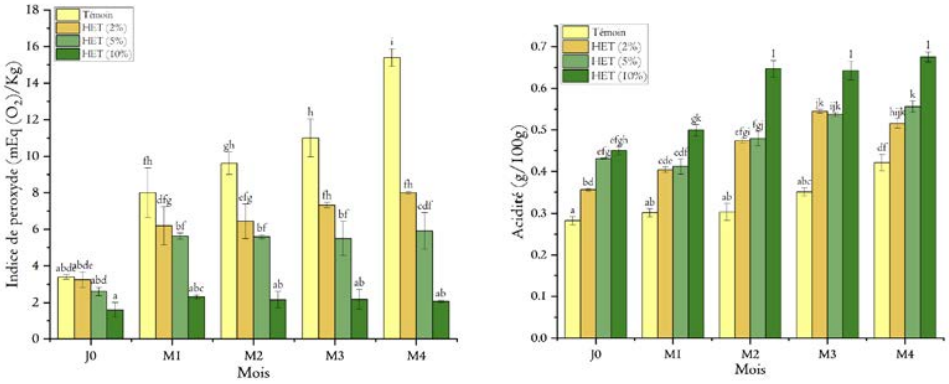


Figure 2 Acidité et indice de peroxyde de l'huile d'argane non enrichie (témoin) et des huiles d'argane enrichies avec 2% (HET 2%), 5% (HET 5%), et 10% du thym (HET 10%). *Les lettres différentes indiquent des différences significatives*

3.2.2. Analyses sensorielles :

Si l'huile d'argane est intéressante d'un point de vue nutritionnel, elle sera surtout appréciée pour leur goût et leur arômes particuliers. Une simple analyse chimique ne peut suffire pour déterminer la qualité d'une huile. En effet, les composés volatils qui se développent au cours du procédé de fabrication de l'huile puis pendant son stockage sont capables de modifier l'odeur et la saveur d'une huile. Pour cela, nous avons décidé d'utiliser l'analyse sensorielle pour évaluer davantage la qualité de nos échantillons (Figure 3). Nos résultats montrent que l'analyse sensorielle du rancissement des huiles a permis de conclure que seules les huiles non enrichies et celle enrichie par 2 % de thym (EAO 2 %) présentent un certain degré de rancissement à l'état final.

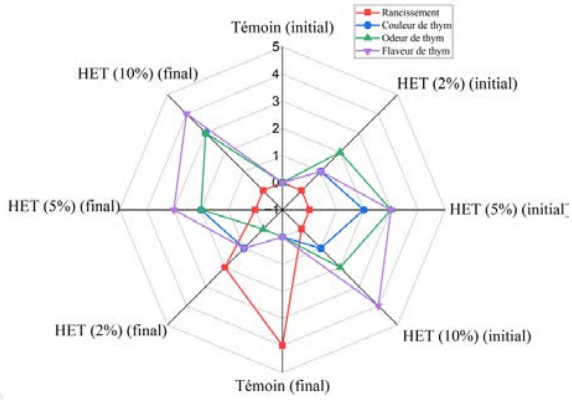


Figure 3 Attributs sensoriels de l'huile d'argane non enrichie (Témoin) et de l'huile d'argane enrichie avec 2 % (HET 2 %), 5 % (HET 5 %) et 10 % (HET 10 %) de thym.

DISCUSSION

4.1. Première approche : Enrichissement par macération de l'huile d'argane par le thym (Thymus vulgaris L.)

Cette augmentation observée dans les huiles d'argane enrichies s'est poursuivie tout au long des quatre mois. Néanmoins, ce qui est essentiel, c'est que même l'ajout de ces feuilles a entraîné un excès de l'acidité libre, mais toutes les huiles ont conservé l'étiquette "extra vierge" puisqu'elles n'ont pas dépassé 0,8 g/100g, la limite fixée par la norme marocaine SNIMA. Il convient de souligner que, outre l'hydrolyse chimique, les acides gras libres donnent également une idée de la dégénérescence des huiles par hydrolyse enzymatique pour former des composants non volatils, ce qui pourrait être à l'origine de cette légère augmentation causée par les plantes.

Les résultats trouvés après l'enrichissement de l'huile d''argane peuvent être lié à l'action conservatrice des composés phénoliques bioactifs que contient le thym et qui caractérise les Lamiacées. D'ailleurs des résultats comparables ont été obtenus précédemment par Moczkowska et al. (2020), qui ont constaté une diminution significative des peroxydes lipidiques après l'ajout d'un extrait de romarin à l'huile de chanvre [9].

4.2.Deuxième approche : Enrichissement au cours d'extraction de l'huile d'argane par le thym (Thymus vulgaris L.)

Les résultats de l'acidité trouvés pourraient être interprétés par le jus végétal acide du thym, qui peut être évité en réduisant la proportion de thym ajoutée.

L'indice de peroxyde d'argane enrichie par le thym au cours de l'extraction a également montré des résultats avantageux, cette différence significative entre les huiles enrichies et le control peut être induit par le pouvoir de piégeage des feuilles de thym contre les radicaux libres impliqués dans le processus de peroxydation des lipides. Des résultats similaires sont trouvés, en aromatisant l'huile d'olive avec des huiles essentielles de différentes espèces d'origan, Asensio et al. (2013) ont rapporté une diminution importante de l'indice de peroxyde , en particulier pour l'huile d'olive stockée à l'obscurité pendant une longue période [1]. D'autres résultats des teneurs en anti-oxydants et du contenu phénolique ont présenté des valeurs importantes sous l'effet de l'ajout des feuilles de thym et de la méthode de l'enrichissement au cours de l'extraction. Les attributs sensoriels ont montré que l'arôme herbacé et frais du thym se marie harmonieusement avec la noisette et la légère amertume qui caractérisent l'huile d'argane, offrant une expérience olfactive agréable, cette combinaison crée une sensation sensorielle équilibrée qui peut améliorer l'expérience culinaire et cosmétique, tout en offrant des avantages pour la santé.

CONCLUSIONS

En effet, sur la base des résultats de cette combinaison synergique, on peut conclure que l'enrichissement de l'huile d'argane à l'aide de plantes médicinales améliore non seulement la qualité et les avantages potentiels de l'huile d'argane, mais illustre également le pouvoir de l'exploitation de la diversité de la nature pour créer des produits uniques et précieux, et répond à la demande des consommateurs pour des options naturelles et riches en nutriments, répondant à ceux qui recherchent des approches holistiques du bien-être.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre de deux projets : Projet 1 : Projets de recherche citoyenne et soutenu financièrement par Cowater, ANDZOA et REFARM. Projet 2 : Valorisation des plantes médicinales et aromatiques (3e édition, VPMA3 2021/09), financé par l'Agence nationale des plantes médicinales et aromatiques (ANMPA) (Taounate, Maroc) et le Centre national de la recherche scientifique et technique (CNRST).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Asensio, C.M. et al. 2013. Consumers' acceptance and quality stability of olive oil flavoured with essential oils of different oregano species. *International Journal of Food Science & Technology*. 48, 11 (2013), 2417–2428. DOI:https://doi.org/10.1111/ijfs.12233.

[2] Barkaoui, M. et al. 2022. Ethnobotany, traditional knowledge, and nutritional value of Argan (Argania spinosa (L.) Skeels) in Western Anti-Atlas of Morocco. *Brazilian Journal of Biology = Revista Brasleira De Biologia*. 84, (2022), e260477. DOI:https://doi.org/10.1590/1519-6984.260477.

[3] Benkhoud, H. et al. 2022. Essential oils as flavoring and preservative agents: Impact on volatile profile, sensory attributes, and the oxidative stability of flavored extra virgin olive oil. *Journal of Food Processing and Preservation*. 46, 5 (2022), e15379. DOI:https://doi.org/10.1111/jfpp.15379.

[4] Charrouf, Z. et al. 2008. Enhancing the value of argan oil is the best mean to sustain the argan grove economy and biodiver-sity, so far. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*. 15, 4 (Jul. 2008), 269–271. DOI:https://doi.org/10.1051/ocl.2008.0205.

[5] ISO 660:2020: *https://www.iso.org/fr/standard/75594.html*. Accessed: 2024-03-14.

[6] ISO 3960:2017: *https://www.iso.org/fr/standard/71268.html*. Accessed: 2024-03-14.

[7] ISO 12966-2:2011: *https://www.iso.org/fr/standard/43172.html*. Accessed: 2024-03-14.

[8] Jorge, N. et al. 2015. Antioxidant Effect of Thyme (Thymus vulgaris L.) and Oregano (Origanum vulgare L.) Extracts in Soybean Oil Under Thermoxidation. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39, 6 (2015), 1399–1406. DOI:https://doi.org/10.1111/jfpp.12358.

[9] Moczkowska, M. et al. 2020. Effect of rosemary extract addition on oxidative stability and quality of hemp seed oil. *Food and Bioproducts Processing*. 124, (Nov. 2020), 33–47. DOI:https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.002.

[10] Peres, F. et al. 2021. Co-Processed Olive Oils with Thymus mastichina L.—New Product Optimization. *Life*. 11, 10 (Oct. 2021), 1048. DOI:https://doi.org/10.3390/life11101048.

[11] Saoudi, S. et al. 2016. Influence of Tunisian aromatic plants on the prevention of oxidation in soybean oil under heating and frying conditions. *Food Chemistry*. 212, (Dec. 2016), 503–511. DOI:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.186.

[12] Tamma, G. and Valenti, G. 2016. Evaluating the Oxidative Stress in Renal Diseases: What Is the Role for S-Glutathionylation? *Antioxidants & Redox Signaling*. 25, 3 (Jul. 2016), 147–164. DOI:https://doi.org/10.1089/ars.2016.6656.

Evaluation de la composition chimique et de la stabilité des huiles d'argane issues des arganiers de croissance domestiquée et spontanée

Chaimaa Sabiri [1,*], Bouchra Tazi [2] , Saad Lhoussaine [3], Abdelfettah Derouiche [1],

[1] *Faculté des Sciences Ben M'Sick, Université Hassan 2 Casablanca Avenue Driss El Harti B.P 7955, Sidi Othmane, Casablanca 20660, Maroc ;*

[2] *Département sciences de base, Ecole Nationale d'Agriculture (ENAM), km 10 Route Haj Kaddour, B.P. S/40,Meknes 50000, Maroc, Meknes ;*

[3] *Laboratoire officiel d'analyses et de recherches chimiques. 25, rue R. Nichakra, Casablanca, Maroc ;*

[*] *chama.sabiri@gmail.com*

RÉSUMÉ :

L'arganeraie a été classée en avril 1998 par l'UNESCO, en tant que réserve de biosphère. Cette espèce est menacée par les différentes pressions biotiques et abiotiques. La domestication de cette espèce, permettrait de les atténuer en contribuant à la développer et à la conserver. L'objectif de cette étude est d'évaluer et de comparer la composition chimique et la stabilité oxydative des huiles d'argane provenant d'une plantation domestique à Casablanca « HAC » et celles extraites à partir des arganiers poussant naturellement dans le sud-ouest marocain dans la région d'Essaouira « HAE » et de Taroudant « HAT ». L'ensemble des analyses de divers échantillons d'huile d'argane, a été effectué selon les normes commerciales conformément à la norme marocaine NM.08.5.090 (2003). Nos résultats ont montré que les arganiers plantés dans la ville de Casablanca produisent de l'huile d'argane de composition similaire à celles issues de l'arganier dans son biotope naturel en termes d'acide oléique (HA : 42,66% ; HAE : 47,14% et HAT : 47,55%), acide linoléique (HAC: 36,95%; HAE : 34,28% et HAT: 31,65%) ainsi que certains tocophérols et stérols. Les huiles d'argane conservées dans des conditions protectrices sont qualifiées comme étant stables à l'oxydation après 2ans. Ces résultats démontrent la forte capacité d'adaptation de cette espèce aux conditions climatiques et environnementales. la domestication de l'arganier serait donc en plus de l'intérêt nutritionnel et socioéconomique qu'elle présente, une aubaine pour la préservation de l'écosystème Marocain.

Mots clés

Argane ; domestication ; tocophérols.

ABSTRACT :

Nutritional Assessment and Comparison of the Composition & Oxidative stability of Oil Ex-tracted from Argan Nuts Collected from a Plantation and Two Natural Forest Stands of ARGAN Trees

The argan tree is threatened by various biotic and abiotic pressures. Domestication of this species would help to alleviate these pressures by contributing to its development and conservation. The aim of this work is to evaluate and compare the nutritional composition and oxidative sta-bility of argan oils from a domesticated plantation in Casablanca "CAO" and those extracted from argan trees growing naturally in south-west Morocco in the Essaouira "EAO" and Taroudant "TAO" regions. All analyses of the various argan oil samples were carried out in accordance with the commercial standards established by NM.08.5.090 (2003) appli-cable to argan oil. Our results showed that the planted argan tree produces argan oil similar to that of spontaneously-grown argan trees in terms of oleic acid (CAO: 42.66%; EAO: 47.14% and TAO: 47.55%), linoleic acid (CAO: 36.95%; EAO: 34.28% and TAO: 31.65%) and certain tocopherols and sterols. Argan oils stored under protective conditions are qualified as oxidation-stable after 2 years. Domestication of the argan tree would therefore be of great nutritional, socio-economic and ecological interest.

Keywords

Argane ; domestication ; tocopherols.

INTRODUCTION

L'huile d'argane est largement connue pour ses propriétés biochimiques uniques, sa richesse en acides gras insaturés, et ses composés secondaires : polyphénols, tocophérols et stérols, qui lui confèrent des propriétés antioxydantes & hypocholestérolémiantes, ainsi que ses effets bénéfiques sur la stimulation des cellules cérébrales, la régulation du fonctionnement hépatique, la protection du tissu conjonctif, la protection neuro-cardiovasculaire et cutanée et la production d'androgènes (1–7).Cela a abouti à ce que cette huile soit généralement considérée comme un nouvel aliment ou alicament fonctionnel. Elle est issue des fruits oléagineux des arganiers (*Argania spinosa*), qui poussent naturellement dans les biomes arides et semi-arides du sud-ouest du Maroc. L'arganier est déclarée par l'UNESCO, en tant que réserve de biosphère en avril 1998. Cette espèce est menacée par les différentes pressions biotiques et abiotiques, la surexploitation et les changements climatiques comme causes majeures. En plus, la régénération naturelle de l'arganier n'est plus observée et les essais de reboisement ont été des échecs. Grâce aux travaux des chercheurs, qui se sont intéressés à l'association symbiotique entre les racines de l'arganier et les champignons du sol, la réhabilitation de cette espèce à vue la lumière. Le taux de réussite des plantations de l'arganier est actuellement en augmentation attrayante. Cependant, la domestication de cette espèce, permettrait certainement à atténuer les pressions sur cette ressource en contribuant à la développer et à la conserver. Dans le cadre de son extension dans différents biomes, des essais de plantation dudit arbre à Casablanca ont été réalisées par notre équipe de recherche. L'objectif de ce travail est d'évaluer et de comparer la composition nutritionnelle ainsi que la stabilité oxydative des huiles d'argane provenant d'une plantation domestiquée à Casablanca « HAC » et celles extraites à partir des arganiers poussant naturellement dans le sud-ouest marocain dans la région d'Essaouira « HAE » et de Taroudant « HAT ».

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'ensemble des analyses sur les trois échantillons d'huile ont été effectuées au niveau de Laboratoire Officiel d'Analyses et des Recherches Chimiques de Casablanca (LOARC), la Faculté des Sciences Ben M'Sick (FSBM), et l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès (ENAM) selon les normes commerciales établies par la NM.08.5.090 (2003) applicables à l'huile d'argane (8). Ils ont concerné le dosage de l'acidité (ISO 660) (9), l'indice de peroxyde (ISO 3960) (10), l'extinction spécifique en UV (ISO 3656) (11), la composition en acides gras cis et trans (ISO 12966-2:2017) (12), la composition en stérols (ISO 6799) (13) et la composition en tocophérols (ISO 9936) (14). L'évaluation de la stabilité oxydative des trois échantillons a été effectuée après 2 et 3 ans de stockage. Les trois huiles (HAC, HAE et HAT) ont été conditionnées dans des tubes transparents de 50 ml puis stockées dans des conditions spécifiques avec présence d'oxygène (50 ml d'huile) ou absence d'oxygène (25 ml d'huile) pendant 2 et 3 ans : en obscurité totale avec présence et absence d'oxygène, en exposition à la lumière en continue avec présence et absence d'oxygène et en alternance d'obscurité et de lumière avec présence et absence d'oxygène. an l'ensemble des échantillons ont été analysées après 24 et 36 mois de stockage.

RÉSULTATS

3.1. Evaluation de la composition nutritionnelle

Nos résultats ont montré que les trois huiles étudiées présentent les caractéristiques de la catégorie « Huile d'argan vierge extra ». L'huile d'argane de plantation a un pourcentage d'acidité plus élevé par rapport aux huiles « HAT » et « HAE » (0,37% ; 0,25% et 0,2%, respectivement). Pour ce qui concerne la composition en acides gras et acides gras trans nous avons trouvé que l'arganier planté produit de l'huile d'argane similaire à celle des arganiers de croissance spontanée en termes d'acide oléique (HAC : 42,66% ; HAE : 47,14% et HAT : 47,55%), acide linoléique (HAC : 36,95% ; HAE : 34,28% et HAT : 31,65%) (Figure 1). D'autre part, nos résultats ont montré que l'huile d'argane Casablancaise s'avère plus riche en gamma-tocophérols avec un pourcentage à l'ordre de 90,53% contre 87,15% pour « HAT » et 87, 88% «HAE ». De même, elle est plus riche en tocophérols totaux par rapport au deux autres huiles « HAT » et « HAE » (758,47 mg/Kg; 662,80 mg/Kg et 749,43 mg/Kg) (Figure 2). Notre étude a montré que les trois huiles étudiées renferment des teneurs très proches en certains dérivés de stérol (Figure 3).

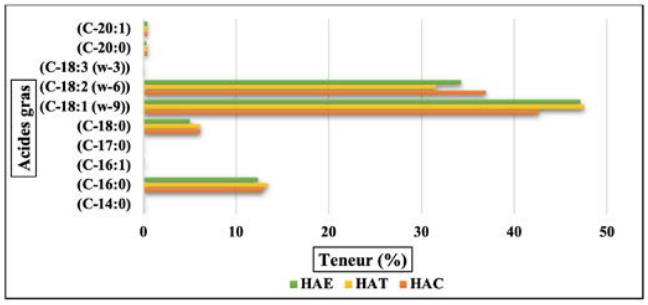


Figure 1. Composition en acides gras des huiles HAC, HAT et HAE.

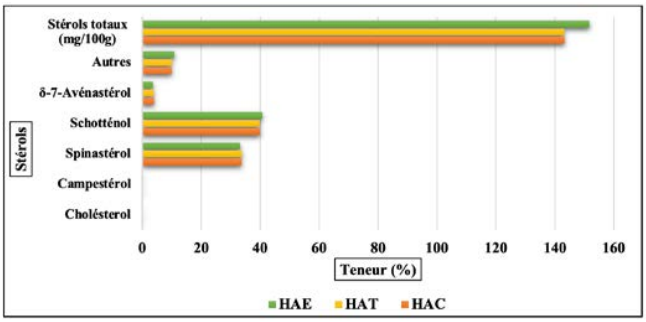


Figure 2. Composition en stérols des huiles HAC, HAT et HAE en mg/100g.

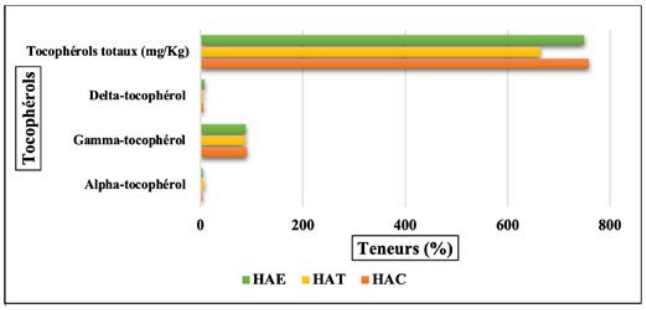


Figure 3. Composition en tocophérols des huiles HAC, HAT et HAE.

3.1. Evaluation de la stabilité oxydative

En ce qui concerne la stabilité oxydative des huiles étudiées nous avons établis que les huiles d'argane conservées dans des conditions protectrices sont qualifiées comme étant stables à l'oxydation après 2ans. L'huile d'argane extraite des fruits d'arganiers domestiqués et celle extraite à partir d'amondons issus d'arganiers de la région de Taroudant ont été classées, après un stockage de 3ans à l'obscurité et en absence d'oxygène, dans la catégorie « Huile d'argane vierge extra » après un stockage de 3ans à l'obscurité et en absence d'oxygène. Nos résultats ont montré également un fort impact de la lumière sur la stabilité oxydative de l'huile d'argane. Finalement, nous avons observé une baisse drastique des concentrations en tocophérols dans toutes les huiles d'argane.

DISCUSSION

Notre étude a montré que les trois huiles étudiées sont classées dans la catégorie « Huile d'argan vierge extra » du moment où elles n'ont pas dépassé les valeurs limites supérieures fixées par la norme Marocaine pour ladite catégorie en terme de paramètres physico-chimiques (8). En plus, l'huile d'argan issue des fruits des arganiers domestiqués « HAC » a présenté une composition nutritionnelle presque similaire à celle des huiles d'origine forestière « HAT » et «HAE » avec une augmentation des teneurs en acides acide linoléique et linolénique, ainsi que certains stérols et tocophérols. Ces résultats indiquent que les huiles étudiées sont extraites à base des fruits sains et en respectant les bonnes conditions de trituration. La variabilité des paramètres physico-chimiques et des teneurs en acides gras, stérols et tocophérols observée concorde avec les résultats de nombreuses études qui indiquent que la qualité de l'huile d'argane varie en fonction de plusieurs facteurs tels que le génotype, l'origine, la date de récolte et la température d'extraction (15–17). Cependant, nous avons établis que l'arganier planté en dehors de son biotope naturel est un bon producteur de l'huile d'argane qui peut même être plus riche en certains acides gras insaturés, tocophérols et certains dérivés des stérols, ce qui concorde avec les résultats établis par Azizi et ses collaborateurs (18) qui ont montré que les huiles d'argane issues des arganiers domestiqués à Oujda présentent les mêmes propriétés physico-chimiques que l'huile d'argane d'origine forestière (Agadir et Beni Snassen) et qu'elles renferment des teneurs plus élevées en tocophérols totaux qui dépassent 500 mg/Kg (18).

L'évaluation de la stabilité des huiles d'argane après 2 et 3 ans de stockage dans des conditions différentes nous a permis de prouver le fort impact de la lumière sur la stabilité oxydative de l'huile d'argan et le rôle des tocophérols dans la stabilité de la qualité de l'huile d'argane durant le stockage à travers le ralentissement du phénomène de l'oxydation lipidique.

CONCLUSIONS

La domestication de l'arganier serait donc d'un grand intérêt nutritionnel, socioéconomique et écologique. La culture de l'arganier peut contribuer à l'atténuation des effets du changement climatique, en particulier la désertification ceci grâce à sa capacité de stabilisation des sols et la prévention de l'érosion. En outre, ses racines profondes atteignent les eaux souterraines, ce qui est essentiel dans les régions caractérisées par une rareté des eaux de surface. De plus, l'arganier est renommé par sa forte tolérance à la sécheresse extrême ce qui réduit le besoin de recourir à l'irrigation ainsi qu'à d'autres pratiques exigeant de nombreuses ressources. L'arganier joue également un rôle vital dans la séquestration du carbone, ce qui permet de réduire la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Finalement, son feuillage dense fournit de l'ombre et favorisent la rétention de l'humidité, constituant un microclimat favorable pour d'autres espèces végétales.

Remerciements : Nous remercions vivement l'Ecole Nationale d'agriculture de Meknès (ENAM) et le Laboratoire Officiel d'Analyses et des Recherches Chimiques de Casablanca (LOARC) d'avoir participé activement à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.Derouiche A, Jafri A, Driouch I, Khasmi ME,

Adlouni A, Benajiba N, et al. Effect of Argan and Olive Oil Consumption on the Hormonal Profile of Androgens Among Healthy Adult Moroccan Men. Nat Prod Commun. janv 2013;8(1):1934578X1300800.

2. Derouiche A, Cherki M, Drissi A, Bamou Y, El Messal M, Idrissi-Oudghiri A, et al. Nutritional intervention study with argan oil in man: effects on lipids and apolipoproteins. Ann Nutr Metab. 2005;49(3):196-201.

3. Benajiba N, Leiris JD, Lyan B, Derouiche A, Mokhtar N, Aguenaou H. Effet de l'huile d'argan sur la contractilité de l'aorte : susceptibilité au stress oxydatif. Ol Corps Gras Lipides. 1 janv 2006;13(1):76-80.

4. Cherki M, Derouiche A, Drissi A, El Messal M, Bamou Y, Idrissi-Ouadghiri A, et al. Consumption of argan oil may have an antiatherogenic effect by improving paraoxonase activities and antioxidant status: Intervention study in healthy men. Nutr Metab Cardiovasc Dis. 1 oct 2005;15(5):352-60.

5. Qiraouani Boucetta K, Charrouf Z, Aguenaou H, Derouiche A, Bensouda Y. The effect of dietary and/or cosmetic argan oil on postmenopausal skin elasticity. Clin Interv Aging. 30 janv 2015;10:339-49.

6. Drissi A, Girona J, Cherki M, Godàs G, Derouiche A, Messal ME, et al. Evidence of hypolipemiant and antioxidant properties of argan oil derived from the argan tree (*Argania spinosa*). Clin Nutr. 1 oct 2004;23(5):1159-66.

7. Adlouni A. L'huile d'argan, de la nutrition à la santé. Phytothérapie. 2010;8(2):89-97.

8. SNIMA N. Service de normalisation industrielle marocaine (Snima), Corps gras d'origine animale ou végétale- Huiles d'argan. Spécification Norme Marocaine NM. 2003;8:090.

9. ISO 660:1996 - Animal and vegetable fats and oils — Determination of acid value and acidity. Disponible sur: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7b8a7a94-75f4-4efd-a298-05195ee64ff4/iso-660-1996

10. ISO 3960:2017(fr), Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination de l'indice de peroxyde — Détermination avec point d'arrêt iodométrique [Internet]. [cité 3 avr 2024]. Disponible sur: https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:3960:ed-5:v1:fr

11. ISO 3656:2011 - Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination de l'absorbance dans l'ultraviolet, exprimée sous la forme d'extinction spécifique en lumière ultraviolette [Internet]. [cité 2 avr 2024]. Disponible sur: https://www.iso.org/fr/standard/51008.html

12. ISO 12966-2:2017(fr), Corps gras d'origines animale et végétale — Chromatographie en phase gazeuse des esters méthyliques d'acides gras — Partie 2: Préparation des esters méthyliques d'acides gras [Internet]. [cité 3 avr 2024]. Disponible sur: https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:12966:-2:ed-2:v1:fr

13. Afnor EDITIONS [Internet]. [cité 3 avr 2024]. NF ISO 6799. Disponible sur: https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-iso-6799/corps-gras-dorigines-animale-et-vegetale-determination-de-la-composition-de/fa019941/54296

14. ISO 9936:2016(fr), Corps gras d'origines animale et végétale — Détermination des teneurs en tocophérols et en tocotriénols par chromatographie en phase liquide à haute performance [Internet]. [cité 3 avr 2024]. Disponible sur: https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:9936:ed-3:v1:fr

15. El Kharrassi Y, Maata N, Mazri MA, El Kamouni S, Talbi M, El Kebbaj R, et al. Chemical and phytochemical characterizations of argan oil (*Argania spinosa* L. skeels), olive oil (Olea europaea L. cv. Moroccan picholine), cactus pear (Opuntia megacantha salm-dyck) seed oil and cactus cladode essential oil. J Food Meas Charact. juin 2018;12(2):747-54.

16. Mechqoq H, El Yaagoubi M, El Hamdaoui A, Momchilova S, Guedes da Silva Almeida JR, Msanda F, et al. Ethnobotany, phytochemistry and biological properties of Argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) (Sapotaceae) - A review. J Ethnopharmacol. déc 2021;281:114528.

17. Ouchbani T, Bennis M, Khaili A, Zahar M, Nakajima M. Effects of the heating temperature during the press extraction process on the yield and quality of cosmetic argan oil. Euro-Mediterr J Environ Integr. avr 2021;6(1):11.

18. Azizi S eddine, Dalli M, Mzabri I, Berrichi A, Gseyra N. Chemical characterization of oils produced by some native and introduced genotypes of argan tree in eastern Morocco using HPLC-DAD/GC-MS, and the evaluation of their physicochemical parameters. OCL. 2022;29:14.

Étude in vitro sur l'activité antioxydante, antiglycation et de docking moléculaire de l'huile d'*Argania spinosa* du Maroc Oriental

Abdnim Rhizlan[1], Amal Elrherabi [1], Abdelkhaleq Legssyer [1], Abderrahim Ziyyat [1], Hassane Mekhfi [1], Mohamed Bnouham [1*].

[1] *Laboratoire des Bio-ressources, Biotechnologie, Ethnopharmacologie et Santé, Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc*

[*] *abdenimghizlane@gmail.com, mbnouham@yahoo.fr.*

RÉSUMÉ

Une hyperglycémie persistante dans le diabète sucré est susceptible de modifier les structures des protéines à la fois dans le sérum et les tissus. L'altération de la structure des protéines est due à l'activité de glycation non enzymatique des protéines et conduit à un dysfonctionnement des protéines. L'huile d'Argane au Maroc Oriental qui a été historiquement utilisée pour traiter le diabète a été examinée pour ses éventuelles activités anti-glycation et antioxydantes *in vitro*, en conjonction avec des analyses e docking moléculaire. La présente étude a examiné les propriétés antioxydantes et antiglycation *in vitro* de L'huile d'*Argania spinosa*. L'activité antioxydante a été évaluée en utilisant le test d'activité de piégeage du radical DPPH et le test de blanchiment du β-Carotène/Acide linoléique β. De plus, l'activité antiglycation a été détectée en utilisant un modèle de protéine d'hémoglobine. L'huile d'Argan montré une activité antioxydante et antiglycation puissante, notamment sur l'activité de piégeage du radical DPPH et dans le blanchiment du β-Carotène. Bien que cette huile it eu un effet plus important contre la glycation de l'hémoglobine, in vitro. La présence abondante de polyphénols dans cette huile pourrait expliquer son activité antioxydante et antiglycation. Ainsi, elle pourrait être considérée comme un complément alimentaire potentiel pour prévenir l'apparition de complications diabétiques liées à la glycation. En outre, pour confirmer l'activité antiglycation in silico de cette huile d'Argan des techniques de docking moléculaire ont été utilisées En mettant en avant les molécules les plus efficaces dans l'activité antiglycation, on part du principe que l'énergie de liaison diminue à mesure que l'affinité du composé augmente. L'analyse de docking moléculaire, qui a montré que les molécules suivantes, quercétin-O-acétylhexoside, le quercétin-3-O-glucoside et le quercétin, Gallic acid, et Gallic acid 4-O-D-glycopyranoside, présentaient une forte affinité pour le récepteur des AGEs et une activité inhibitrice puissante.

Mots clés

Activité antiglycation, Argania spinosa, activité antioxydante, in vitro, diabète, hémoglobine, docking moléculaire.

ABSTRACT

In Vitro Study on the Antioxidant, Anti-Glycation Activity, and Molecular Docking of *Argania spinosa* Oil from the Oriental Region of Morocco

Persistent hyperglycemia in diabetes mellitus is likely to alter protein structures both in serum and tissues. This structural alteration is due to the non-enzymatic glycation of proteins, leading to protein dysfunction. Argan oil from the Oriental region of Morocco, which has been historically used to treat diabetes, was investigated for its potential anti-glycation and antioxidant activities in vitro, along with molecular docking analyses. This study examined the in vitro antioxidant and anti-glycation properties of *Argania spinosa* oil. Antioxidant activity was assessed using the DPPH radical scavenging assay and the β-Carotene/Linoleic Acid bleaching test. Additionally, anti-glycation activity was evaluated using a hemoglobin protein model. Argan oil demonstrated

Keywords

Anti-glycation activity, Argania spinosa, antioxidant activity, in vitro, diabetes, hemoglobin, molecular docking.

potent antioxidant and anti-glycation activities, particularly in DPPH radical scavenging and β-Carotene bleaching. While this oil had a more pronounced effect against hemoglobin glycation in vitro, its high polyphenol content may explain its antioxidant and anti-glycation activities. Thus, it could be considered a potential dietary supplement for preventing diabetic complications related to glycation. Furthermore, to confirm the in silico anti-glycation activity of Argan oil, molecular docking techniques were used. The docking analysis highlighted the most effective molecules in anti-glycation activity, with binding energy decreasing as compound affinity increased. Molecular docking results showed that quercetin-O-acetylhexoside, quercetin-3-O-glucoside, quercetin, gallic acid, and gallic acid 4-O-D-glycopyranoside exhibited high affinity for the AGE receptor and strong inhibitory activity.

INTRODUCTION

Certains régimes alimentaires spécifiques peuvent contribuer à l'émergence des maladies métaboliques. Une maladie métabolique se caractérise par un dysfonctionnement médical affectant les processus métaboliques cellulaires, notamment la production d'énergie. Le diabète est une maladie métabolique chronique qui se caractérise par une concentration élevée de sucre dans le sang, résultant d'une perturbation de la sécrétion de l'insuline et/ou de son action hormonale. Un contrôle insuffisant de l'hyperglycémie chez les patients diabétiques conduit à maintenir une hyperglycémie permanente chez ces individus (1). La persistance de l'hyperglycémie conduit à la glycation des protéines (2). Cette réaction conduit à la formation des produits de glycation avancée (AGE), qui sont associés aux complications du diabète (3). La glycation altère la structure et la fonction des protéines, ce qui conduit à leur dysfonctionnement. (4). Il existe une forte corrélation entre le stress oxydatif et la glycation. Les radicaux libres générés pendant le stress oxydatif peuvent réagir avec les sucres présents dans l'organisme, conduisant à la formation de produits de glycation avancée (AGE). En retour, la glycation des protéines peut aggraver le stress oxydatif en augmentant la production de radicaux libres.

Argania spinosa L. (Sapotaceae), ou arganier, est une espèce endémique principalement située dans le sud-ouest du Maroc (5). Elle est utilisée pour plusieurs affections, notamment le diabète (6), les rhumatismes(7), la gastrite (8), les ulcères (8), les maux de tête et la fièvre (9). L'huile d'argane est également réputée pour ses propriétés esthétiques, son application externe pour le traitement de la peau et l'hydratation des cheveux (10)(11). Les activités biologiques de l'*Argania spinosa* font actuellement l'objet d'investigations, notamment ses effets anti-diabétiques (12), antioxydants (13), antimicrobiens (14), anti-inflammatoires (15) et anti-cancéreux (16).

Une hyperglycémie persistante dans le diabète sucré est susceptible d'altérer les structures protéiques aussi bien dans le sérum que dans les tissus. Cette altération de la structure protéique est causée par l'activité glycative non enzymatique des protéines, ce qui entraîne un dysfonctionnement des protéines (4). Des efforts ont été déployés pour éviter le processus de glycation des protéines et des médicaments ont été fabriqués à partir de plantes médicinales. Dans la médecine traditionnelle, certains remèdes à base de plantes ont été observés pour soulager la glycémie élevée dans le diabète sucré (22). Au sein de cette étude, *Argania spinosa* du Maroc Oriental, traditionnellement utilisée pour la prise en charge du diabète, a été étudiée pour leur éventuelles propriétés antiglycation et antioxydantes, *in vitro*, combinées à des expériences moléculaires afin d'explorer les propriétés antiglycation et les composés les plus importants dans cette huile qui possèdent des propriétés antiglycation, afin d'expliquer la partie expérimentale de cette activité.

L'objectif de cette étude était d'évaluer les éventuelles propriétés antiglycation et antioxydantes in vitro de l'huile d'Argane de la région de l'Oriental, associées à des expériences de docking moléculaire, afin de déterminer son effet préventif sur les complications du diabète par inhibition de la glycation.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Étude de l'effet inhibiteur de la glycation de l'hémoglibine, in vitro de l'huile d'argania spinosa

L'activité antiglycation a été réalisée en suivant la méthodologie décrite par Nair et al en 2013 (17), avec de légères modifications. 25 µL de l'extrait testé ou de l'acide gallique (contrôle positif) ont été mélangés avec 1 mL de solution d'hémoglobine. De plus, 5 µL de gentamicine ont été ajoutés à chaque tube. 1 mL de solution de glucose a ensuite été introduit dans le mélange. Ce dernier a été conservé à l'obscurité pendant 72 heures. L'absorbance a été mesurée à 443 nm. L'activité antiglycation des échantillons a été déterminée en utilisant la formule de calcul suivante:

2.2. Test de piégeage du 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

$$\text{Inhibition \%} = [1 - (\text{Abs}_{\text{blanc}} - ((\text{Abs}_{\text{Control}} - \text{Abs}_{\text{échantillon}}) / \text{Abs}_{\text{Control}}))] \times 100$$

(DPPH)

L'expérience a été réalisée en suivant la méthodologie décrite par de la Rosa en 2011 (18). Diverses concentrations (0,15; 0,31; 0,62; 1,25; 2,5 et 5 mg/mL) de l'extrait ont été employées. En résumé, 0,2 ml de la solution de l'extrait a été combiné avec 1,8 ml de solution de méthanol contenant du DPPH (0,004%). Après une incubation a été réalisée de 30 minutes dans l'obscurité à température ambiante. L'absorbance a été relevée au moyen d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 517 nm. Le témoin positif (contrôle) utilisé était l'acide ascorbique. Chaque essai a été en trois répliques. Le pourcentage de capture a été calculé en utilisant l'équation suivante:

2.3. Test de blanchiment de β-carotène

$$\text{DPPH (\%)} = 100 \times [(\text{DO}_{\text{Contrôle}} - \text{DO}_{\text{test}}) / \text{DO}_{\text{Contrôle}}]$$

Le test de blanchiment du β-carotène a été réalisé en utilisant la méthode décrite par Harrera-Calderon et al 2021, avec quelques modifications modestes. Une solution de β-carotène a été préparée en dissolvant 2 mg dans 10 mL de chloroforme. De plus, 20 mg d'acide linoléique et 200 mg de tween 80 ont été mélangés avec la solution de β-carotène. Après élimination du chloroforme à 40°C (80 tr/min pendant 5 min) de la solution finale, 100 mL d'eau distillée ont été ajoutés au ballon tout en maintenant une agitation vigoureuse pour obtenir une émulsion stable. Ensuite, 2,5 mL de cette solution émulsifiante ont été transférés dans différents tubes à essai contenant la solution témoin (0,5 mL). Les tubes ont été incubés dans un bain d'eau à 50°C pendant 2 heures avec agitation constante. Immédiatement après l'ajout de l'émulsion, l'absorbance initiale des échantillons a été enregistrée à 0 minute et après 2 heures à 470 nm. Le BHA (Butylhydroxyanisole) a été utilisé comme étalon. Toutes les mesures ont été effectuées en triple. L'activité antioxy-dante a été déterminée à l'aide de la formule suivante :

Protection du β-carotène (%) = *100 - [((Absorbance initial β-carotène) (t0) -(Absorbance final β-carotène) (t120 min) / (Absorbance initial β-carotène) (t0)) × 100]*

2.4. Docking moléculaire (utilisant AutoDock Vina)

L'analyse du docking moléculaire a été réalisée exactement comme rapporté dans la référence mentionnée (19). Les structures cristallines de la Dipeptidyl peptidase (DPP)-IV (ID PDB : 3F8S), la Protéine Tyrosine Phosphatase 1B (ID PDB : 1T49), l'Albumine Sérique Bovine (ID PDB : 4OR0), et les produits finaux de glycation avancée (ID PDB : 7LMW) ont été récupérées à partir de la banque de données protéiques RCSB (http://www.rcsb.org/pdb) (consultée le 21 juillet 2022), établie au Brookhaven National Laboratory en 1971. En utilisant AutoDock Tools, les molécules d'eau ont été éliminées, les hydrogènes polaires ont été ajoutés ainsi que les charges Kollman. Les ligands co-cristallisés ont également été retirés, et la protéine préparée a été enregistrée au format "pdbqt". Les ligands ont été téléchargés depuis (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/) (consulté le 21 juillet 2022), au format "sdf 3D", puis convertis en fichier "pdb" en utilisant PyMol. Le fichier pdbqt final du ligand a été obtenu en utilisant AutoDock Tools (version 1.5.6).

Pour obtenir le meilleur ajustement au site de liaison actif, la boîte de grille utilisée pour délimiter l'espace de recherche du docking a été agrandie. Les coordonnées de la boîte de grille sont affichées dans le Tableau 2. Les résultats pour les complexes de ligands dockés ont été exprimés en valeurs d'énergie de liaison G en kcal/mol. La création de diagrammes d'interaction moléculaire 2D et 3D ainsi que l'analyse des interactions de liaison protéine-ligand ont été réalisées à l'aide de Discovery Studio 4.1 (Dassault Systems Biovia, San Diego, CA, USA).

3. RÉSULTATS

3.1. Effet in vitro de l'huile d'Argan sur la glycation d'hémoglobine

L'huile d'Argane (HA) a été testée pour son activité antiglycation à différentes concentrations allant de 0,03 à 0,98 mg/mL. Les résultats ont révélé que HA inhibait significativement l'activité de glycation de l'hémoglobine par rapport au groupe témoin (sans l'ajout d'huile), avec un niveau élevé de signification statistique ($p < 0,001$). Notamment, HA a présenté le pourcentage d'activité le plus élevé (51,19 ± 4,26%) à une concentration de 0,98 mg/mL (Figure 1). La valeur de IC50 de HA a indiqué une activité antiglycation significative, avec une valeur de 0,694 ± 0,017 mg/mL. De plus, l'acide gallique a affiché le pourcentage le plus élevé d'activité antiglycation (96,45 ± 5,46 %) à une concentration de 0,98 mg/mL ($p < 0,001$), et sa valeur de IC50 a été déterminée à 0,362 ± 0,015 mg/mL. Ces résultats mettent en évidence le potentiel d'activité antiglycation de HAS, l'acide gallique servant de référence avec une activité encore plus élevée.

3.2. Effet antioxidant in vitro del'huile d'Argania. spinosa

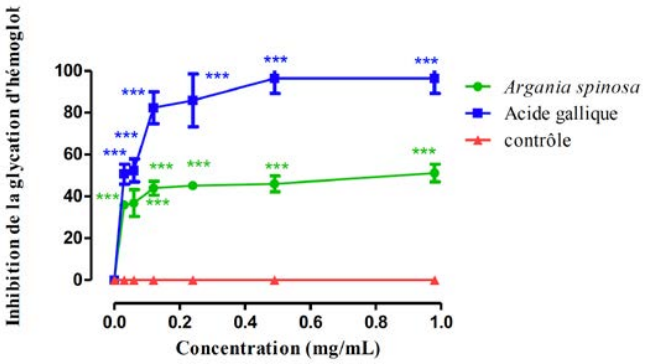


Figure 1 : L'effet inhibiteur de l'huile d'*Argania spinosa* et de l'acide gallique (contrôle positif) sur l'activité de glycation de l'hémoglobine. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± erreur standard de la moyenne (n=3). ***p < 0,001 par rapport au groupe témoin.

Les résultats de l'activité de piégeage des radicaux libres de l'OFIO ont été exprimés en pourcentage d'inhibition du radical DPPH. En effet, le test au DPPH de l'huile d'*Argania spinosa* a montré une augmentation significative (p < 0,001) de l'activité antioxydante avec l'augmentation des doses d'extrait de 0,15 à 5 mg/mL. De même, l'acide ascorbique a montré une activité importante de piégeage des radicaux DPPH (p < 0,001). Cette activité antioxydante était statistiquement significative par rapport au témoin. De plus, l'IC50 des radicaux DPPH de HAS était de 2,98 ± 0,383 mg/mL. En comparaison, l'acide ascorbique standard présentait une valeur d'IC50 de 1,77 ± 0,03 mg/mL contre les radicaux DPPH (voir Tableau 1). Ces valeurs ont montré l'effet dose-dépendant de HAS sur le pouvoir anti-radicalaire. Dans la méthode de blanchiment du β-carotène, la valeur de l'IC50 a été trouvée à être de 2,20 ± 0,383 µg/mL, respectivement. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux du BHT, un antioxydant standard, avec une valeur d'IC50 de 0,40 ± 0,010 µg/mL.

3.3. Molecular Docking Results

Dans le groupe témoin, le BT est d'environ 150 secondes (n=6). Après le traitement, les extraits aqueux de feuilles d'*A. spinosa* provenant des sites de Chwihia et Oujda (1g/kg) ont significativement prolongé (p<0,001 et p<0,01 respectivement) ce paramètre (Figure 3). L'effet de l'ASFC est comparable à celui de l'ASA. En revanche, dans le cas des branches, les résultats montrent une augmentation du temps de saignement sans atteindre le niveau de signification.

Tableau 1 : Activités du DPPH et du β-carotène de l'huile d'*Argania spinosa.*

Plants name	DPPH Activity (IC_{50} µg/mL)	β-Carotene Activity (IC_{50} µg/mL)
A. spinosa	2,98 ± 0,383	2,20 ± 0,383
Ascorbic acid	1,77 ± 0,030	-
BHA	-	0,40 ± 0,010

Pour chaque colonne, l'échelle de couleurs va du rouge (référence à ΔG du ligand natif) au jaune (milieu), puis au vert (ΔG du ligand natif + 5 kcal/mol). Protéines antiglycation et antioxydantes : 3F8S, dipeptidyl peptidase (DPP)-IV ; 1T49, protéine tyrosine phosphatase 1B (PTP1B) ; 4OR0, albumine sérique bovine (BSA) ; 7LMW, récepteur des AGEs (RAGE) ; 1N8Q, lipoxygénase ; 1OG5, CYP2C9 ; 2CDU, oxydase NADPH ; 2BXD, albumine sérique humaine.

Tableau 2 : Composés responsables de l'effet antiglycation pour l'huile d'*Argania spinosa* de la région du Maroc Oriental.

Species	Agents inhibiteur de la glycation	L'agent le plus inhibiteur	Références
Argania spinosa	Gallic acid	Gallic acid	(20)
	α-tocopherol	Quercetin-O-pentose (6)	(Wu et al., 2011)
	Quercetin-O-pentose (6)		
	Caffeic acid		(21)

Tableau 3 : Carte thermique des scores de docking (les valeurs d'énergie de liaison libre sont exprimées en kcal/mol) de certains phyto-constituants responsables de l'effet antiglycation trouvés dans les plantes médicinales de l'est du Maroc.

Ligand	Antiglycation Proteins PDB IDs				Antioxidant Proteins PDB IDs			
	3F8S	1T49	4OR0	7LMW	1N8Q	1OG5	2CDU	2BXD
	Free Binding Energy ΔG (kcal/mol) [1]							
Gallic acid	-6.6	-5.5	-6.1	-5.5	-6.1	-5.2	-5.7	-5.8
Gallic acid 4-O-D-glycopyranoside	-6.9	-5.8	-5.8	-6.2	-7.1	-7.6	-7.0	-6.8
Quercetin	-8.0	-6.7	-8.7	-7.8	-8.3	-8.8	-8.5	-8.7
Quercetin-3-O-glucoside	-8.6	-7.1	-8.0	-7.0	-9.1	-8.6	-7.9	-8.3
Quercetin-O-acetylhexoside	-8.4	-7.5	-8.1	-6.7	-8.8	-8.7	-8.6	-8.7

Le Tableau 2 réprésente les différents constituants chimiques de l'huile d'*Argania spinosa* ainsi que le constituant actif qui a montré un niveau élevé d'activité pour cette huile après une recherche bibliographique et comparé avec l'étude in silico expliquée dans le Tableau 3. Cinq phytochimiques, dont, le quercétin-O-acétylhexoside, le quercétin-3-O-glucoside et le quercétin, Gallic acid, et Gallic acid 4-O-D-glycopyranoside ont été trouvés pour présenter une activité antioxydante et antiglycation élevée lors d'une enquête in silico sur les composants chimiques de l'huile d'*Argania spinosa* utilisées dans cette étude.

DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont montré que l'huile

d'*Argania spinosa* a une activité antioxydante et antiglycation puissante, notamment sur l'activité de piégeage du radical DPPH et dans le blanchiment du β-carotène, bien que l'huile d'*Argania spinosa* possède un effet plus important contre la glycation d'hémoglobine in vitro.

Des composés phénoliques ont également été découverts dans l'huile d'argane avec un taux de 58,57 mg/kg. Ils ont la capacité de réduire le stress oxydatif et de neutraliser les radicaux libres, de réduire la peroxydation des lipides et les dommages inflammatoires (23). Le premier stade de la formation des AGEs commence par une fixation nucléophile des groupes aminés libres des protéines sur le groupe carbonyle des sucres réducteurs pour la formation réversible d'un produit de Schiff de base, qui est ensuite converti en résidus fructosamine stables par un réarrangement amadorien. La base de Schiff et la fructosamine sont générées dès le début de la glycation. Ces adduits peuvent subir une oxydation, un réarrangement, une déshydratation et une cyclisation supplémentaires pour former des agents stables appelés produits finaux de glycation avancée (AGEs). Les AGEs sont des structures complexes hautement réactives et irréversiblement liées, qui continuent de réagir avec les groupes aminés proches des protéines pour créer des liaisons croisées intra et intermoléculaires (24) (Seneviratne et al., 2012) (25)(26).. De nombreuses études ont révélé l'existence d'une corrélation positive entre l'activité antiglycation et la richesse des extraits de plantes en composés phénoliques, capables ainsi d'inhiber la formation des AGEs en neutralisant diverses approches telles que la neutralisation des ROS, le piégeage des composés dicarbonyles, l'activation des enzymes antioxydantes dans le corps et la perturbation de la liaison croisée des protéines (Khangholi et al., 2015). Les antioxydants, y compris les phénols et les flavonoïdes, ont été rappelés comme inhibant la formation des AGEs. Ces caractéristiques sont attribuées à la structure de ces composés. Les groupes OH adjacents sont responsables de leur activité antioxydante et antiglycation (27)(26). L'étude in silico menée sur les différents composés chimiques de cette huile dans cette étude a révélé l'efficacité de 5 phytochimiques, le quercétin-O-acétylhexoside, le quercétin-3-O-glucoside et le quercétin, Gallic acid, et Gallic acid 4-O-D-glycopyranoside, les présentant comme des agents antioxydants et antiglycation puissants. Ces molécules sont essentiellement présentes l'huile testé dans le cadre de ce travail.

CONCLUSIONS

Dans cette étude, les constituants de l'huile d'*Argania spinosa* qui est parmi les plantes médicinales antidiabétiques sont des agents responsables de l'inhibition de l'activité oxydative et de glycation. Ces résultats ont été validés par l'analyse de docking moléculaire, qui a montré que les molécules suivantes, quercétin-O-acétylhexoside, le quercétin-3-O-glucoside et le quercétin, Gallic acid, et Gallic acid 4-O-D-glycopyranoside, présentaient une forte affinité pour le récepteur des AGE et une activité inhibitrice puissante.

Remerciements : Les auteurs remercient le Professeur Mostafa El Achouri (responsable de l'herbier de l'Université Mohammed Premier, Oujda) pour son aide. Merci à M. Mostafa Bedraoui et M. A. Joudar (Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda) pour leur assistance technique fiable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Avogaro A, Fadini GP. The effects of dipeptidyl peptidase-4 inhibition on microvascular diabetes complications. Diabetes Care. 2014;37(10):2884–94.

2. Le Marchand-Brustel Y, Jeanrenaud B, Freychet P. Insulin binding and effects in isolated soleus muscle of lean and obese mice. Am J Physiol Metab. 1978;234(4):E348.

3. Lebovitz HE. Postprandial hyperglycaemic state: importance and consequences. Diabetes Res Clin Pract. 1998;40:S27-8.

4. Singh VP, Bali A, Singh N, Jaggi AS. Advanced glycation end products and diabetic complications. Korean J Physiol Pharmacol. 2014;18(1):1–14.

5. El Adib S, Aissi O, Charrouf Z, Ben Jeddi F, Messaoud C. *Argania spinosa* var. mutica and var. apiculata: Variation of Fatty-Acid Composition, Phenolic Content, and Antioxidant and α-Amylase-Inhibitory Activities among Varieties, Organs, and Development Stages. Chem Biodivers. 2015;12(9):1322–38.

6. Barkaoui M, Katiri A, Boubaker H, Msanda F. Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the traditional treatment of diabetes in Chtouka Ait Baha and Tiznit (Western Anti-Atlas), Morocco. J Ethnopharmacol. 2017;198:338–50.

7. Khallouki F, Eddouks M, Mourad A, Breuer A, Owen RW. Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochemical insights into moroccan argan fruits. Int J Mol Sci. 2017;18(11):2277.

8. El Hafian M, Benlandini N, Elyacoubi H, Zidane L, Rochdi A. Étude floristique et ethnobotanique des plantes médicinales utilisées au niveau de la préfecture d'Agadir-Ida-Outanane (Maroc). J Appl Biosci. 2014;81(1):7198.

9. Ouhaddou H, Boubaker H, Msanda F, El Mousadik A. An ethnobotanical study of medicinal plants of the Agadir Ida Ou Tanane province (southwest Morocco).

J Appl Biosci. 2014;84:7707–22.

10. Moukal A. L'arganier, *Argania spinosa* L.(skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire. Phytothérapie. 2004;2(5):135–41.

11. Boukhobza M, Pichon-Prun N. L'arganier ressource économique et médicinale pour le Maroc. Phytothérapie. 1988;27:21–6.

12. Bnouham M, Bellahcen S, Benalla W, Legssyer A, Ziyyat A, Mekhfi H. Antidiabetic activity assessment of *Argania spinosa* oil. J Complement Integr Med. 2008;5(1).

13. Marfil R, Giménez R, Martínez O, Bouzas PR, Rufián-Henares JA, Mesías M, et al. Determination of polyphenols, tocopherols, and antioxidant capacity in virgin argan oil (*Argania spinosa*, Skeels). Eur J Lipid Sci Technol. 2011;113(7):886–93.

14. Kabouss A El, Charrouf Z, Faid M, Garneau F-X, Collin G. Chemical composition and antimicrobial activity of the leaf essential oil of *Argania spinosa* L. Skeels. J Essent Oil Res. 2002;14(2):147–9.

15. Kamal R, Kharbach M, Vander Heyden Y, Doukkali Z, Ghchime R, Bouklouze A, et al. In vivo anti-inflammatory response and bioactive compounds' profile of polyphenolic extracts from edible Argan oil (*Argania spinosa* L.), obtained by two extraction methods. J Food Biochem. 2019;43(12):e13066.

16. El Babili F, Bouajila J, Fouraste I, Valentin A, Mauret S, Moulis C. Chemical study, antimalarial and antioxidant activities, and cytotoxicity to human breast cancer cells (MCF7) of *Argania spinosa*. Phytomedicine. 2010;17(2):157–60.

17. Nair SS, Kavrekar V, Mishra A. In vitro studies on alpha amylase and alpha glucosidase inhibitory activities of selected plant extracts. Eur J Exp Biol. 2013;3(1):128–32.

18. de la Rosa LA, Alvarez-Parrilla E, Shahidi F. Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (Carya illinoinensis). J Agric Food Chem. 2011;59(1):152–62.

19. Kandsi F, Elbouzidi A, Lafdil FZ, Meskali N, Azghar A, Addi M, et al. Antibacterial and Antioxidant Activity of Dysphania ambrosioides (L.) Mosyakin and Clemants Essential Oils: Experimental and Computational Approaches. Antibiotics. 2022;11(4):482.

20. Rahbar S, Figarola JL. Novel inhibitors of advanced glycation endproducts. Arch Biochem Biophys. 2003;419(1):63–79.

21. Kamal R, Kharbach M, Vander Heyden Y, Doukkali Z, Ghchime R, Bouklouze A, et al. In vivo anti-inflammatory response and bioactive compounds' profile of polyphenolic extracts from edible Argan oil (*Argania spinosa* L.), obtained by two extraction methods. J Food Biochem. 2019;43(12):1–11.

22. Sadowska-Bartosz I, Bartosz G. Prevention of protein glycation by natural compounds. Molecules. 2015;20(2):3309–34.

23. Dakiche H, Khali M, Boutoumi H. Phytochemical characterization and in vivo anti-inflammatory and wound-healing activities of *Argania spinosa* (L.) skeels seed oil. Rec Nat Prod. 2017;11(2):171–84.

24. Gkogkolou P, Böhm M. Advanced glycation end products: Key players in skin aging? Dermatoendocrinol. 2012;4(3):259–70.

25. Rondeau P, Bourdon E. The glycation of albumin: structural and functional impacts. Biochimie. 2011;93(4):645–58.

26. Ho S-C, Wu S-P, Lin S-M, Tang Y-L. Comparison of anti-glycation capacities of several herbal infusions with that of green tea. Food Chem. 2010;122(3):768–74.

27. Yeh W-J, Hsia S-M, Lee W-H, Wu C-H. Polyphenols with antiglycation activity and mechanisms of action: A review of recent findings. J food drug Anal. 2017;25(1):84–92.

Usage traditionnel et valeur nutritionnelle d'argane (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région de l'Anti-Atlas occidental du Maroc

Mohamed Barkaoui[1,2 *], Fouad Msanda[2], Hassan Boubaker[3], Rachida El-Boullani[2], Ouahid Elasri[3], Mohamed El-Yaagoubi[2] , Mohamed Chahboune[1].

[1] *Hassan First University of Settat, Higher Institute of Health Sciences, Laboratory of Health Sciences and Technologies, Settat, Morocco.*

[2] *University of Ibn Zohr, Faculty of Sciences, Laboratory of Biotechnologies and Natural Resources Valorization, B.P. 8106, Agadir, Morocco.*

[3] *University of Ibn Zohr, Faculty of Sciences, Laboratory of Microbial Biotechnology and Plant Protection, B.P. 8106, Agadir, Morocco.*

[*] *mohamed.barkaoui@uhp.ac.ma (M. Barkaoui);*

Mots clés
Argania spinosa (L.) Skeels ; étude ethnobotanique ; nutrition ; indices ethnobotaniques

RÉSUMÉ

La région du Souss au Maroc est connue à l'échelle nationale et internationale par son savoir-faire important en médecine traditionnelle et par son patrimoine culturel en alimentation. L'espèce endémique *Argania spinosa* (L.) Skeels est une plante cruciale utilisée par la population locale pour traiter de nombreuses maladies et pour préparer des aliments culinaires traditionnels. Afin d'identifier les utilisations thérapeutiques et culinaires de l'arganier [*Argania spinosa* (L.) Skeels], une enquête a été menée à l'aide d'un questionnaire semi-structuré. 450 interviews ont été réalisées dans les différentes communes de la région d'étude. Nous avons, également, recueilli plusieurs manuscrits auprès des tradipraticiens (*foqaha* : imams et/ou enseignants dans les écoles coraniques) et auprès de certains usagers dans la région. Parallèlement, nous avons analysé la valeur nutritive de certains aliments culinaires traditionnels à base d'huile d'argan (*Amlou , Tagoulla et Labsis*). Toutes les 450 personnes interrogées utilisent l'huile d'argan dans l'alimentation et pour la préparation de leurs aliments traditionnels (*Amlou , Tagoulla et Labsis*). Parmi les 450 interviewées, 100 personnes utilisent argan, en plus de l'alimentation, dans le traitement de huit maladies. De même, l'analyse des manuscrits collectés dans la zone d'étude a révélé une utilisation thérapeutique ancienne de l'arganier. Les résultats montrent, également, que l'huile d'argane est la base des préparations culinaires traditionnelles ayant des valeurs nutritionnelles significatives, en particulier Amlou .

Keywords
Argania spinosa (L.) Skeels; ethnobotanical study; nutrition; ethnobotanical indices

ABSTRACT

Traditional Uses and Nutritional Value of *Argania spinosa* (L.) Skeels in the Western Anti-Atlas Region of Morocco

The Souss region in Morocco is renowned nationally and internationally for its significant traditional medical knowledge and cultural heritage in cuisine. The endemic species *Argania spinosa* (L.) Skeels is a crucial plant used by the local population to treat various diseases and to prepare traditional culinary dishes. To identify the therapeutic and culinary uses of the argan tree (*Argania spinosa*), a survey was conducted using a semi-structured questionnaire. A total of 450 interviews were carried out across different municipalities in the study region. Additionally, several manuscripts were collected from traditional practitioners (foqaha: imams and/or teachers in Quranic schools) and from some local users. Concurrently, the nutritional value of certain traditional culinary foods made with argan oil (Amlou, Tagoulla, and Labsis) was analyzed. All 450 respondents use argan oil in their diet and for preparing traditional foods (Amlou, Tagoulla, and Labsis). Among the 450 interviewees, 100 individuals also use argan oil for treating eight different diseases. Similarly, the analysis of collected manuscripts revealed the ancient therapeutic use of the argan tree. The results also show that

argan oil is a fundamental component of traditional culinary preparations with significant nutritional value, particularly in Amlou.

INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, les humains ont utilisé les plantes pour soulager leurs douleurs et guérir leurs maladies. De génération en génération, ils ont transmis leurs connaissances et leurs expériences simples oralement ou par écrit lorsqu'ils pouvaient les consigner [1-3]. Malgré les nombreux progrès de la médecine moderne, on observe un regain d'intérêt pour la médecine traditionnelle [4]. Ces pratiques traditionnelles sont encore largement utilisées dans le monde, notamment dans les pays en développement, où elles constituent le seul remède thérapeutique disponible [5, 6]. De plus, dans certaines communautés, la culture de l'écriture dans des manuscrits est choisie pour assurer la préservation des connaissances, car il est possible de réutiliser les connaissances bien au-delà de la disparition de leur promoteur [7, 8].

Le Maroc est l'un des pays qui possèdent des connaissances ancestrales essentielles en matière de médecine à base de plantes [9]. Il présente des écosystèmes forestiers riches et diversifiés : 41 écosystèmes composés de plus de 4200 espèces sauvages, dont 600 espèces ont des propriétés aromatiques ou médicinales, dont seules 80 espèces sont actuellement exploitées [10].

La biodiversité de massif de l'Anti-Atlas occidental est exceptionnelle, et il existe de nombreuses espèces endémiques (*Argania spinosa*, Thymus leptobotrys, Dracaena draco ...) [11]. En effet, l'originalité de cette région réside dans la présence du genre endémique Argania, [12]. L'arganier se trouve dans le sud-ouest du Maroc et couvre une superficie d'environ 800 000 hectares [11, 13]. L'arganier est un arbre vivace qui appartient à la famille des Sapotaceae et porte des fleurs hermaphrodites et des fruits en baies charnues [13, 14]. Il est appelé argan par les habitants locaux ou Harjan ou Louz Albarabir (amande berbère) par Ibn Al-Baytar [15]. Cet arbre précieux joue un rôle crucial dans la vie socio-économique, écologique et culturelle des habitants du sud-ouest du Maroc. Les domaines d'utilisation principaux sont thérapeutiques, cosmétiques et alimentaires [16]..

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Zone d'étude

La région étudiée se situe dans l'Anti-Atlas occidental, elle correspond aux deux provinces ; Chtouka Aït Baha et Tiznit (Fig.1). Elle est limitée géographiquement à l'est par les Provinces de Taroudannt et de Tata, à l'ouest par les plaines de Chtouka et de Tiznit, au nord par la Plaine du Souss et au sud par les Provinces de Sidi Ifni et de Guelmim. De point de vue administratif, la zone d'étude englobe quatre cercles qui se composent de dix-huit communes rurales, dont deux communes urbaines : Aït Baha et Tafraout (Figure1).

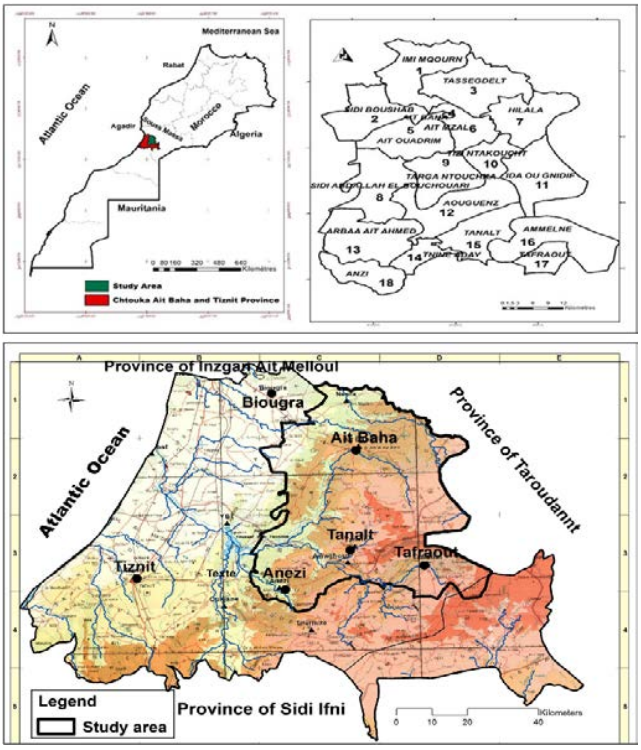


Figure 1: Zone d'étude

2.2 Enquête ethnobotanique

L'étude ethnobotanique d'arganier a été effectuée auprès de la population locale de dix-huit communes de province de Chtouka Ait Baha et de Tiznit (Figure 1). Pour mener à bien cette enquête, 25 personnes de chaque commune sont interviewées. Ainsi, 450 fiches d'enquête sont établies renfermant chacune le profil de la personne interviewée (le sexe, l'âge, le niveau d'étude, l'origine de l'information…) et les données concernant les plantes médicinales (usages, parties utilisées, mode de préparation…). Les données recueillies dans les fiches questionnaires ont été transposées et saisies dans le logiciel « Access » puis traitées et analysées statistiquement par le logiciel «Excel».

Parallèlement à l'enquête ethnobotanique, nous avons collecté plusieurs anciens manuscrits et textes locaux provenant des tradipraticiens, des foqahas (imams ou enseignants des écoles coraniques) et de la population de la région. Ces ouvrages contiennent des informations importantes sur la culture doctrinaire de

la médecine traditionnelle pratiquée dans la région, et ils sont classés en deux types :

- Manuscrits à référence connue: "Kitab majmaâ al manafeâ âla âelm ateb anafeâ," known as "Ateb al-Ba'qil" [17];
- Manuscrits à référence inconnue : ces manuscrits contiennent des traces confirmant leur appartenance à la zone d'étude, transcrites par le dialecte local "Tachelhit," », ou portent les noms vernaculaires de plantes utilisées par la population locale de la région.

RÉSULTATS

3.1. Usages thérapeutiques d'argan

Les résultats montrent que la population locale utilise l'argan pour traiter diverses maladies telles que la peau et les tissus sous-cutanés, les troubles digestifs, le diabète, les déchirures musculaires, les conjonctivites, les otites, les rhumatismes et la cicatrisation des plaies (Tableau 2). Par ailleurs, plusieurs études ethnobotaniques prouvent l'action anti-hyperglycémiante de l'argan à raison d'une prise d'une amande brute par jour [21-23] ou en association avec du fenugrec [24]. De plus, l'huile d'argan traite le cancer de la peau [25] et elle est fortifiante et aphrodisiaque [9]. De plus, l'huile d'argan contient plusieurs saponines [26, 27], qui diminuent l'absorption intestinale du cholestérol [26]. De plus, l'huile extraite de feuilles a démontré des activités antifongiques et antibactériennes agréables contre plusieurs souches de bactéries et de champignons [28].

Table 2: Usage traditionnel d'argan au sein de la région de Chtouka Ait Baha et Tiznit

Partie utilisée	Method of preparation	Administration mode	Therapeutic indications	References
Feuille	Nature et cataplasme	Application externe	Hémostatique et cicatrisation des plaies	[29]
Amande	Decoction	Application externe	Anti-venin	Pas de données
	Nature et cataplasme	Application externe	Conjonctivite	Pas de données
	Nature	Orale	Diabète	[21, 23, 30]
Huile d'argan	Nature et friction	Application externe	Soins de la peau et des cheveux, boutons d'acné, abcès, déchiffreur musculaire, douleur rhumatismale	[29-32]
	Nature	Voie auriculaire	Otite	Pas de données
	Nature	Orale	Laxatif et stomachique	[30, 33]
Péricarpe	Nature et cataplasme	Application externe	Hémostatique et cicatrisation des plaies	Pas de données

Les anciens manuscrits et textes collectés ont permis de déceler des savoirs ancestraux hérités de la région de Souss. Par ailleurs, le traitement de ces manuscrits a permis d'identifier plusieurs prescriptions ethnomédicinales de l'arganier associé à d'autres plantes médicinales (Tableau 3).

Table 3: Les prescriptions d'argan décrites dans les manuscrits anciens

Composition végétale des prescriptions (nom scientifique et famille)	nom vernaculaire	Partie utilisée de la plante	Mode de préparation	Mode d'administration	Indications thérapeutiques
Argania spinosa (L.) Skeels (*Sapotaceae*)	Argan	Amandes d'Argan	Décoction	Application externe	Antivenom
Argania spinosa (L.) Skeels (*Sapotaceae*) *Olea europaea* L. (*Oleaceae*) *Arundo donax* L. (Poacea)	Argan Zitoun Qseb/ Aghanim	huile huile ecorce (cendre)	Cataplasme (les cendres de la tige de l'*A. donax* L. mélangées à l'huile d'argan et l'olive)	Application externe (pour une heure))	Les maux des dents cassées
Argania spinosa (L.) Skeels (*Sapotaceae* *Nerium oleander* L. (*Apocynaceae*) *Lawsonia inermis* L. (*Lythraceae*)	Argan Alili / Defla Lhenna	Amandes d'Argan Feuille feuille	Cataplasme (mélange de feuilles de laurier avec des amandes d'argan et des feuilles en poudre de Henné)	Application externe	Scrofule

3.2. Valeur nutritionnelle de l'huile d'argan et de leurs aliments caulinaires Amlou , Tagoulla et Labsis

L'huile d'argan est utilisée comme aliment et ingrédient alimentaire depuis des siècles. C'est le seul dérivé de l'arganier utilisé dans l'alimentation humaine et source essentielle de lipides pour la population locale et toutes les personnes vivant dans des zones pauvres [38]; elle représente 25 % de leur alimentation quotidienne en lipides [26]. L'huile d'argan peut être servie seule avec le pain au petit-déjeuner ou utilisée pour cuisiner le tajine, le couscous et d'autres repas [39]. L'analyse chimique de l'huile d'argan montre qu'elle est constituée de 99% glycérides dont 95% de triglycérides, et elle est riche principalement en acides gras polyinsaturés (les acides oléique et linoléique constituent 80% des acides gras) [26, 28, 34]. Notre étude a montré que la population locale de Souss utilise l'huile d'argan dans la préparation de plusieurs aliments traditionnels de terroir (tableau 4),

Les résultats obtenus (Tableau 4) montrent que Amlou présente une valeur nutritionnelle et énergétique très importante par rapport aux autres aliments. Cet aliment est une préparation hautement nutritive [42], et il est utilisé comme un puissant aphrodisiaque ou censé fortifier les femmes qui viennent d'accoucher [40]. Dans la région d'étude, la population locale mange quotidiennement Amlou avec du pain chaud (Tafrnout) ou peut également servir comme confiture de garniture pour des crêpes appelées Baghrir [40]. En effet, c'est l'aliment le plus utilisé par rapport aux autres aliments (Lbsis et Tagoulla) et contient une teneur importante en lipides et protéines tandis que les glucides sont apportés après avoir mangé Amlou avec du pain (47 g/100 g) [43]. Généralement, une ration alimentaire composée de 3/4 de pain et 1/4 d'Amlou apporte 59% de glucides, 27% de lipides et 14% de protéines. De même, certaines études ont montré qu'un athlète a besoin d'une proportion alimentaire saine et équilibrée de 60 % de glucides, 25 % de matières grasses et 15 % de protéines par rapport au besoin total d'énergie [44].

Table 4: Composition nutritionnelle approximative et méthode de préparation d'Amlou, Lbsis et Tagoulla

Aliments	Composition	Composition nutritionnelle			Energie (kcal/100 g)	Méthode de préparation
		Lipides (g/100g)	Glucides (g/100g)	Protéine (g/100g)		
Amlou	45 g d'huile d'argan	98.7 g; 98.7 g	---	---	703	Les amandes mûres sont écrasées avec un moulin à main traditionnel et homogénéisées avec de l'huile d'argan et du miel
	45 g des amandes	51.3 g [48]; 48.62-61.62 g	5.5 g; 9.51 g [48]	19.79 g; 18.8 g [48]		
	10 g de miel	---	79.7 g; 81.7 g [48]	0.5 g; 0.56 g [48]		
Lbsis	25 g d'huile d'argan	98.7 g [50]; 98.7 g [48]	---	---	607	Le miel et l'huile d'argan ajoutés à la farine d'orge toastée
	65 g farine d'orge toastée	1.18-3.09 g; 2.3 g [48]	49.14-68.6 g; 64.5 g [48]	6.35-23.4 g; 9.91 g [48]		
	10 g de miel	---	79.7 g; 81.7 g [48]	0.5 g; 0.56 g [48]		
Tagoulla	10 g d'huile d'argan	98.7 g [50]; 98.7 g [48]	---	---	375	La semoule d'orge est ajoutée à l'eau bouillante salée et épicée avec de l'huile d'argan
	90 g la semoule d'orge	1.18-3.09 g; 2.3 g [48]	49.14-68.6 g ; 64.5 g [48]	6.35-23.4 g ; 9.91 g [48]		

CONCLUSION

Les résultats préliminaires montrent une importante dépendance de la population de l'Anti-Atlas occidental vis-à-vis de l'utilisation d'arganier dans les soins thérapeutiques et des préparations caulinaires dérivés de l'huile d'argan (Amlou , Tagoulla et Labsis). Ce type d'étude constitue une étape indispensable qui pourrait orienter les recherches dans le domaine des études phytochimiques et pharmacologiques d'arganier. Cette étude est indispensable dans la recherche d'études nutritionnelles et pharmacologiques sur l'huile d'argan et ses aliments authentiques, en particulier l'aliment Amlou ..

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Benkhnigue, O., et al., *Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Mechraâ Bel Ksiri (Région du Gharb du Maroc)*. J Acta Botanica Barcinonensia, 2010. 53: p. 191-216.

2. Dogara, A., et al., *Therapeutic plants used for Typhoid Fever treatment in Kaduna State Nigeria.* Al-Qadisiyah Journal Of Pure Science, 2021. 26(3): p. 9-21.

3. Magalhães, P.K.A., et al., *Ethnobotanical and ethnopharmacological study of medicinal plants used by a traditional community in Brazil's northeastern.* Brazilian Journal of Biology, 2021. 82.

4. Mahmoud, A.D. and A. Abba, *Ethnomedicinal Survey of Plants used for Management of Inflammatory Diseases in Ringim Local Government, Jigawa State, Nigeria.* Ethnobotany Research and Applications, 2021. 22: p. 1-27.

5. Tabuti, J.R.S., K.A. Lye, and S.S. Dhillion, *Traditional herbal drugs of Bulamogi, Uganda: plants, use and administration*. Journal of Ethnopharmacology, 2003. 88(1): p. 19-44.

6. Abdulrahman, M.D., et al., *Traditional medicinal knowledge of Malays in Terengganu,* Peninsular Malaysia. Malayan Nature Journal, 2018. 70(3): p. 349-364.

7.Dogara, A., et al., *Traditional medicinal plants used for the treatment of cancer in Mubi, Adamawa State, Nigeria*. Al-Qadisiyah Journal of Pure Science, 2021. 26(4): p. 258-268.

8.Mahmoud, A.D., et al., *Ethnobotany of Syzygium polyanthum (Wight) Walp in Terengganu, Peninsular Malaysia*. Journal of Agrobiotechnology, 2020. 11(2): p. 39-47.

9. Bellakhdar, J., *La pharmacopée marocaine traditionnelle.* 1997: París-Casablanca: Ibis Press-Éditions Le Fennec.

10.Bouayyadi, L., M. El Hafian, and L. Zidane, *Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale dans la région du Gharb, Maroc.* Journal of Applied Biosciences, 2015. 93(1).

11. Msanda, F., A. El Aboudi, and J.-P. Peltier, *Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine.* J Cahiers Agricultures, 2005. 14(4): p. 357-364 (1).

12. Msanda, F., A. El Aboudi, and J. Peltier, *Originalité de la flore et de la végétation de l'Anti-Atlas sud-occidental (Maroc)*. J Feddes Repertorium: Zeitschrift für botanische Taxonomie und Geobotanik, 2002. 113(7-8): p. 603-615.

13. Bani-Aameur, F., *Phenological phases of Argania spinosa (L. Skeels) flower*. Forest Genetics, 2000. 7(4): p. 329-334.

14. Baehni, C., *Mémoires sur les Sapotacées, 1. Systeme de classification.* 1948: Candolea.

15. Ibn-Al-Baytar, *Kitab Al-Yami, Li-Mufradat Al-Adwiyawa-L-Aghdiya* (*Comprehensive Book of Simple Drugs and Foods*). Vol. vol. 2. Tomes, pp. 502 pages + 534 pages. 1992, Dar Al- Kutub Al -ílmiyah. Beirut,. vol. 2. Tomes, pp. 502 pages + 534 pages.

16. Moukal, A., *L'arganier, Argania spinosa L.(skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire*. J Phytothérapie, 2004. 2(5): p. 135-141.

17. Al-Ba'qilī, M.i.A.a.-H., Abū 'Abdallāh Muhammad ibn Yahyā as-Shibbī. *Kitab majmaâ al manafeâ âla âelm ateb anafeâ*. 1853 (last accessed January 21, 2021)]; Available from: http://e-mediatheque2.mmsh.univ-aix.fr/collection/manuscrit/roux/Pages/FR_MMSH_IREMAM_AR_MS_066.aspx.

18. Tardío, J. and M. Pardo-de-Santayana, *Cultural importance indices: a comparative analysis based on the useful wild plants of Southern Cantabria (Northern Spain*). J Economic Botany, 2008. 62(1): p. 24-39.

19. Shuaib, M., et al., *Traditional knowledge about medicinal plant in the remote areas of Wari Tehsil, Dir Upper, Pakistan*. Brazilian Journal of Biology, 2021. 83.

20. Phillips, O. and A.H. Gentry, *The useful plants of Tambopata, Peru: I. Statistical hypotheses tests with a new quantitative technique*. J Economic Botany, 1993. 47(1): p. 15-32.

21. Benkhnigue, O., et al., *Catalogue des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans la région d'Al Haouz-Rhamna (Maroc)*. J J Anim Plant Sci, 2014. 23: p. 3539-68.

22. Skalli, S., R. Hassikou, and M. Arahou, *An ethnobotanical survey of medicinal plants used for diabetes treatment in Rabat, Morocco*. Heliyon, 2019. 5(3): p. e01421.

23. Barkaoui, M., et al., *Ethnobotanical survey of medicinal plants used in the traditional treatment of diabetes in Chtouka Ait Baha and Tiznit (Western Anti-Atlas), Morocco*. Journal of Ethnopharmacology, 2017. 198: p. 338-350.

24. El Azzouzi, F. and L. Zidane, *La flore médicinale traditionnelle de la région de Béni- Mellal (Maroc)*. Journal of Applied Biosciences, 2015. 91(1).

25.Kabbaj, F., et al., *Ethnopharmacological profile of traditional plants used in Morocco by cancer patients as herbal therapeutics*. J Phytopharmacology, 2012. 2(2): p. 243-256.

26. Berrougui, H., et al., *Hypolipidemic and hypocholesterolemic effect of argan oil (Argania spinosa L.) in Meriones shawi rats*. J Ethnopharmacol, 2003. 89(1): p. 15-8.

27. El Fakhar, N., et al., *New triterpenoid saponins from Argania spinosa*. Journal of Natural Medicines, 2007. 61(4): p. 375-380.

28. Mechqoq, H., et al., *Ethnobotany, phytochemistry and biological properties of Argan tree (Argania spinosa (L.) Skeels) (Sapotaceae) - A review*. J Ethnopharmacol, 2021. 281: p. 114528.

29. Saadi, B., F. Msanda, and H. Boubaker, *Contributions of folk medicine knowledge in Southwestern Morocco: The case of rural communities of Imouzzer Ida Outanane Region*. J of Medicinal Plant Research, 2013: p. 135-145.

30. Abouri, M., et al., *An ethnobotanical survey of medicinal plants used in the Tata Province, Morocco*. J Int Med Plants Res, 2012. 1(7): p. 99-123.

31. Ouhaddou, H., et al., *An ethnobotanical study of medicinal plants of the Agadir Ida Ou Tanane province (southwest Morocco)*. Journal of Applied Biosciences, 2015. 84(1).

32. Idm'hand, E., F. Msanda, and K. Cherifi, *Ethnobotanical study and biodiversity of medicinal plants used in the Tarfaya Province, Morocco*. Acta Ecologica Sinica, 2020. 40(2): p. 134-144.

33. Ouhaddou, H., et al., *Ethnobotanical survey of medicinal plants used for treating diabetes in Agadir Ida Outanane region, Southwestern Morocco*. J Arabian Journal of Medicinal, 2020. 6(2): p. 72-86.

34. Charrouf, Z. and D. Guillaume, *Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of Argania spinosa* (L.) Skeels. J Ethnopharmacol, 1999. 67(1): p. 7-14.

35. Chelaru, C., et al., *Chemical characterization of vegetable oils–lemon, lavender and argan*. Revista De Chimie Bucharest, 2016. 67: p. 1680-1683.

36. Karabacak, E. and B. Doğan, *Natural remedies in hair care and treatment*. TURKDERM-Archieves of The Turkish Dermatology and Venerology, 2014. 48(Supp: 1): p. 60-63.

37. Boucetta, K.Q., et al., *Skin hydration in postmenopausal women: argan oil benefit with oral and/or topical use*. Prz Menopauzalny, 2014. 13(5): p. 280-8.

38. Adlouni, A., *L'huile d'argan, de la nutrition à la santé*. J Phytothérapie, 2010. 8(2): p. 89-97.

39. El Abbassi, A., et al., *Physicochemical characteristics, nutritional properties, and health benefits of argan oil: A review*. J Critical reviews in food science and nutrition, 2014. 54(11): p. 1401-1414.

40. Morse, K., *Argan Oil: A Moroccan Flavor Rediscovered*. J Gastronomica, 2003. 3(4): p. 68-70.

41. Stroomer, H., *The argan tree and its Tashelhiyt Berber lexicon*. J Études et documents berbères, 2008(1): p. 107-121.

42. Monfalouti, H.E., et al., *Therapeutic potential of argan oil: a review*. J Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2010. 62(12): p. 1669-1675.

43.Ciqual-Anses, T. *Available at: https://ciqual.anses.*

fr/#/cms/download/node/20 (last accessed January 28, 2021). 2017; January].

44. Rahayu, T. and T. Rustiadi. *Nutrition Management in Sports State High School Athletes, Riau Province. in International Conference on Science and Education and Technology* (ISET 2019). 2020. Atlantis Press.

45. *Harhar, H., et al., Influence of argan kernel roasting-time on virgin argan oil composition and oxidative stability*. J Plant Foods for Human Nutrition, 2011. 66(2): p. 163-168.

46. Houmy, N., et al., *Characterization of almond kernel oils of five almonds varieties cultivated in Eastern Morocco.* J Cahiers Options Méditerranéennes, 2016.

47. Yada, S., K. Lapsley, and G. Huang, *A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients.* J Journal of Food Composition and Analysis, 2011. 24(4-5): p. 469-480.

48. Summo, C., et al., *Evaluation of the chemical and nutritional characteristics of almonds (Prunus dulcis (Mill). DA Webb) as influenced by harvest time and cultivar.* J Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018. 98(15): p. 5647-5655.

49.Hasam, S., D. Qarizada, and M. Azizi, A Review: *Honey and Its Nutritional Composition.* J Asian Journal of Research in Biochemistry, 2020: p. 34-43.

50. Guo, T., et al., *Understanding the nutrient composition and nutritional functions of highland barley (Qingke)*: *A review*. J Trends in Food Science et Technology, 2020.

Feuilles et branches d'*Argania spinosa* de la région de l'orientale du Maroc : Activités sur l'agrégation plaquettaire, le saignement et la coagulation plasmatique

Fatima Zahra LAFDIL [1*], Mohamed BNOUHAM [1], Abdelkhaleq LEGSSYER [1], Abderrahim ZIYYAT [1], Rachid SEDDIK [2], Hassane MEKHFI [1*].

[1] *Laboratoire des Bio-ressources, Biotechnologie, Ethnopharmacologie et Santé, Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc*

[2] *Laboratoire d'hématologie, Centre Hospitalier Universitaire Mohammed VI, Oujda, Maroc*

[*] *lafdil.fatimazahra@ump.ac.ma h.mekhfi@ump.ac.ma*

Mots clés
Argania spinosa, agrégation, coagulation, temps de saignement, région de l'Oriental du Maroc.

RÉSUMÉ

Les thrombocytes ou plaquettes sanguines jouent un rôle central dans l'hémostase et la thrombose. L'hyperactivité plaquettaire anormale est l'une des principales causes des complications thrombotiques des maladies cardiovasculaires. La thérapie antithrombotique demeure l'une des thérapies les plus efficaces. Cependant, leurs actions sont limitées en raison de leurs effets secondaires en particulier les saignements. Actuellement, des recherches intenses sont en cours sur les plantes médicinales pour découvrir d'autres composés antithrombotiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des extraits aqueux de feuilles et de branches d'*A. spinosa* de la région *Cwihiya* et Oujda sur l'hémostase primaire et secondaire. Un essai d'agrégation plaquettaire a été réalisé sur des plaquettes lavées de rat et stimulées par la thrombine. Pour la coagulation plasmatique, le temps de céphaline activée et le temps de prothrombine ont été mesurés sur du plasma pauvre en plaquettes. Le temps de saignement a été évalué en provoquant un saignement à l'extrémité de la queue de la souris. Les résultats montrent les 4 extraits testés ont significativement réduit l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine, ont prolongé le temps de saignement de la queue et ont prolongé le temps de thromboplastine partielle activée et le temps de prothrombine. Par ces activités, les feuilles d'*A. spinosa* des deux régions pourraient exercer des effets bénéfiques appréciables contre les manifestations thrombotiques. Cet arbre pourrait être une source prometteuse de nouveaux composés aux vertus antithrombotiques efficaces.

Keywords
Argania spinosa, aggregation, coagulation, bleeding time, Oriental region of Morocco.

ABSTRACT

Leaves and branches of *argania spinosa* from the oriental region of morocco: effects on platelet aggregation, bleeding, and plasma coagulation

Platelets play a central role in hemostasis and thrombosis. Abnormal platelet hyperactivity is a major cause of thrombotic complications in cardiovascular diseases. Antithrombotic therapy remains one of the most effective treatments; however, its actions are limited by side effects, particularly bleeding. Currently, extensive research is being conducted on medicinal plants to discover additional antithrombotic compounds. This study aims to evaluate the effect of aqueous extracts of leaves and branches of *Argania spinosa* from the Cwihiya and Oujda regions on primary and secondary hemostasis. A platelet aggregation assay was performed using washed rat platelets stimulated with thrombin. For plasma coagulation, activated partial thromboplastin time and prothrombin time were measured on platelet-poor plasma. Bleeding time was assessed by inducing bleeding at the tip of the mouse tail. The results showed that all four tested extracts significantly reduced thrombin-induced platelet aggregation, prolonged

tail bleeding time, and extended both activated partial thromboplastin time and prothrombin time. These activities suggest that *Argania spinosa* leaves from both regions may have appreciable beneficial effects against thrombotic manifestations. This tree could be a promising source of new compounds with effective antithrombotic properties.

INTRODUCTION

Les complications thrombotiques liées aux maladies cardiovasculaires consistent à la formation anormale d'un caillot sanguin (thrombose) au niveau des vaisseaux. Cela implique les mêmes mécanismes que dans l'hémostase normale. Chaque année, cette pathologie provoque dix millions de décès malgré la présence de plusieurs remèdes antithrombotiques très efficaces [1]. Cela a incité les chercheurs à déployer davantage d'efforts pour développer de nouveaux remèdes naturels riches en composés bioactifs et présentant moins d'effets secondaires.

Appartenant à la famille des Sapotaceae, *A. spinosa* est un arbre endémique de la région de Souss-Massa au Maroc, où il couvre une superficie d'environ 800 000 hectares. D'autres arbres ont été trouvés dans la région orientale du Maroc. *A. spinosa* est très résistant à la sécheresse et à la chaleur. Il se caractérise par une hauteur de 8 à 10 mètres et une durée de vie de 150 à 200 ans [2].

Outre les valeurs phytothérapeutiques et nutritionnelles intenses de l'huile, les autres parties d'*A. spinosa* restent insuffisamment étudiées. Ainsi, notre intérêt est porté sur les feuilles et les branches de la région orientale du Maroc. Selon nos recherches bibliographiques, aucune étude n'a été réalisée sur ces parties pour tester leurs effets sur l'agrégation plaquettaire et la coagulation plasmatique.

Les objectifs de cette étude sont d'évaluer les effets in vitro des extraits aqueux de feuilles et de branches d'*A. spinosa* collectées dans deux sites différents de l'est du Maroc (ville d'Oujda, Chwihia) sur l'agrégation plaquettaire, le temps de saignement et la coagulation plasmatique chez les rats.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Étude in vitro des plaquettes

Les plaquettes lavées (PL) ont été préparées selon la méthode décrite par Mekhfi et al., [3]. Après une anesthésie légère à l'éther, le sang de rat a été collecté par cathétérisation de l'aorte abdominale dans un tube en plastique contenant une solution anticoagulante (acide citrique trisodique 170 mM, acide citrique 130 mM, dextrose 4%) dans un rapport (9:1, v/v). Immédiatement, des centrifugations successives ont été effectuées : 1- Une première centrifugation à 1500 tr/min pendant 15 minutes pour séparer le plasma riche en plaquettes (PRP) des autres éléments sanguins. 2- Le PRP est soigneusement collecté et centrifugé à 800 tr/min pendant 8 minutes afin d'éliminer les résidus de cellules sanguines. 3- Après avoir noté son volume, ce PRP est centrifugé à 2700 tr/min pendant 15 minutes pour obtenir un culot de plaquettes. Le plasma pauvre en plaquettes (PPP), le surnageant, est retiré et le culot de plaquettes est resuspendu dans un tampon de lavage (NaCl 137 mM, KCl 2,6 mM, NaHCO3 12 mM, MgCl2 0,9 mM, Glucose 5,5 mM, CaCl2 1,3 mM, Gélatine 0,25%, et pH 6,5) avec un volume égal au volume initial de PRP. La suspension obtenue constitue les plaquettes semi-lavées. 4- Après une dernière centrifugation (2700 tr/min, 15 minutes), le culot de plaquettes a été suspendu dans un volume calculé de tampon final (NaCl 137 mM, KCl 2,6 mM, MgCl2 0,9 mM, Glucose 5,5 mM, CaCl2 1,3 mM, Gélatine 0,25%, Hepes 5 mM, et pH 7,4) pour obtenir une concentration constante de 5×105 plaquettes lavées/mm3.

2.2. Détermination du temps de saignement

Détermination du temps de saignement (TS) en tant que mesure globale reflétant le progrès de l'hémostase primaire. Des souris albinos mâles et femelles (18-22 g) ont été réparties en trois groupes de 5 souris par groupe. Une administration orale unique a été réalisée comme suit : le groupe témoin a reçu de l'eau distillée (1 ml/100 g), le groupe test a reçu l'extrait aqueux brute (EAB) (1 g/kg) et le groupe témoin positif a reçu de l'acide acétylsalicylique (ASA) (30 mg/kg). Une anesthésie intrapéritonéale par le pentobarbital de sodium (50 mg/kg), a été administrée une heure après le traitement. Les animaux ont ensuite été placés sur une plaque chauffante à 37 °C. Ensuite, la queue de la souris a été désinfectée à l'alcool et sectionnée avec un scalpel à 1,5 cm de son extrémité. Le chronomètre a été démarré dès l'apparition de la première goutte de sang. Lorsqu'aucune goutte ne sortait, le chronomètre était arrêté et le TS (en secondes) était noté.

2.3. Activité anticoagulante in vitro

L'échantillon sanguin a été prélevé à l'aide de la méthode de cathétérisation de l'aorte abdominale chez des rats (250-300 g) préalablement anesthésiés à l'éther. Le sang a été placé dans un tube en plastique contenant l'anticoagulant (citrate trisodique à 3,8%, 1/9, v/v) et centrifugé immédiatement à 3000 tr/min pendant 20 minutes pour récupérer le plasma pauvre en plaquettes (PPP).

Les tests de coagulation sont réalisés sur le PPP à l'aide

d'un coagulomètre automatique "CS-2100i-sysmex". 100 µl de PPP et 50 µl de différents extraits d'*A. spinosa* (1 g/l) ou 50 µl d'eau distillée sont incubés à 37°C pendant 5 minutes. Une aliquote de 50 µl du mélange est prélevée et réincubée pendant 2 minutes à 37°C. Le processus de coagulation est déclenché en ajoutant 100 µl du réactif (Thromborel S) pour déterminer le temps de prothrombine (TP). Afin de déterminer le temps de céphaline activé (TCA), 50 µl du réactif C.K. PREST sont ajoutés et le mélange est incubé pendant 3 minutes. Ensuite, la réaction est déclenchée par l'ajout de 50 µl de calcium. L'héparine, un anticoagulant de référence, a été utilisée comme témoin positif pour les tests de coagulation.

RÉSULTATS

3.1. Effet in vitro des extraits aqueux d'A. spinosa du site de Chwihia sur l'agrégation plaquettaire

Cette étude vise à évaluer in vitro l'effet de l'extrait aqueux d'*A. spinosa* provenant des feuilles (ASFC) et des rameaux (ASRC) de la région de Chwihia sur l'agrégation plaquettaire chez le rat. Une minute après la préincubation avec l'extrait (1 g/l), l'agrégation des plaquettes lavées a été provoquée par la thrombine (0,5 U/ml). Comme le montre la figure 1, le contrôle de l'agrégation était d'environ 90%, et les deux extraits ont provoqué une réduction significative ($p<0,001$) de la quantité d'agrégation par rapport au contrôle. Les quantités d'inhibition calculées étaient de 76,1 ± 1,6 et 17,97 ± 1,4 pour ASFC et ASRC respectivement. La comparaison de ces valeurs a montré que ASFC était statistiquement plus efficace ($p<0,001$) dans l'inhibition de l'agrégation par rapport à ASRC.

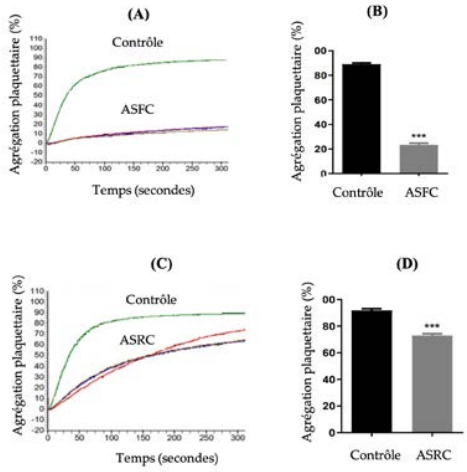


Figure 1 : Tracés originaux (A, C) et histogrammes (B, D) représentant l'effet des extraits aqueux bruts des feuilles et des rameaux d'*A. spinosa* de Chwihia (1 g/l) sur l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine in vitro. Moyennes ± SEM. Nombre d'expériences indépendantes : 16-20. ASFC : Feuilles d'*A. spinosa* de Chwihia. ASRC : Rameaux d'*A. spinosa* de Chwihia. *** ($p<0,001$) vs témoin.

3.2. Effet in vitro des extraits aqueux d'A. spinosa du site d'Oujda sur l'agrégation plaquettaire

La Figure 2 montre l'effet in vitro des extraits aqueux de feuilles (ASFO) et des rameaux (ASRO) d'*A. spinosa* du site d'Oujda sur l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine, comparée au témoin (sans extrait) (≈ 95%). Les deux extraits ont significativement réduit ($p<0,001$) l'agrégation plaquettaire. Le taux d'inhibition était similaire pour les deux extraits, soit 66.1 ± 8.3 % et 68.7 ± 4.0 % pour ASFO et ASRO respectivement.

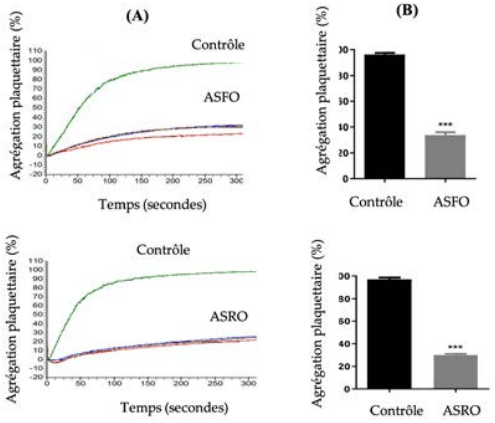


Figure 2 : Tracés originaux (A, C) et histogrammes (B, D) représentant l'effet de l'extrait aqueux brut des feuilles et des rameaux d'*A. spinosa* d'Oujda (1 g/l) sur l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine in vitro chez les rats. Moyennes ± SEM. Nombre d'expériences indépendantes : 16-20. ASFO : Feuilles d'*A. spinosa* d'Oujda et ASRO : Rameaux d'*A. spinosa* d'Oujda. *** $p<0,001$ vs témoin.

3.3. Effet des extraits aqueux d'A. spinosa sur le temps de saignement de la queue

Dans le groupe témoin, le BT est d'environ 150 secondes (n=6). Après le traitement, les extraits aqueux de feuilles d'*A. spinosa* provenant des sites de Chwihia et Oujda (1g/kg) ont significativement prolongé ($p<0,001$ et $p<0,01$ respectivement) ce paramètre (Figure 3). L'effet de l'ASFC est comparable à celui de l'ASA. En revanche, dans le cas des branches, les résultats montrent une augmentation du temps de saignement sans atteindre le niveau de signification.

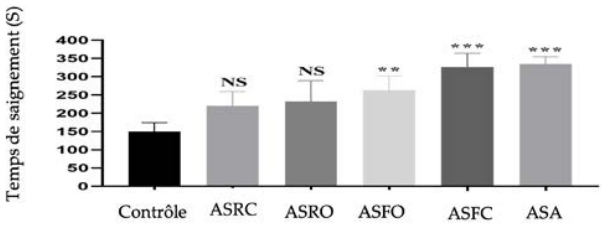


Figure 3 : Effet des extraits aqueux bruts de feuilles et de rameaux d'*A. spinosa* (1 g/kg) sur le temps de saignement de la queue chez les souris ; Moyennes ± SEM, Nombre d'expériences indépendantes : 6. ASFC : Feuilles d'*A. spinosa* de Chwihia, ASRC : Rameaux d'*A. spinosa* de Chwihia, ASFO : Feuilles d'*A. spinosa* d'Oujda et ASRO : Rameaux d'*A. spinosa* d'Oujda, ASA : acide acétylsalicylique. ** p<0,01, *** p < 0,001 ; par rapport au témoin.

3.4. Effet in vitro des extraits aqueux d'A. spinosa sur la coagulation plasmatique

Comme présenté dans le tableau 1, les deux extraits de feuilles ont significativement prolongé (p < 0,001) le TP et le TCA par rapport au témoin. Cependant, l'extrait de branches n'a pas modifié ces temps de coagulation, à l'exception de l'effet de l'ASRO sur l'TCA (p <0,05).

Table 1. Effet in vitro des extraits aqueux de feuilles et de rameaux d'*A. spinosa* de Chwihia et d'Oujda sur les temps de coagulation.

Extraits	TP (s)	TCA (s)
Contrôle	10,3 ± 0,3	37,0 ± 1,4
ASFC	$17,9 \pm 0,8^{***}$	$51,4 \pm 3,5^{***}$
ASRC	$9,6 \pm 0,2^{NS}$	$39,6 \pm 3,5^{NS}$
ASFO	$26,7 \pm 2,6^{***}$	$60,4 \pm 2,7^{***}$
ASRO	$9,9 \pm 0,2^{NS}$	$48,4 \pm 0,1^{*}$
Héparine (0,4 U/ml)	$10,7 \pm 0,2^{NS}$	$77,6 \pm 1,4^{***}$

ASFC : Feuilles d'*A. spinosa* de Chwihia, ASRC : Rameaux d'*A. spinosa* de Chwihia, ASFO : Feuilles d'*A. spinosa* d'Oujda et ASRO: Rameaux d'*A. spinosa* d'Oujda. TP : Temps de prothrombine, ATC : Temps de céphaline activé. *p<0,05, ***p < 0,001 par rapport au témoin. Nombre d'expériences indépendantes = 5-6.

DISCUSSION

Les plaquettes sanguines, ou thrombocytes, jouent un rôle clé dans le processus d'hémostase, en particulier dans l'hémostase primaire. En cas de lésion vasculaire, leur mission consiste à prévenir le saignement et à obstruer la blessure vasculaire en formant un thrombus plaquettaire. D'autre part, une hyperactivité plaquettaire anormale liée à de nombreuses maladies (hypertension artérielle, diabète) est largement décrite dans la littérature [7], contribuant au développement de complications thrombotiques telles que l'accident vasculaire cérébral ischémique, la maladie coronarienne, l'infarctus du myocarde, l'accident vasculaire cérébral, etc. [8]. Afin de traiter ou prévenir ces effets indésirables, plusieurs médicaments antithrombotiques ont été développés. Malheureusement, ils entraînent des effets secondaires très graves tels que des troubles hémorragiques, des ulcères, des allergies, etc. Par conséquent, des recherches intensives et des efforts sont déployés pour développer de nouvelles molécules antiplaquettaires ou antithrombotiques avec des effets secondaires réduits ou inexistants.

Dans la présente étude, et pour une évaluation expérimentale approfondie, nous avons travaillé sur deux autres parties d'*A. spinosa* : les feuilles et les rameaux, collectées à partir de deux sites dans la région de l'Oriental au Maroc (site de Chwihia et site d'Oujda). Les extraits aqueux ont été testés in vitro sur l'agrégation plaquettaire, le temps de saignement et la coagulation plasmatique.

Dans cette étude, nous avons t testé in vitro différents extraits d'*A. spinosa* (1 g/l) sur l'agrégation plaquettaire induite par la thrombine et le temps de saignement. Contrairement à l'extrait de rameaux de Chwihia qui montre une action antiplaquettaire très faible, tous les extraits réduisent significativement l'agrégation plaquettaire et prolongent le temps de saignement de la queue. Des études similaires sur certaines plantes médicinales ont rapporté que l'inhibition de l'agrégation plaquettaire n'est pas toujours associée à un changement dans le temps de saignement. Mekhfi et al. (2008) ont montré que l'huile d'*A. spinosa* inhibe l'agrégation plaquettaire sans affecter le temps de saignement. Cependant, Ferreira et al. (1999) ont rapporté qu'en plus de son effet antiplaquettaire, les quinones isolées d'Auxemma oncocalyx Taub provoquent une diminution significative du temps de saignement.

Dans la cascade de la coagulation, le TCA et le TP sont des mesures sanguines de base pour évaluer le risque de saignement et de thrombose. Le TCA est lié aux voies intrinsèques et/ou communes de la coagulation plasmatique et est utilisé pour détecter des déficiences en facteurs II, V, VIII, IX, X, XI et XII. Le PT explore principalement les activités des facteurs de coagulation de la voie extrinsèque, Nos expériences montrent que les feuilles d'*A. spinosa* prolongent significativement le TP et le TCA, suggérant que ces extraits exercent une action forte à la fois sur les voies extrinsèques et intrinsèques de la coagulation plasmatique.

CONCLUSIONS

En conclusion, nos expériences ont montré un effet antiagrégant et anticoagulant in vitro de deux extraits aqueux d'*A. spinosa* (feuilles et rameaux) récoltés dans la région de l'Oriental au Maroc. Ces activités peuvent être liées à de nombreux composés phytochimiques actifs présents dans l'extrait. Ces résultats originaux suggèrent qu'*A. spinosa* peut être considéré comme une source très riche en composés antiplaquettaires et anticoagulants capables de prévenir les complications

thrombotiques des maladies cardiovasculaires.

Remerciements : Les auteurs remercient le Professeur Mostafa El Achouri (responsable de l'herbier de l'Université Mohammed Premier, Oujda) pour son aide. Merci à M. Mostafa Bedraoui et M. A. Joudar (Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda) pour leur assistance technique fiable.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Rosendaal, F.R. and G.E. Raskob, On world thrombosis day. The Lancet, 2014. 9955(384): p. 1653-1654. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61652-4

2.Rammal, H., J. Bouayed, C. Younos, and R. Soulimani, Notes ethnobotanique et phytopharmacologique d'*Argania spinosa* L. Phytothérapie, 2009. 7(3): p. 157-160. https://doi.org/10.1007/s10298-009-0386-7

3. Mekhfi, H., D. Gadi, M. Bnouham, A. Ziyyat, A. Legssyer, and M. Aziz, Effect of Argan Oil on Platelet Aggregation and Bleeding Time: A Beneficial Nutritional Property. Journal of Complementary and Integrative Medicine, 2008. 5(1). https://doi.org/10.2202/1553-3840.1164.

4. El Haouari, M. and J.A. Rosado, Medicinal plants with antiplatelet activity. Phy-totherapy research, 2016. 30(7): p. 1059-1071. https://doi.org/1002/ptr.5619.

5. Morel, O., L. Kessler, P. Ohlmann, and P. Bareiss, Diabetes and the platelet: toward new therapeutic paradigms for diabetic atherothrombosis. Atherosclerosis, 2010. 212(2): p. 367-376. https://doi.org/10.1016/j.

6. Rand, M.L., A.A. Hennissen, and G. Hornstra, Effects of dietary palm oil on arterial thrombosis, platelet responses and platelet membrane fluidity in rats. Lipids, 1988. 23(11): p. 1019-1023. https://doi.org/10.1007/BF02535646.

7. Sayari, N., R. Balti, M.B. Mansour, I.B. Amor, I. Graiet, J. Gargouri, and A. Bou-gatef, Anticoagulant properties and cytotoxic effect against HCT116 human colon cell line of sulfated glycosaminoglycans isolated from the Norway lobster (Nephrops norvegicus) shell. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2016. 80: p. 322-330. https://doi.org/ 10.1016/j.biopha.2016.03.027.

8. Kim, D.-W., K. Sapkota, J.-H. Choi, Y.-S. Kim, S. Kim, and S.-J. Kim, Direct acting anti-thrombotic serine protease from brown seaweed Costaria costata. Process Biochemistry, 2013. 48(2): p. 340-350. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.12.012.

Contribution à la mise à jour de la norme NM.08.5.090

Ahmed Ouhammou [1,*], Sara Elgadi [2] , Abderraouf El Antari [2,*].

[1] *Laboratoire des Biotechnologies Microbiennes, Agroscience et Environnement affilié à l'unité 4 de CNRST, Herbier Régional MARK, Département de Biologie, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad Marrakech.*

[2] *Laboratoire de Technologie Agro.Alimentaire et Qualité, Unité de Recherche Amélioration des Plantes et de Qualité. Au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).*

[*] *ouhammou@gmail.com ; a_elantari@yahoo.fr*

RÉSUMÉ

La révision de la norme sur l'huile d'argane NM.08.5.090 représente une étape cruciale pour garantir la qualité et l'authenticité de ce produit précieux. L'étude de cette norme, qui dans son état actuel s'inspire de la norme commerciale de l'huile d'olive, montre la nécessité de sa révision et son adaptation aux seules performances des huiles d'argane. Les résultats bibliographiques des analyses chimiques de l'huile d'Argane cosmétiques et alimentaires ont été comparées en respectant les techniques d'analyses utilisées. Sur la base du potentiel réel des huiles d'argane, torréfiée ou non-torréfiée, les paramètres de qualité doivent être revus, notamment l'acidité, l'indice de peroxyde et l'extinction spécifique à 232 nm. Les performances de certains acides gras (C16:0 et C18:3) et la composition en tocophérols doivent également être revus au niveau de cette norme. Certainement, d'autres composés de pureté doivent être rectifiés pour la confirmation de leurs résultats et leur conformité avec les limites de la norme. Grâce à l'examen méticuleux et d'une mise au point, la norme révisée répond aux défis émergents et s'adapte à l'évolution des pratiques de l'industrie, sauvegardant ainsi la réputation de l'huile d'argane sur les marchés nationaux et internationaux.

Mots clés

Norme huile d'argane ; NM.08.5.090 ; huile cosmétique ; huile alimentaire ; qualité.

ABSTRACT

Contribution to the Update of Standard NM.08.5.090

The revision of the argan oil standard NM.08.5.090 is a crucial step in ensuring the quality and authenticity of this valuable product. The current standard, which is modeled after the commercial olive oil standard, demonstrates the need for revision and adaptation specifically for argan oil. Bibliographic results of chemical analyses of cosmetic and edible argan oil were compared, adhering to the analytical techniques used. Based on the actual potential of both roasted and unroasted argan oils, quality parameters such as acidity, peroxide value, and specific extinction at 232 nm need to be reviewed. Additionally, the performance of certain fatty acids (C16:0 and C18:3) and tocopherol composition should be reassessed in the standard. Other purity compounds also need to be adjusted to confirm their results and ensure compliance with standard limits. Through meticulous examination and refinement, the revised standard will address emerging challenges and adapt to evolving industry practices, thereby safeguarding the reputation of argan oil in both national and international markets.

Keywords

Argan oil standard, NM.08.5.090, cosmetic oil, edible oil, quality.

INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) offre une huile précieuse préparée soit à base d'amandons torréfiées puis extraite mécaniquement ou traditionnellement appelée huile alimentaire, soit préparée à partir d'amandons non torréfiées extraite mécaniquement ou par des solvants appelée huile cosmétique. Les fruits de l'arganier subissent un long processus depuis la récolte jusqu'à la commercialisation (stockage, extraction, conservation…). Ce long processus peut nuire à la qualité des huiles d'argane et par conséquent engendrer des dégâts économiques énormes. D'où l'intérêt d'appliquer des normes afin de fournir un référentiel pour la valorisation des produits et assurer la qualité et la pureté des huiles [1].

L'huile d'argane a une composition chimique riche en acides gras, tocophérols (Vitamine E), stérols et polyphenols [2,7]. La composition chimique constitue les paramètres de pureté, en plus des paramètres de qualité. Ils forment ensemble la base de la Norme marocaine N.M.08.5.090 des huiles d'argane établie en 2003. Cette dernière comporte quatre (4) catégories pour l'huile d'argane alimentaire : huile d'argane vierge extra, huile d'argane vierge fine, huile d'argane vierge courante et huile d'argane vierge lampante. Ces catégories sont liées essentiellement aux paramètres de qualité.

D'après les résultats obtenus dans cette recherche ainsi que ceux de travaux similaires, la qualité et la composition chimique des huiles d'argane sont affectées par les conditions de l'environnement, les conditions d'extraction et du stockage ce qui nécessite d'être vigilant pour l'actualisation de notre norme commerciale.

A cet effet, nous avons ciblé l'évaluation du potentiel réel de deux fractions majeures des paramètres de pureté en respectant une extraction contrôlée et un échantillonnage représentatif de l'aire des arganeraies. Nous avons noté, à la suite de l'analyse de nos résultats et ceux de la bibliographie spécialisée, certains paramètres dépassant les limites de la norme et d'autres considérés avec une marge surévaluée. Une comparaison entre la composition de l'huile non-torréfiée et de l'huile torréfiée a également été réalisée afin de déceler les différences entre les deux types d'huiles. Les techniques d'extraction et d'analyse ont été prises en considération pour examiner les changements de composition en fonction des techniques utilisées.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Une base de données a été élaborée à partir d'une étude bibliographique des travaux publiées entre 2005 et 2021 dans des revues scientifiques indexées. Pour une comparaison fiable nous avons déterminé la méthode d'extraction dans chaque recherche, l'origine géographiques des huiles, la technique d'analyse et le type de colonne pour les acides gras et les tocophérols.

RÉSULTATS

3.1 Paramètres de qualité

Les résultats de l'acidité et de l'extinction spécifique à 270 nm (K270) concordent avec les limites établies par la norme marocaine des huiles d'argan. La limite pour K232 n'est pas encore précisée par la norme et généralement ne dépasse pas 1,88 pour l'huile alimentaire et 1,87 pour l'huile non-torréfiée. L'indice de peroxyde est un élément important pour la détermination du taux d'oxydation des huiles, la valeur la plus élevée réellement enregistrée est de 2,2 mEq O2/kg pour l'huile alimentaire et 2,61 mEq O2/kg pour l'huile non-torréfiée ce qui est loin de la valeur fixée par la norme pour l'huile d'argane extra vierge (≤15 mEq O2/kg). Comme l'indice de peroxydes, la norme marocaine considère une limite supérieure pour l'acidité très loin des valeurs réellement enregistrées (Tableaux 1 et 2).

3.2 Acides gras

En analysant les tableaux 3 et 4, nous remarquons que la majorité des résultats obtenus pour l'huile d'argane torréfiée et non-torréfiée respectent les valeurs établies par la norme marocaine NM.08.5.090, à l'exception des résultats obtenus par Taribak et al., (2013) [8] concernant l'acide linolénique (C18:3) qui est compris entre 1,6 et 1,7% ce qui dépasse la valeur fixé par la norme 0,3%. Cette différence peut être attribuée à la technique d'extraction utilisée. L'extraction par un fluide supercritique est une technique assez développée d'extraction et peut mettre en évidence une composition aussi riche que celle par les méthodes d'extraction traditionnelles et mécaniques. L'acide palmitique (C16:0) a dépassé également la valeur établie par la norme (15%) dans les travaux de Elgadi et al., (2021) [7] pour l'huile non-torréfiée (15,85%).

Les différences entre les acides gras des huiles torréfiées et non-torréfiées sont faibles, cependant l'huile non-torréfiée reflète le potentiel réel de l'huile d'argane car elle conserve la majorité des composants chimiques contrairement à l'huile torréfiée dont les graines ont subi un prétraitement par la chaleur.

3.3 Tocophérols

Le tableau 5 présente les résultats bibliographiques concernant la teneur des quatre formes des tocophérols et les valeurs établies par la norme N.M.08.5.090. L'analyse des résultats bibliographiques a révélé une différence considérable entre les huiles d'argane non-torréfiées et torréfiées. Pour β-tocophérol, une valeur

supérieure à celle de la norme, qui tolère au niveau des huiles torréfiées 5 mg/kg comme valeur supérieure, a été enregistrée (6 mg/kg) dans les travaux de Gharby et al., (2012) [9]. La même équipe a mentionné une valeur de 4 mg/kg pour l'huile non-torréfiée.

Les travaux de Kharbach et al., (2017), Aithammou et al., (2019), Elgadi et al., (2021c) [5,6,10] ont montré des valeurs dépassant la limite supérieure établie par la norme marocaine (900 mg/kg) pour les tocophérols totaux. A cet effet, la différence enregistrée a atteint jusqu'à 300 mg/kg. Nos résultats [10] ont montré ce fort potentiel qui renforce la qualité et la notoriété des huiles d'argane. Ces résultats nous interpellent à prendre en considération dans la norme les sites et les régions ayant ces performances étant donné que la composition en tocophérols est fortement influencée par l'origine géographique [10].

Tableau 1. Les paramètres de qualité des huiles d'argane torréfiées.

Technique d'extraction	Technique d'analyse+type de colonne	Nombre d'échantillon	Zone d'étude	Année	Acidité	Indice de peroxyde	K232	K270	Référence
				2016	≤0,8	≤15	-	≤0,35	(SNIMA, 2016) [12]
				2019	≤0,8	≤20	≤2,50	≤0,22	(COI, 2019)) [13]
Torréfaction traditionnelle et extraction par presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	EEC/2568/91 Commission de l'Union européenne pour l'huile d'olive	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	0,3	1,25	-	0,23	[2]
Torréfaction (110°C pour 20 min) en utilisant SMIR roaster (Technotour, Agadir, Morocco). Extraction par Komet DD 85 G press (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	Acidité (ISO 660); Indice de peroxyde (ISO 3960); Extinction spécifique (EEC/2568/91)	2	Taroudant	2012	0,3	0,6	1,02	0,18	[9]
Extraction par presse mécanique coopérative	EEC/2568/91 Commission de l'Union européenne pour l'huile d'olive	150	Ait- Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit, Taroudant	2019	0,22-0,34	1,7-2,2	1,19-1,88	0,21-0,33	[11]

Tableau 2. Les paramètres de qualité des huiles d'argane non torréfiées.

Technique d'extraction	Technique d'analyse+type de colonne	Nombre d'échantillon	Zone d'étude	Année	Acidité	Indice de peroxyde	K232	K270	Référence
Extraction par presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	EEC/2568/91 Commission de l'Union européenne pour l'huile d'olive	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	0,5	0,25	-	0,27	[2]
Extraction hexanique par soxhlet	EEC/2568/91 Commission de l'Union européenne pour l'huile d'olive	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	0,2	1,6	-	0,28	[2]
Extraction par Komet DD 85 G press (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	Acidité (ISO 660); Indice de peroxyde (ISO 3960); Extinction spécifique (EEC/2568/91)	2	Taroudant	2012	0,3	0,9	1,22	0,16	[9]
Presse mécanique au laboratoire (Komet CA59G-IBG Monforts Oekotec)	Acidité (ISO 660) , Indice de peroxyde (ISO 3960), Extinction spécifique (ISO 3656)	39	Safi, Essaouira, Agadir, Taroudant, Tiznit, Sidi Ifni	2021	0,15-0,26	1,46-2,13	0,94-1,05	0,14-0,18	[10]
Extraction par un fluide supercritique	méthode d'AOCS	1	Non spécifié	2013	0,3-0,5	0,5-0,9	-	-	[8]
Extraction par presse mécanique coopérative	EEC/2568/91 Commission de l'Union européenne pour l'huile d'olive	120	Ait- Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit, Taroudant	2017	0,22-0,35	1,31-2,21	1,17-1,87	0,21-0,33	[5]
Extraction par presse mécanique coopérative	Acidité (ISO 660) , Indice de peroxyde (ISO 3960), Extinction spécifique (ISO 3656)	10	Agadir	2019	0,7-1,16	0-2,61	-	0,19-0,33	[6]

Tableau 3. Composition en acides gras des huiles d'argane torréfiées

Technique d'extraction	Technique d'analyse+type de colonne	Nombre d'échantillons	Zone d'étude	Année	Acide Myristique (C14:0)	Acide pentadécanoique (C15:0)	Acide palmitique (C16:0)	Acide palmitoléique (C16:1)	Acide heptadécanoique (C17:0)	Acide stéarique (C18:0)	Acide oléique (C18:1 W9)	Acide linoléique (C18:2)	Acide linolénique (C18:3)	Acide arachidique (C20:0)	Acide gadoléique (C20:1)	Acide béhenique (C22:0)	Référence
			SNIMA (huile d'argane)	2016	≤0,2	≤0,1	11,5-15,0	≤0,2	Traces	4,3-7,2	43,0-49,1	29,3-36	≤0,3	≤0,5	≤0,5	≤0,2	(SNIMA, 2016) [12]
			COI (huile d'olive)	2019	-	-	7,5-20,0	0,3-3,5	≤0,4	0,5-5,0	55,0-83,0	2,5-21,0	≤1,0	≤0,6	≤0,5	-	(IOC, 2021) [13]
Torréfaction traditionnelle et extraction par presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	CPG, HP PEG colonne (30 m × 0.32 mm i.d.)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	0,12	0,04	12,45	0,04	0,08	5,44	47,11	33,53	0,09	0,36	0,44	0,11	[2]
Extraction par Komet DD 85 G press (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany)- coopérative	CPG, CP- Wax 52CB colonne (30 m x 0.25 mm)	4	Ait Baha, Tidzi, Tiout	2012	-	-	12,1-13,2	-	-	5,5-6,4	45,3-48,4	32,3-34,1	0,1	-	-	-	[14]
Extraction par presse mécanique coopérative	CPG, 6890 Agilent Technologies gas chromatograph colonne (100 m×0.25 mm ID x 0.20 µm film)	150	Ait- Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit, Taroudant	2019	0,15-0,16	-	11,84-14,67	-	-	4,66-6,84	43,96-48,62	30,13-35,37	0,10-0,29	0,29-0,38	0,32-0,47	-	[11]

Tableau 4. Composition en acides gras des huiles d'argane non-torréfiées

Nature de l'huile	Technique d'extraction	Technique d'analyse+type de colonne	Nombre d'échantillons	Zone d'étude	Année	α-Tocopherols	β-tocopherol	γ-tocopherol	δ-tocopherol	Tocopherol Totaux	Référence
					2016	2,4-6,5% (18-75 mg/kg)	0,1-0,3% (1-5 mg/kg)	81,0-92,0% (640-810 mg/kg)	6,2-12,8% (54-110 mg/kg)	600-900mg/kg	(SNIMA, 2016)) [12]
Torréfiée	Torréfaction traditionnelle et extraction par presse mécanique coopérative (Komet DD65G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	26,6	0	631	59,5	717,4	[2]
	Torréfaction (110°C pour 20 min) en utilisant SMIR roaster (Technotour, Agadir, Morocco). Extraction par Komet DD 85 G press (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice C18 Varian (250 × 4 mm)	2	Taroudant	2012	59	6	531	51	675	[9]
Non-torréfiée	Extraction hexanique par soxhlet	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	49,3	0	545,9	38,7	633,9	[2]
	Presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	32,7	0	621,1	50,9	704,7	[2]
	Presse mécanique coopérative (Komet DD 85 G -IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice C18 Varian (250 × 4 mm)	2	Taroudant	2012	55	4	559	56	683	[9]
	Presse mécanique coopérative	HPLC méthode AOCS, Ce8-89, Agilent HPLC system (1100 series, Germany) avec fluorescence detecteur; Colonne C18-Varian (25 cm × 4.6 mm).	120	Ait- Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit, Taroudant	2017	25,01-69,86	1,21-4,56	664,44-802,36	58,55-104,36	772,34-919,26	[5]
	Extraction par presse mécanique coopérative	NP-HPLC- FLD Shimadzu CRSA avec colonne Varian Inertsil 5SI (250 mm×4.6 mm, 5 µm particle size; Varian Inc.) detecteur fluorescence	10	Agadir	2019	39,52-61,87	0	621,87-850	36,42-132,13	700,3-1068,0	[6])
	Presse mécanique au laboratoire (Komet CA59G-IBG Monforts Oekotec)	HPLC méthode ISO 9936, detecteur RF- 10AXL HPLC Fluorescence (Shimadzu, Columbia, MD, USA) et Colonne LiChrospher Si 60 (L=250mm, Φ= 4.6mm)	39	Safi, Essaouira, Agadir, Taroudant, Tiznit, Sidi Ifni	2021	48-84	0	657-1120	41-102	783-1271	[10]
	Presse mécanique au laboratoire (Komet CA59G-IBG Monforts Oekotec) — GC, Varian CP 3380 colonne (CP-Wax 52 CB L = 30 m; Φ = 0.25 mm; ø = 0.20µm)	Safi, Essaouira, Agadir, Taroudant, Tiznit, Sidi Ifni	41	2021	-	0,05-0,06	13,83 - 15,85	0,09-0,12	0,01-0,09	5,32-6,31	44,75-48,87	29,19-35,23	0,05-0,13	0,03-0,23	0,04 - 0,24	-	[7]

Tableau 5. la composition en tocophérols des huiles d'argane torréfiées et non-torréfiées

Nature de l'huile	Technique d'extraction	Technique d'analyse+type de colonne	Nombre d'échantillons	Zone d'étude	Année	α-Tocopherols	β-tocopherol	γ-tocopherol	δ-tocopherol	Tocopherol Totaux	Référence
					2016	2,4-6,5% (18-75 mg/kg)	0,1-0,3% (1-5 mg/kg)	81,0-92,0% (640-810 mg/kg)	6,2-12,8% (54-110 mg/kg)	600-900mg/kg	(SNIMA, 2016)) [12]
Torréfiée	Torréfaction traditionnelle et extraction par presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	26,6	0	631	59,5	717,4	[2]
	Torréfaction (110°C pour 20 min) en utilisant SMIR roaster (Technotour, Agadir, Morocco). Extraction par Komet DD 85 G press (IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice C18 Varian (250 × 4 mm)	2	Taroudant	2012	59	6	531	51	675	[9]
Non-torréfiée	Extraction hexanique par soxhlet	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	49,3	0	545,9	38,7	633,9	[2]
	Presse mécanique coopérative (Komet DD85G-IBG Montforts Oekotec GmbH)	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice (250 × 4 mm)	19	Essaouira, Oujda, Agadir, Taroudant	2005	32,7	0	621,1	50,9	704,7	[2]
	Presse mécanique coopérative (Komet DD 85 G -IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, Mönchengladbach, Germany).	HPLC méthode d'AOCS, CE 8-89 avec detecteur Shimadzu fluorescence et colonne de silice C18 Varian (250 × 4 mm)	2	Taroudant	2012	55	4	559	56	683	[9]
	Presse mécanique coopérative	HPLC méthode AOCS, Ce8-89, Agilent HPLC system (1100 series, Germany) avec fluorescence detecteur; Colonne C18-Varian (25 cm × 4.6 mm).	120	Ait- Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit, Taroudant	2017	25,01-69,86	1,21-4,56	664,44-802,36	58,55-104,36	772,34-919,26	[5]
	Extraction par presse mécanique coopérative	NP-HPLC- FLD Shimadzu CR8A avec colonne Varian Inertsil 5SI (250 mm×4.6 mm, 5 µm particle size; Varian Inc.) detecteur fluorescence	10	Agadir	2019	39,52-61,87	0	621,87-850	36,42-132,13	700,3-1068,0	[6])
	Presse mécanique au laboratoire (Komet CA59G-IBG Monforts Oekotec)	HPLC méthode ISO 9936, detecteur RF- 10AXL HPLC Fluorescence (Shimadzu, Columbia, MD, USA) et Colonne LiChrospher Si 60 (L=250mm, Φ= 4.6mm)	39	Safi, Essaouira, Agadir, Taroudant, Tiznit, Sidi Ifni	2021	48-84	0	657-1120	41-102	783-1271	[10]

CONCLUSIONS

A l'instar du casier oléicole national, l'arganier doit avoir son casier. Ce dernier réside dans une étude exhaustive de la composition chimique et organoleptique des huiles d'argane, en prenant en considération l'ensemble du territoire de l'arganier et les différentes conditions de son obtention. Sur la base de cette étude deux chantiers vont être abordés avec sérénité, d'une part la révision de la norme marocaine qui sera en mesure d'intégrer le vrai potentiel des huiles d'argane et d'autre part, la discussion de la possibilité d'intégrer les performances de cette norme dans la norme du Codex relative aux les huiles spécifiques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ANDZOA, la GIZ, l'INRA et la FSSM pour leur soutien technique, financier et logistique consacré à la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Institut Marocain de Normalisation (2022). Application des normes dans les marchés publics Available online: APPLI-CATION DES NORMES DANS LES MARCHES PUBLICS | IMANOR (accessed on 12 Avril 2022).

2. Hilali, M., Charrouf, Z., Soulhi, A. E. A., Hachimi, L., & Guillaume, D. (2005). Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(6), 2081–2087. https://doi.org/10.1021/jf040290t

3. Harhar, H., Gharby, S., Kartah, B., El Monfalouti, H., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2011). Influence of Argan Kernel Roasting-time on Virgin Argan Oil Composition and Oxidative Stability. Plant Foods for Human Nutrition, 66(2), 163–168. https://doi.org/10.1007/s11130-011-0220-x

4. Gharby, S., Harhar, H., Roudani, A., Chafchaouni, I., Charrouf, Z., Chimie, L. De, Synthèse, D., Sciences, F., V-agdal, U. M., Rabat, B. P., Autonome, E., & Contrôle, D. (2013). Stability oxidative from cosmetic and alimentary argan oil Of thermal treatments. 2(5), 41–46.

5. Kharbach, M., Kamal, R., Bousrabat, M., Alaoui Mansouri, M., Barra, I., Alaoui, K., Cherrah, Y., Vander Heyden, Y., & Bouklouze, A. (2017). Characterization and classification of PGI Moroccan Argan oils based on their FTIR fingerprints and chemical composition. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 162(February), 182–190. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.02.003

6. Aithammou, R., Harrouni, C., Aboudlou, L., Hallouti, A., Mlouk, M., Elasbahani, A., & Daoud, S. (2019). Effect of clones, year of harvest and geographical origin of fruits on quality and chemical composition of Argan oil. Food Chemistry, 297(April), 124749. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.024

7. Elgadi, S., Ouhammou, A., Taous, F., Zine, H., Papazoglou, E. G., Elghali, T., Amenzou, N., Allali, H. El, Aitlhaj, A., & Antari, A. El. (2021). Combination of Stable Isotopes and Fatty Acid Composition for Geographical Origin Discrimina-tion of One Argan Oil Vintage. Foods, 10(6), 1–13.

8. Taribak, C., Casas, L., Mantell, C., Elfadli, Z., Metni, R. E., & Martínez De La Ossa, E. J. (2013). Quality of cosmetic argan oil extracted by supercritical fluid extraction from *Argania spinosa* L. Journal of Chemistry, 2013. https://doi.org/10.1155/2013/408194

9. Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., & Charrouf, Z. (2012). The origin of virgin argan oil's high oxidative stability unraveled. Natural Product Communications, 7(5), 621–624. https://doi.org/10.1177/1934578x1200700520

10. Elgadi, S., Ouhammou, A., Zine, H., Maata, N., Aitlhaj, A., El Allali, H., & El Antari, A. (2021). Discrimination of Geo-graphical Origin of Unroasted Kernels Argan Oil (*Argania spinosa* (L.) Skeels) Using Tocopherols and Chemometrics. Journal of Food Quality, 2021. https://doi.org/10.1155/2021/8884860

11. Kharbach, M., Kamal, R., Marmouzi, I., Barra, I., Cherrah, Y., Alaoui, K., Heyden, Y. Vander, & Bouklouze, A. (2019). Fatty-acid profiling vs UV-Visible fingerprints for geographical classification of Moroccan Argan oils. Food Control. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.046

12. SNIMA 08.5.090. (2016). Service de Normalisation Industrielle Marocaine (SNIMA) Huiles d'argane. Specifications. Norme Marocaine NM 08.5.090 Rabat.

13. International Olive Council. (2021). IOC. Determination of the Sterol Composition and Content and Alcoholic Com-pounds by Capillary Gas Chromatography., COI/T.15/NC nº 3/Rév. 17.

14. Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Matthäus, B., & Charrouf, Z. (2011). Oxidative stability of edible ar-gan oil: A two-year study. LWT - Food Science and Technology, 44(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.003.

Argania spinosa (L.) Skeels by-products: valuable source of biogas in circular bioeconomy

Jihane Zeghlouli [1,2*] , Lucia Braga Nan[2] , Benoit Chezeau[2] , Pierre Fontanille[2] , Amine Guendouz[1] , Cherkaoui El Modafar[1] , Philippe Michaud[2] , Cédric Delattre[2].

[1] *Centre d'Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche Labellisée CNRST (Centre AgroBiotech, URLCNRST 05), Faculté des Sciences et Techniques Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakesh 40000, Morocco ; Jihane.ZEGHLOULI@etu.uca.fr (J.Z.); a.guendouz@uca.ma (A.G.); elmodafar@uca.ac.ma (C.E.M.). Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pas-cal, F-63000 Clermont-Ferrand, France ; gwendoline.christophe@uca.fr (G.C.) ; philippe.michand@uca.fr (P.M.) ; cedric.delattre@uca.fr (C.D.)*

[2] *Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France ; gwendoline.christophe@uca.fr (G.C.) ; philippe.michand@uca.fr (P.M.) ; ce-dric.delattre@uca.fr (C.D.)*

[*] *jihanezeghlouli@gmail.com*

Keywords
Argania spinosa, biomethane, biohydrogen, anaerobic digestion, dark fermentation.

ABSTRACT

In this work, alternative uses for Argan by-products by considering them as a renewable and affordable source of energy with the application of anaerobic digestion and dark fermentation, for the first time, biomethane and biohydrogen production were investigated from these Argan by-products. Untreated roasted cake, unroasted cake and Argan pulp as substrates and anaerobic sludge from food waste, silage, manure and slurry as an inoculum were used for both biotechno-logical processes under mesophilic temperature (37°C). The highest biomethane yield of 445 Ndm3 CH4 KgOM -1was obtained using roasted Argan cake. Most of the released hydrogen was observed during dark fermentation of Argan pulp with 34 dm3 H2 KgOM -1. Further optimiza-tion of both technological processes could lead to increased and prolonged production especially in the case of biohydrogen.

Mots clés
Argania spinosa, biométhane, biohydrogène, digestion anaérobie, fermentation sombre.

RÉSUMÉ

Argania spinosa (L.) Skeels sous-produits : source précieuse de biogaz dans une bioéconomie circulaire

Dans ce travail, des utilisations alternatives des sous-produits de l'argan ont été envisagées en les considérant comme une source d'énergie renouvelable et abordable avec l'application de la digestion anaérobie et de la fermentation sombre. Pour la première fois, la production de biométhane et de biohydrogène a été étudiée à partir de ces sous-produits d'argan. Des tourteaux torréfiés non traités, des tourteaux non torréfiés et de la pulpe d'argan ont été utilisés comme substrats, et des boues anaérobies provenant de déchets alimentaires, d'ensilage, de fumier et de lisier ont été utilisées comme inoculum pour les deux processus biotechnologiques à une température mésophile (37°C). Le rendement en biométhane le plus élevé de 445 Ndm3 CH4 KgOM-1 a été obtenu en utilisant des tourteaux d'argan torréfiés. La majorité de l'hydrogène libéré a été observée lors de la fermentation sombre de la pulpe d'argan avec 34 dm3 H2 KgOM-1. Une optimisation plus poussée des deux processus technologiques pourrait conduire à une production accrue et prolongée, en particulier dans le cas du biohydrogène.

INTRODUCTION

Currently, there is a big gap between global status of reserved fossil fuels and a world in which the energy system that underpins economic activity is agreeable with global goals of net-zero emissions over the next few years [1]. Therefore, the search for new measures to reduce dependence on fossil sources has become vital to meet sustainable global energy strategies [2,3]. Compared to fossil sources, lignocellulosic biomass is a carbon-neutral and renewable bioenergy feedstock including a wide range of sources with a large reserve. Indeed, the annual global production of lignocellulosic biomass has been estimated at around 200 billion metric tons, comprising mainly agricultural, forestry, and horticultural wastes as well as economic crops [4]. Nowadays, a small part of lignocellulosic biomass is used for biogas production and livestock feed, while the rest is burnt directly. This constitutes a real waste of these resources, and causes serious environmental issues including the high emission of polluting gases, the aggravation of the greenhouse effect, soil and groundwater pollution, etc. [5]. Therefore, it became necessary to develop efficient technology for advancing the bio-utilization of lignocellulosic biomass to avoid further environmental problems. Taking into consideration the new policies and regulations, namely the ninth meeting of the Central Committee for Financial and Economic by China [6], bioconversion of lignocellulose to bioenergy, such as bioethanol, biobutanol, bio-hydrogen, biogas etc. This not only presents a good way to valorize waste, but also a great alternative to meet the current carbon neutral concept, showing a huge application po-tential in the new energy era [7]. Among the various forms of bioenergy, biohydrogen and biomethane production from lignocellulosic waste is earning more and more attention as it can guarantee the advantages of renewable 150 energy production simultaneously with waste management [8]. Biohydrogen is an ecofriendly and a nontoxic fuel as it provides zero-emission and high energy yield (3.5-time higher energy content than oil) [9-11]. Biomethane is an easy-to-use biofuel with a high specific energy [12] and many economic and environmental advantages [13]. Its composition varies depending on the source of organic biomass used, it consists of methane (50~65%), carbon dioxide (35~50%), with some traces of other gases and water vapor [14]. Anaerobic digestion and dark fermentation are the most promising solutions for waste-based biogas and biohydrogen production. Anaerobic digestion (biomethanation) is a wellknown process and engineering concept that allows the treatment of solid waste to generate renewable energy [15-16]. Also, it represents a promising technology for producing biogas generating biomass and a digestate (nutrient-rich liquid residue) that can be used as organic fertilizer [17]. Agricultural residues, such as rice waste, sugarcane bagasse, coffee waste, corn cobs, wheat straw, sorghum (husks, leaves and stover), and some fruits peal wastes used in dark fermentative or anaerobic digestion with the target of hydrogen or methane pro-duction using different microorganisms are already well reported in the literature [18;19]. Although a wide range of microbial strains are capable of hydrolyzing and degrading lignocellulosic wastes, in some cases it is still necessary to pretreat the lignocellulosic wastes for high efficiency of the anaerobic digestion and dark fermentation processes. Thus, some pre-treatment methods can increase the yield of fermentable sugars by up to 90%, less than 20% was noted in absence of pre-treatment [20]. Argan tree or *Argania spinosa* L. Skeels is a monotypic and endemic tree that grows in five different provinces in Morocco with a key role in the economy, ecology and the social relation of local Amazigh population which represent 3.5 million lives [21-23]. Unfortunately, on the industrial level, the extraction process of Argan oil led to the generation of large quantities of by-products. Those quantities of by-products are mainly used to feed fire and livestock and do not yet achieve the current progress in the recovery of industrial waste. Recently, in our previous works, the production of bioethanol and biodiesel using Argan pulp and Argan cake as a feedstock, respectively, were assessed. As an outcome, Argan pulp and cake present a promising lignocellulosic biomass for the production of a clean and affordable biogas as well as an interesting recovery path for Argan by-products.

MATERIALS AND METHODS

The argan by-products used in this study was provided by Nectarome (Marrakech, Morocco) (https://www.nectarome.com), installed 35 km from Marrakech, Morocco, and taken from an annual feedstock (2021). It was already dried and ground into a fine powder. After that, the biomass collected was stored until use. Table 1 shows substrates properties analyzed before fermentation. The methods used for the characterization are rested on earlier work [24] (Zeghlouli et al., 2021).

Table 1: Argan by-products properties

	Argan pulp	Roasted Argan cake	Unroasted Argan cake
Dry matter (wt%)	91.67	96.06	94.68
Organic matter (wt%)	85.94	91.34	90.03
Mineral matter (wt%)	5.73	4.72	4.65
Cellulose (wt%)	19.35	14.94	14.73
Hemicellulose (wt%)	6.75	3.34	3.72
Lignin (wt%)	3.17	2.03	2.21
Total sugars (mg/g DW)	789.35	363.61	318.01
Protein (wt%)	5.02	90.03	4.65
Lipids (wt%)	4.46	7.8	7.2

Anaerobic sludge was obtained from an anaerobic digestion reactor co-digesting the deconditioning of food waste, silage, manure and slurry at 52°C to serve as microbial inoculum for anaerobic digestion tests. The inoculum was left at ambient temperature for 1 month and heat-treated at 90°C for 15 minutes. The volatile solid content of the inoculum was 0.02gVS/g and for the substrates was 0.9 gVS/g.

2.1. Biomethane production test

Biomethane potential (BMP) was performed using BIO-VALO PLATFORM, which is a society specializing in biogas located in Riom, France. The method used to determine the methanogenic potential of the samples complies the interlaboratory protocol for measuring the methanogenic potential of solid matrices heterogeneous from ADEME (French environment and energy management agency). According to this, the measurement is considered complete when the increase methanogenic potential does not exceed 1% per day. The assays consisted of 15 reactors, each with a total volume of 2000 ml immersed in a water bath (37°C ± 1, mesophilic range). The anaerobic digestion of each substrate and the control (cellulose) in triplicate was carried out on test benches, as shown in Figure 1. Each reactor was shaken vigorously, sealed and connected to a bubble counter (manu-factured by BIO-VALO) and a pocket to collect the biogas produced as shown in Figure 1.



Figure 1: Experimental setup for anaerobic digestion

2.2. Biohudrogen production test

Biohydrogen potential (BHP) of three by-products of Argan oil manufacturing was evaluated in batch test: (i) Argan pulp, (ii) roasted Argan cake, and (iii) unroasted Argan cake. Glucose was used as control. The batch tests were conducted in 500 ml schott bottles with 200 ml working volume. The substrate, the heat-treated inoculum, phosphate buffer medium (NH4Cl, 2600 mg/L; K2HPO4, 250 mg/L; MgCl2.6H2O, 125 mg/L; FeSO4.7H2O, 100 mg/L; CoCl2.6H2O, 2.5 mg/L; MnCl2.4H2O, 2.5 mg/L; KI, 2.5 mg/L; NiCl2.6H2O, 0.5 mg/L; ZnCl2, 0.5 mg/L) were added to the bottles. The substrate to inoculum ratio was set to 20. Initial pH was adjusted to 6 with HCl or NaOH if needed. The bottles were sealed with a rubber stopper and schott plastic screw. Afterwards, the vials were purged for 15 minutes with 100% N2 gas to achieve anaerobic conditions. The experiments were car-ried-out in a shaking-water-bath at mesophilic temperature (37°C) and an agitation of 100 rpm. The experiments were stop when no more gas production was observed. The gas production and composition were monitored every 24 h. Gas production was monitored with a manometer (OMEGA™ DPG101-100G), while its composition was analysed by a micro-GC (Agilent 3000) equipped with two columns and a thermal conductivity detector (TCD). Hydrogen, oxygen, nitrogen and methane content were determined by a mo-lecular sieve column (5Å). Argon was used as a vector gas at a pressure of 30 psi, the injector and oven temperatures were respectively 80 and 90°C.

2.3. Reagents and data processing

All chemical reagents used were from Sigma-Aldrich (France). Each data point repre-sented was the average of at least three experiments maintained under the same condi-tions and standard errors were considered.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Biomethane production

To produce methane, the anaerobic digestion called also bio-methanation of Argan by-product was provided, using anaerobic sludge from food waste, silage, manure and slurry as an inoculum. As already stated, a batch culture was carried out in a 2 L bioreactor: substrates and inoculum were added once to the digester for the duration of the process and a comparison with a simple substrate (cellulose) was performed to analyze the variation in the metabolic behavior of the consortium. The energy obtained in the biogas was determined by both biogas and methane production. The values of the specific biogas and methane productions of the control 156 (cellulose) compared to the substrates were plotted in the form of cumulative volume curves. All these results are supported by the standard deviation analysis. Figure 2 shows accumulation of biogas and biomethane curves obtained for roasted Argan cake, unroasted Argan cake, Argan pulp and cellulose. Nevertheless, all substrates had similar shapes from day 0 to 30. In the case of the cellulose assay (Figure 2a, b), the highest yield of biogas and biomethane was found to be 9368 Nml and 4903 Nml, respectively, after 30 days. In parallel, on Argan by-products, the highest yield of biogas and biomethane was found to be 8137 Nml and 3751 Nml; 7500 Nml and 4452 Nml (Figure 2a, b) for

roasted and unroasted cake, respectively. In addition, the higher concentration of biogas and biomethane was only 5154 Nml and 2430 Nml, respectively, at the same time for Argan pulp assay. This can be attributed to the initial composition of Argan by-products. Argan cakes present higher amounts of organic matter (91.34 wt.%), lipids (7.8%) and proteins (38%) (Table 1). Indeed, while hydrolysis may exist as an electrochemical process, in anaerobic digestion it exists primarily as a biological process. During the process of hydrolysis, hydrolytic bacteria are able to secrete extra-cellular enzymes capable of converting carbohydrates, lipids and proteins into sugars, long-chain fatty acids and amino acids, respectively, which go use for the production of biomethane at the end of the process. Moreover, according to the data in Table 1, Argan pulp contains mainly a higher amount of cellulose, hemicellulose and lignin compared to Argan cakes. However, it is important to mention that these substrates can be difficult to degrade and can remain inaccessible to microbes because of their complex structures. Hence, adding enzymes often presents a green and promising way to increase carbo-hydrate hydrolysis. In our previous study, the optimization of the enzymatic hydrolysis of Argan pulp for the production of bioethanol 157 was studied. As a result, a conversion yield of 91% and 88% was obtained using Viscozyme and Celluclast, respectively, based on the concentration of total sugars before hydrolysis [24].

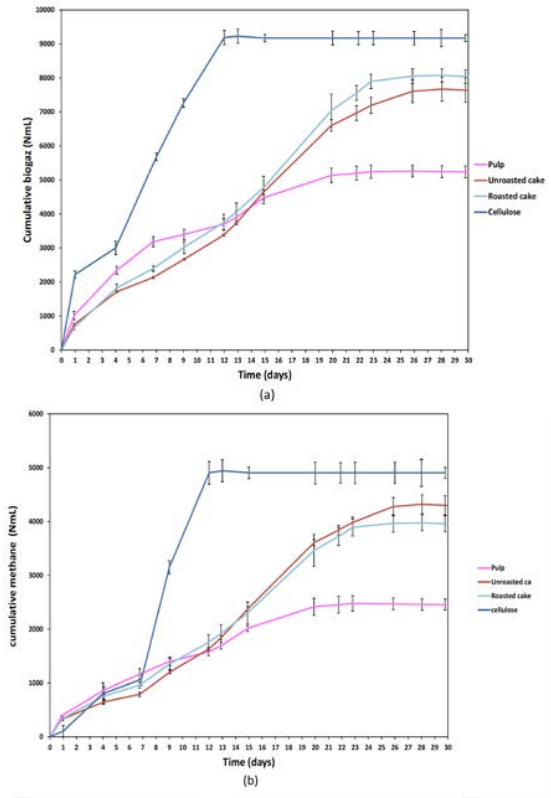


Figure 2: Cumulative biogas and methane production during 30 days of anaerobic di-gestion at 37°C for the four substrates studied (glucose, pulp, roasted cake, and unroasted cake)

Figure 3 depicts the organic matter specific methane yields after 30 days of anaerobic digestion at 37°C ± 1 from Argan by product in presence of as inoculum. As shown in Figure 3, anaerobic digestion of unroasted Argan cake, roasted Argan cake, Argan pulp and cellulose (control) allows the accumulated production of 445 Ndm3 CH4 KgOM -1, 400 Ndm3 CH4 KgOM -1 , 250 Ndm3 CH4 KgOM -1 and 500 Ndm3 CH4 Kg-1 respectively. After the 30th day, according to ADEME method the measurement is considered complete because the increase in methanogenic potential does not exceed 1% per day. Similarly, Weide et al. (2020) studied the effects of enzyme addition on both biogas and methane yields in the batch anaerobic digestion of different agricultural wastes [25].

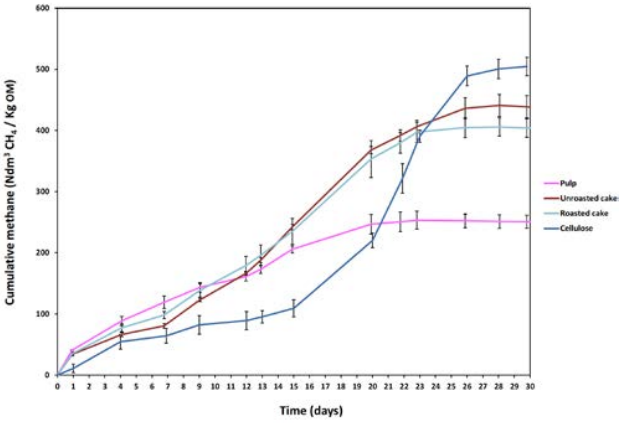
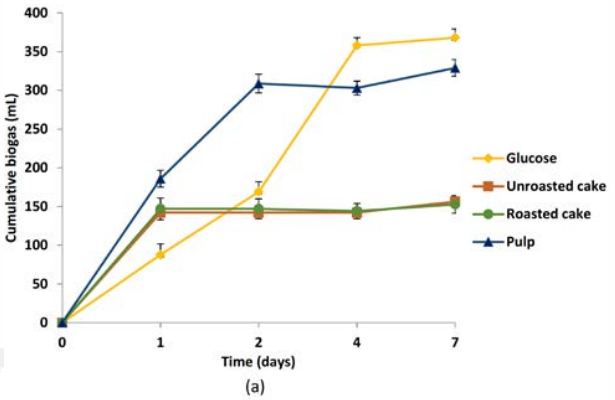


Figure 3: Methane yield during 30 days of anaerobic digestion of Argan by-products (pulp, roasted and unroasted cake) at 37°C

3.1. Biohydroen production

The cumulative biogas and biohydrogen production with Argan by-products and glucose as simple substrate to analyse the variation in the metabolic behaviour of the consortium is shown in Figure 4, where a week data is given for better representation. Argan pulp showed higher initial biogas and biohydrogen production during the first two days of incubation under mesophilic conditions, compared to glucose and both types of Argan cake (Figure 4a, b).



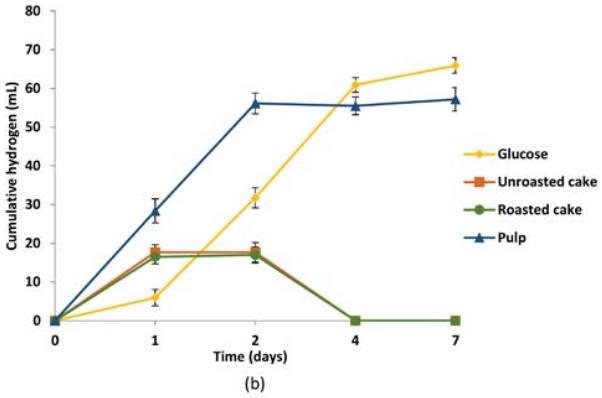


Figure 4: Cumulative biogas and hydrogen production during 7 days of dark fermen-tation at 37°C for the four substrates studied of Argan by product (pulp, roasted cake, and unroasted cake) at 37°C

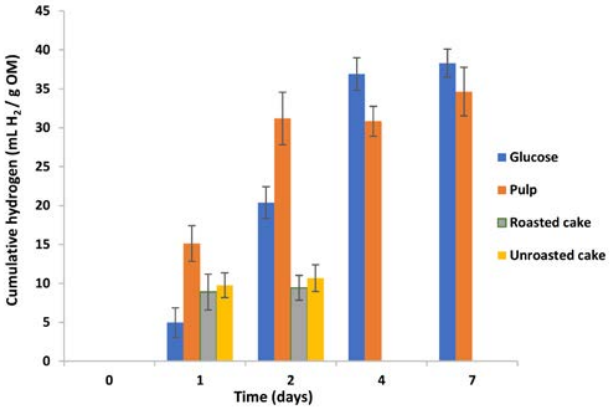


Figure 4: Hydrogen yield during 7 days of dark fermentation at 37°C for the four sub-strates studied (glucose, pulp, roasted cake, and unroasted cake)

After 2 days, Argan pulp batch shows a slow cumulative production of biogas and bi-ohydrogen until reaching a high maximum value of 328 ml and 57 ml for biogas and hydrogen, respectively, after 7 days. These values were slightly similar to glucose batch, where the maximum concentration was found to be 366 ml and 66 ml for biogas and biohydrogen, respectively, at the same time. However, a different scenario was shown in the case of roasted and unroasted cake, the highest production was represented on the second day with only 158 ml of biogas and 17 ml of biohydrogen for both roasted and unroasted cake. After that, the values of cumulative hydrogen began to 160 decrease until production ceased on the fourth day. This difference can be attributed to the composition of each by-product. As already stated, Argan pulp present carbohydrate rich-biomass, which makes it more suitable for dark fermentation compared to Argan cakes which are rich in lipids and proteins (Table 1). Indeed, carbohydrate-rich wastes are known to have a higher hydrogen yield than protein and fat-rich substrates [10]. Additionally, fats during dark fermentation produce glycerol and long-chain fatty acids (LCFAs).

The variation in hydrogen yield for the three Argan by-product and glucose (control) is shown in Figure 5. A higher yield of hydrogen resulted in 34 dm3 H2 KgOM 1 after 7 days at mesophilic condition (37°C) using Argan pulp and remained comparable to glucose (38 dm3 H2 KgOM -1) at the same time. Roasted and unroasted cake were not efficient for biohydrogen production. The value obtained with Argan pulp are close to other lignocellulosic waste substrates such as rice husk, straw, bran and waste at mes-ophilic condition (37°C) [27].

CONCLUSIONS

For the first time, the usefulness of Argan by-products for biotechnological processes carried out to obtain clean and affordable energy, i.e., biomethane and biohydrogen. Comparison of energy production of untreated Argan by-product, the most economically feasible seems to be the process of producing methane by anaerobic digestion. The preliminary research of this study shows the possibility of using Argan pulp and cake as a raw material to obtain renewable energy as well as an interesting recovery path for Argan by-products.

Acknowledgments : The authors acknowledge Nectarome and BIO-VALO.

Conflicts of interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

1. Aathika A. R, S., Kubendran, D., Yuvarani, M., Thiruselvi, D., Amudha, T., Karthik, P., Sivanesan, S., 2018. Enhanced biohydrogen production from leather fleshing waste co-digested with tannery treatment plant sludge using anaerobic hydrogenic batch reactor. Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff. 40, 586–593.

2. Abraham, A., Mathew, A.K., Park, H., Choi, O., Sindhu, R., Parameswaran, B., Pandey, A., Park, J.H., Sang, B.-I., 2020. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. Bioresour. Technol. 301, 122725.

3. Atelge, M.R., Krisa, D., Kumar, G., Eskicioglu, C., Nguyen, D.D., Chang, S.W., Atabani, A.E., Al-Muhtaseb, A.H., Unalan, S., 2020. Biogas production from organic waste: recent progress and perspectives. Waste and Biomass Valorization 11, 1019–1040.

4. Bolzonella, D., Battista, F., Mattioli, A., Nicolato, C., Frison, N., Lampis, S., 2020. Biological thermophilic

post hydrolysis of digestate enhances the biogas production in the anaerobic digestion of agro-waste. Renew. Sustain. Energy Rev. 134, 110174.

5. Chai, W.S., Bao, Y., Jin, P., Tang, G., Zhou, L., 2021. A review on ammonia, ammonia-hydrogen and ammonia-methane fuels. Renew. Sustain. Energy Rev. 147, 111254.

6. Cheng, J., Yue, L., Ding, L., Li, Y.-Y., Ye, Q., Zhou, J., Cen, K., Lin, R., 2019. Improving fermentative hydrogen and methane production from an algal bloom through hydrothermal/steam acid pretreatment. Int. J. Hydrogen Energy 44, 5812–5820.

7. China, 2021. The ninth meeting of the Central Committee for Financial and Economic Affairs. https://doi.org/10.3390/genes12020226

8. Cresson, R., Pommier, S., Béline, F., Bouchez, T., Bougrier, C., Buffière, P., Cacho, J., Camacho, P., Mazéas, L., Pauss, A., 2014. Etude Interlaboratoires pour L'harmonisation des Protocoles de Mesure du Potentiel Bio-Methanogène des Matrices Solides Hétérogènes—Rapport Final. ADEME Paris, Fr. 1–121.

9. Dauptain, K., Trably, E., Santa-Catalina, G., Bernet, N., Carrere, H., 2020. Role of indigenous bacteria in dark fermentation of organic substrates. Bioresour. Technol. 313, 123665.

10. De Gioannis, G., Muntoni, A., Polettini, A., Pomi, R., 2013. A review of dark fermentative hydrogen production from biodegradable municipal waste fractions. Waste Manag. 33, 1345–1361.

11.Deena, S.R., Vickram, S., Manikandan, S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S.W., Awasthi, M.K., 2022. Enhanced biogas production from food waste and activated sludge using advanced techniques–A review. Bioresour. Technol. 127234.

12. Elbeshbishy, E., Dhar, B.R., Nakhla, G., Lee, H.-S., 2017. A critical review on inhibition of dark biohydrogen fermentation. Renew. Sustain. Energy Rev. 79, 656–668.

13. Falasca, S.L., Pitta-Alvarez, S., Ulberich, A., 2018. The potential growing areas for *Argania spinosa* (L.) Skeels (Sapotaceae) in Argentinean drylands. Int. J. Agron. 2018.

14. Gaballah, E.S., Abdelkader, T.K., Luo, S., Yuan, Q., Abomohra, A.E.-F., 2020. Enhancement of biogas production by integrated solar heating system: A pilot study using tubular digester. Energy 193, 116758.

15. Garcia, N.H., Mattioli, A., Gil, A., Frison, N., Battista, F., Bolzonella, D., 2019. Evaluation of the methane potential of different agricultural and food processing substrates for improved biogas production in rural areas. Renew. Sustain. Energy Rev. 112, 1–10.

16. Hajizadeh, A., Saady, N.M.C., Zendehboudi, S., Rajagopal, R., Hung, Y.-T., 2021. Biohydrogen production through mixed culture dark anaerobic fermentation of industrial waste, in: Integrated Natural Resources Management. Springer, pp. 323–369.

17. Ito, T., Nakashimada, Y., Senba, K., Matsui, T., Nishio, N., 2005. Hydrogen and ethanol production from glycerol-containing wastes discharged after biodiesel manufacturing process. J. Biosci. Bioeng. 100, 260–265.

18. Kamperidou, V., Terzopoulou, P., 2021. Anaerobic digestion of lignocellulosic waste materials. Sustainability 13, 12810.

19. Kapoor, R., Ghosh, P., Kumar, M., Sengupta, S., Gupta, A., Kumar, S.S., Vijay, V., Kumar, V., Vijay, V.K., Pant, D., 2020. Valorization of agricultural waste for biogas based circular economy in India: A research outlook. Bioresour. Technol. 304, 123036.

20. Kasinath, A., Fudala-Ksiazek, S., Szopinska, M., Bylinski, H., Artichowicz, W., Remiszewska-Skwarek, A., Luczkiewicz, A., 2021. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion. Renew. Sustain. Energy Rev. 150, 111509.

21. Khallouki, F., Eddouks, M., Mourad, A., Breuer, A., Owen, R.W., 2017. Ethnobotanic, ethnopharmacologic aspects and new phytochemical insights into moroccan Argan fruits. Int. J. Mol. Sci. 18, 2277.

22. Koniuszewska, I., Korzeniewska, E., Harnisz, M., Czatzkowska, M., 2020. Intensification of biogas production using various technologies: A review. Int. J. Energy Res. 44, 6240–6258.

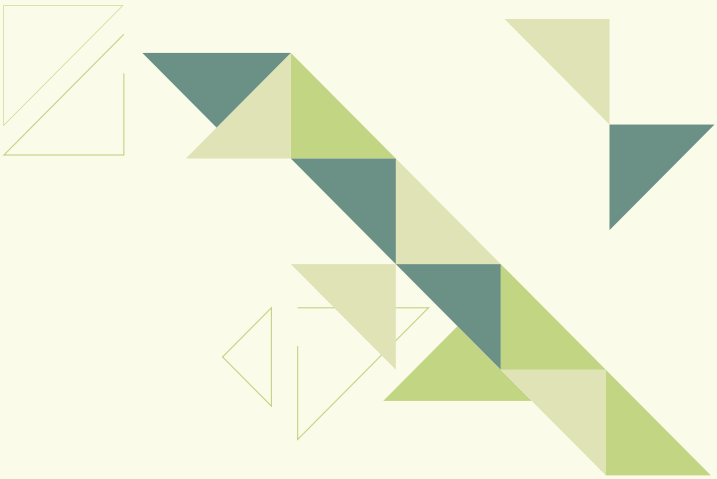
23. Kumar, A., Samadder, S.R., 2020. Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. Energy 197, 117253.

24. Zeghlouli, J., Christophe, G., Guendouz, A., El Modafar, C., Belkamel, A., Michaud, P., Delattre, C., 2021. Optimization of Bioethanol Production from Enzymatic Treatment of Argan Pulp Feedstock. Molecules 26, 2516.

25. Weide, T., Baquero, C.D., Schomaker, M., Brügging, E., Wetter, C., 2020. Effects of enzyme addition on biogas and methane yields in the batch anaerobic digestion of agricultural waste (silage, straw, and animal manure). Biomass and bioenergy 132, 105442.

26. Sattar, A., Arslan, C., Ji, C., Sattar, Saba, Umair, M., Sattar, Sumiyya, Bakht, M.Z., 2016. Quantification of temperature effect on batch production of bio-hydrogen from rice crop wastes in an anaerobic bio reactor. Int. J. Hydrogen Energy 41, 11050–11061.

AXE 4
Socio-économie et développement territoriale de la RBA



COMMUNICATIONS ORALES

L'arganeraie de la plaine du Souss face à la construction en cours de l'agglomération du grand Agadir

ALIATE Redouane[1,*], EL Mati Ouarmassi [2]

[1] *Doctorant en Géographie, FLSH, Agadir*

[2] *Docteur en géographie et aménagement du territoire*

[*] *redali777@gmail.com*

RÉSUMÉ

Le Grand Agadir connait une croissance urbaine soutenue, notamment depuis la période de la re-construction après le séisme de 1960. Cette urbanisation se traduit par un rythme rapide de con-sommation de l'espace, surtout l'espace forestier d'arganier.

D'après la liste des distractions établie par la ANEF-SO, le principal facteur du recul de l'espace d'arganier est l'urbanisation.

De ce fait, Le Grand Agadir s'est développé en pleine forêt d'arganiers : jusqu'en 2022, l'urbanisation a déjà consommé plus de 1900 ha dans la forêt d'Admine et 2000 ha au niveau de Mesguina. Un des faits caractéristiques de la mutation sociale et spatiale que connaît la zone est le basculement rapide de sa population vers les villes et les centres urbains limitrophes.

C'est ainsi que dans ce travail, la méthodologie de mesure et le suivi de processus de l`étalement urbain sont généralement effectués soit à partir de données issues des cartes d'occupation des sols existantes, soit à partir des images satellitaires à très haute résolution spatiale. En effet, le SIG sont de plus en plus sollicités dans les études forestières, notamment pour effectuer des suivis de changements de l`occupation des sols.

La superficie globale des terrains déduits du domaine forestier pour servir à l'urbanisation est de 3.900ha en 2022.

Mots clés
la forêt, urbanisation, Grand Agadir, Agriculture, arganier et arganeraie

ABSTRACT

The argan grove of the Souss plain facing the ongoing construction of the greater Agadir urban area

Greater Agadir has experienced sustained urban growth, particularly since the period of reconstruction following the 1960 earthquake. This urbanization consumption of land, especially argan forests.

According to the list of distractions drawn up by ANEF-SO, the main factor in the retreat of the is urbanization.

As a result, Greater Agadir has developed in the middle of the argan forest: until 2022, urbanization has already consumed more than 1,900 ha in the Admine forest and 2,000 ha in Mesguina. One of the characteristic facts of the social and spatial mutation that the area is undergoing is the rapid shift of its population towards towns and neighboring urban centers.

Thus, in this work, the methodology for measuring and monitoring the process of urban sprawl are generally carried out using data from existing land-use maps land-use maps, or from very high spatial resolution satellite images. In fact, GIS is increasingly being used in forestry studies studies, par-ticularly for monitoring changes in land use.

Keywords
forest, urbanization, Greater Agadir, Agriculture, argan tree and argan grove

The total area of land deducted from the forest estate to be used for urbanization is 3,900ha in 2022.

biométhane le plus élevé de 445 Ndm3 CH4 KgOM-1 a été obtenu en utilisant des tourteaux d'argan torréfiés. La majorité de l'hydrogène libéré a été observée lors de la fermentation sombre de la pulpe d'argan avec 34 dm3 H2 KgOM-1. Une optimisation plus poussée des deux processus technologiques pourrait conduire à une production accrue et prolongée, en particulier dans le cas du biohydrogène.

INTRODUCTION

Depuis les années soixante, notamment après le séisme de 1960, des efforts importants ont été consentis en vue de promouvoir le développement de l'agglomération du Grand Agadir[1]et son arrière-pays pour des raisons économiques, sociales et politiques. Ces efforts ont été concrétisés par des investissements étatiques considérables dans le domaine de construction des barrages, des canaux d'irrigation et des infrastructures portuaires et urbaines à même de créer la richesse et dynamiser le secteur d'emplois.

La mise en œuvre de ces projets a engendré une transformation rapide des systèmes de production, notamment dans le secteur de l'agriculture qui est passé d'un mode d'exploitation traditionnel à un autre moderne basé sur des cultures destinées à l'exportation. De sa part, la vie urbaine a connu aussi des mutations importantes dues essentiellement à l'accroissement démographique [2] accéléré et à l'étalement urbain rapide des centres de l'agglomération.

Ce système intensif, basé sur des conditions naturelles favorables, a créé des plus-values importantes qui ont encouragé, dès le début des années soixante-dix [3] (après la création de l'ORMVA-SM Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Souss-Massa) , l'investissement privé dans le domaine agricole. Ainsi, de nombreux promoteurs ont concentré leurs investissements dans la plaine du Souss. Ce flux massif a créé un besoin supplémentaire en terres à exploiter.

Ce développement économique induit par l'agriculture à côté des autres secteurs économiques comme le tourisme et la pêche a été à l'origine d'un développement rapide de l'urbanisation et de l'installation des infrastructures de base. Une grande partie de ces extensions s'est réalisée au dé-triment des terrains forestiers, notamment d'arganier.

L'objet de cette contribution est de mettre en exergue, à partir des données statistiques et carto-graphiques, les conséquences néfastes des activités agricoles et des projets d'urbanisation sur les ressources forestières dans la plaine de Souss-Massa.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Comme dans tous les travaux de recherche à ce niveau, les ressources bibliographiques représentent un outil majeur pour tout d'abord mieux cerner les termes clés de notre travail. Elles nous ont permet également de décrire la relation entre la ville et la forêt, et ce au niveau de quelques villes marocaines et européennes. Ce qui constitue une étape essentielle avant d'entamer notre étude puisqu'elle nous aidera par la suite, à faire une comparaison entre les différents résultats obtenus.

Toutefois, évaluer et anticiper les impacts de l'étalement urbain au détriment de l'espace forestier d'arganier exige un suivi et une analyse fine à partir de méthodes et de données adaptées à la nature du phénomène et à la particularité de chaque cas d'étude. Sa mesure, son suivi dans le temps et sa modélisation sont d'un grand intérêt, non seulement pour la communauté scientifique mais éga-lement pour les collectivités territoriales ainsi que toute personne s'intéressant à la gestion forestière.

C'est ainsi que dans ce travail, la mesure et le suivi de processus de régression de l'espace forestier d'arganier sont généralement effectués soit à partir de données issues des cartes d'occupation des sols existantes, soit à partir des images satellitaires à très haute résolution spatiale. En effet, les systèmes d'information géographique sont de plus en plus sollicités dans les études forestières, notamment pour effectuer des suivis de changements de l'occupation des sols. Ainsi, des séries temporelles d'images satellitaires et des photos aériennes permettent de retracer dans le temps l'évolution d'occupation des sols et de suivre l'évolution spatio-temporelle de divers phénomènes tels que l'étalement urbain.

RÉSULTATS

L'espace forestier de l'agglomération du grand Agadir a connu depuis 1960 un processus d'urbanisation continu et dont l'intensité est variable selon les périodes.

Nous avons constaté, par ailleurs, que la croissance

1 Ce territoire, représentant ce qu'on pourrait considérer comme étant l'aire d'influence directe de la ville d'Agadir, se trouve à cheval entre trois entités administratives : la Préfecture d'Agadir Ida Outanane, la Préfecture d'Inezgane Ait Melloul ainsi que la Province de Chtouka Ait Baha.

2 Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, la population du Grand Agadir a dépassé 1 million d'habitants (www.hcp.ma).

3 Date de création des périmètres irrigués de Chtouka et Taroudant.

du grand Agadir au détriment de l'espace forestier d'arganier est due essentiellement à l'accroissement démographique, notamment les flux migra-toires, puis à la croissance urbaine démesurée, surtout après 1980 où l'Etat a intervenu pour la création des zones industrielles qui ont été derrière l'attraction de la main d'œuvre des zones li-mitrophes et même lointaines.

Les résultats mettent en évidence que la croissance de la tache urbaine a été très marquée au cours de ces trente dernières années. Ainsi, l'évolution de la tache urbaine de 1960 à 2023 révèle un taux de progression d'environ 67 %, soit une moyenne de 16 ha par an ou 1,3 ha par mois.

Ainsi, la forêt supportera encore une grande partie de l'évolution spatiale de l'agglomération surtout que les terrains vides sont de plus en plus rares. La préservation du capital forestier ne peut être alors réalisée que par la conciliation entre les acteurs et la détermination claire des priorités car, jusqu'à aujourd'hui, c'est la réponse aux besoins de la ville qui prime sur la préservation de l'espace forestier.

DISCUSSION

1-Environnement naturel de l'agglomération du Grand Agadir

Le Grand Agadir, constitué essentiellement de la plaine du Souss et Massa, ainsi qu'une bande littorale intégrant le parc national du Souss-Massa. Administrativement, l'aire de la zone étude est composée des territoires appartenant à trois provinces (Agadir Ida Ou-tanane, Inezgane Ait Melloul et Chtouka Ait Baha). Plus précisément, elle englobe les communes territoriales suivantes : Agadir, Aourir, Drarga, Ameskroud, Ouled Dahou, Dcheira, Temsia, Inezgane, Ait Melloul, Lqliaa, Sidi Bibi, Oued Essafa, Biougra, Ait Amira, Inchaden, Belfaa, Sidi Wassay et Massa. Cet espace est limité au Nord par le Haut Atlas, au Sud par Oued Massa, à l'Est par la province de Taroudant et à l'Ouest par l'Océan Atlantique. Sa superficie globale est de l'ordre de 2300km² [4].

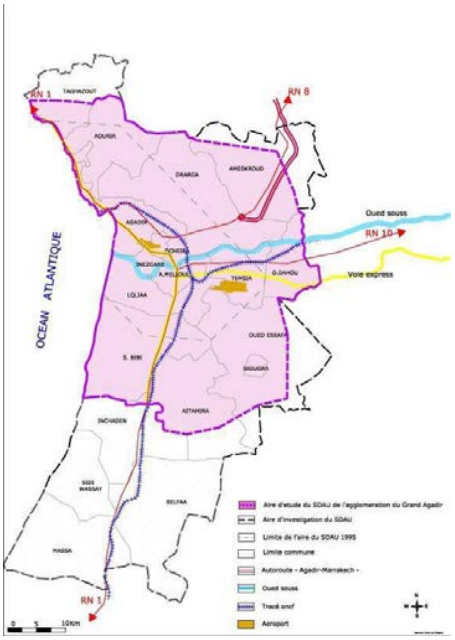


Figure 1 : Aire du l'agglomération du Grand Agadir selon le nouveau SDAU

Source : Schéma Directeur d'Aménagement Urbain de l'agglomération du Grand Agadir ; Cahier de Prescriptions Spéciales ; 2010

En termes d'occupation des sols, les terres faisant partie de la plaine du Souss Massa et ses bordures sont dominées par les Forêts d'arganier (37.000ha), les parcours et les incultes (plus de 200.000ha). Alors que la superficie agricole utile est de l'ordre de 228.500ha repartie entre 120.000ha en Bour et 108.500ha irrigables dont 51.500ha est aménagée par l'ORMVA-SM.

2-Activités socio-économiques et leur impact sur la conservation des ressources fores-tières

Selon le recensement de 2014, la population globale de l'agglomération du Grand Agadir a atteint 1.434.967 habitants répartie sur 334.619 ménages avec une densité de près de 260 habitants/km². Économiquement, les principales activités de l'agglomération sont : l'agriculture, la pêche maritime et le tourisme.

2-1 Agriculture

L'économie agricole repose principalement sur les cultures irriguées reparties sur deux grands secteurs :

a-Périmètres irrigués da la plaine du Souss-Massa

Il s'agit tout d'abord du périmètre du Souss Amont dont la mise en œuvre a été effectuée entre 1978 et 1983. Ce périmètre, d'une superficie de 6.120ha, est alimenté à partir de la nappe via 20 stations desservies par 72 forages. Le volume moyen annuel prélevé de

4 *SDAU de l'agglomération du Grand Agadir 2015-2040, « Analyse territoriale, enjeux et leviers, l'analyse environnementale », p2*

la nappe est 45Mm³ [5]. Un autre périmètre est celui d'Issen s'étendant sur une superficie de 13.000 ha et qui est alimenté à partir du barrage Abdelmoumen. Il bénéficie d'une do-tation annuelle de 65Mm³, dont 54 Mm³ par le secteur moderne.

Le périmètre de Massa, quant à lui, est d'une superficie de 18.050ha desservie en eau à partir du barrage Youssef Ben Tachafine. Le volume moyen annuel réservé pour l'irrigation de ce périmètre est de 75Mm³. Sa mise en œuvre a été effectuée entre 1974 et 1975. À cela s'ajoutent d'autres périmètres de petit et moyen hydraulique qui sont tra-ditionnels mais réhabilités et irrigués par le système gravitaire. Ils sont au nombre de 4 couvrant une superficie 14.380 ha. À l'exception du périmètre de Tassila (1200 ha) irrigué à partir du barrage Youssef Ben Tachfine, les autres périmètres sont irrigués par pompage à partir des ressources souterraines.

À côté de ceux aménagés par l'Etat, d'autre périmètres sont mis en œuvre par le secteur privé. Ces derniers s'étendent sur une superficie de 57000 ha. Ils sont irrigués essen-tiellement par le pompage à partir des eaux de la nappe souterraine.

b- Agriculture intensive et ses impacts

L'agriculture moderne pratiquée au niveau de cette plaine, destinée principalement à l'exportation, génère des entrées considérables en devises et occupe une main d'œuvre importante. Elle a permis aussi le développement d'une industrie agroalimentaire re-marquable. Les cultures agrumicoles occupent la première place en matière de superficie au niveau national (26.680ha pour la saison 2001-2002), soit 35,1% de la superficie totale, avec une production de 595.600 tonnes d'agrumes représentant 52,14 % de la production nationale. En revanche, les cultures maraîchères s'étendent sur une superficie de 15.461ha (2001-2002) assurant une production de 882.920 tonnes. Les primeurs occupent 47,66% de la superficie des cultures maraîchères. Elles occupent une superficie de 7.369ha dont 5.219ha est cultivée sous serres. Cette superficie représente 30,56% de la superficie et génère 75,14% de la production totale au niveau national.

Néanmoins, en l'absence de la prise en considération des équilibres qui devraient être maintenus entre les différentes composantes des écosystèmes naturels dans le cadre d'un développement durable, le développement accéléré du secteur agricole dans la plaine du Souss Massa a engendré une situation de surexploitation des ressources naturelles. En effet, le rabattement du niveau piézométrique de la nappe du Souss de 1 à 3 m/an, qui correspond à un déficit important de 260Mm³/an. Cette situation est aggravée par la sécheresse qui est devenue un facteur structurel. Dans certaines zones, le rabattement de la nappe a atteint 60 m. Cette baisse est plus aggravée dans les zones les plus sollicitées comme Sebt El Guerdane. Si ces rabattements continuent à être opérés de la sorte, ils peuvent induire une réduction des possibilités d'irrigation et d'exploitation agricole et peuvent causer des intrusions d'eau salée de la mer.

D'autre part, la sécheresse sévie dans la région durant les dernières années a engendré un déclin des ressources en eau superficielles. Ainsi, le régime pluviométrique a connu une réduction importante des précipitations. L'analyse de ce régime permet de constater que 75% des années ont enregistré des précipitations inférieures à la moyenne. Ces déficits de précipitations se sont répercutés sur les eaux de surface alimentant les barrages et sur la recharge des nappes phréatiques. Les apports d'eau annuels arrivés aux barrages re-présentent moins de 70% de leurs apports théoriques. Il parait donc que les ressources en eau mobilisables sont limitées et ne peuvent, dans les conditions climatiques actuelles, suivre le rythme de développement économique et social que connaît la région et qui compte sur un besoin en eau de 1.075 millions de m³ à l'horizon 2020 pour irriguer une superficie de 149.275ha.

Les besoins en eau potable qui deviennent, de plus en plus, importants avec l'extension de l'urbanisation et le développement touristique accentue la situation en défaveur du secteur agricole. La durabilité des systèmes de production agricole intensive est ainsi mise en question De plus, la pollution agricole résultant de l'emploi massif des fertilisants et des produits phytosanitaires affecte les nappes phréatiques et peut contaminer leurs eaux souterraines. L'usage de ces produits peut même causer un préjudice aux sols par l'augmentation du taux de salinité, par les processus de remontée d'eau dans les sols et par les effets d'évaporation et d'évapotranspiration induisant une accumulation des sels en surface. L'érosion éolienne, quant à elle, est active dans la zone Sud-Ouest de la plaine, notamment sur le littoral. Les vents violents d'Eté et d'Automne peuvent provoquer une érosion éolienne menaçante pour les infrastructures agricoles. La forêt de la plaine, située en majorité sur des formations de remplissage pli-quaternaire, présente des sols de constitution sableuse très sensible à l'action du vent.

Spatialement, l'un des aspects les plus frappants engendrés par le développement agricole intensif au niveau de la plaine de Souss Massa est le recours continu au défri-chement de l'arganeraie pour réserver ses sols aux cultures intensives de rente. Ainsi, selon El

5 Etude de révision du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) des bassins du Souss Massa, 2006, rapport de synthèse, pp 9 - 11.

Yousfi (1988) la forêt d'Admine, qui jadis fût une des plus belles arganeraies du pays s'étendant sur 22000ha, a vu son taillis perdre en termes de densité entre 1969 et 1986 plus de 2000ha de forêt claire de densité inférieure à 10 souches/ha et près de 7000ha de densité moyenne entre 10 et 40 souches par ha. La surface des cultures irriguées sous forêt a été multipliée par 10 en passant de 912 ha à 9000ha environ dont 100ha des cultures sous serres. En vue de maîtriser le contrôle des mises en culture intensives sous arganier, l'administration a mis en application depuis 1983 un cahier de charges général obligeant les usagers de la forêt à pratiquer un mode de culture respectant l'environnement à travers des autorisations de mise en culture.

Toutefois, l'insuffisance ou l'absence de contrôle rigoureux des parcelles cultivées a ac-centué, au fil des années, la diminution de la densité des arbres et, par conséquent, la dégradation des milieux à travers l'abandon de certaines parcelles suite à la détérioration de la structure de leurs sols fragiles et au développement du phénomène d'ensablement.

Les données qui figurent dans le tableau ci-après renseignent sur l'état des mises en cultures intensives pratiquées actuellement au niveau de la plaine.

Tableau 1 : Mise en culture au niveau de l'arganeraie de plaine

Classe de densité (Nbre pieds / ha)	Nombre de parcelles	Superficie	%
0 – 10	374	3127ha 74a 67ca	51,4
11 – 20	631	2220ha 02a 22ca	36,48
21 – 30	121	495ha 24a 24ca	8,14
31 – 40	57	144ha 54a 45ca	2,38
41 – 50	24	65ha 50a 62ca	1,08
> 50	11	31ha 51a	0,52
Total	1218	6084ha 57a 20ca	100

Source : DREF-SO, 2006, « Etude d'aménagement par identification d'impact des mises en culture sur le foret d'arganier », pp 119-139.

Il ressort des données de ce tableau que l'arganeraie mise en culture de manière intensive a subi une réduction de sa densité. En effet, plus de 50% de la superficie mise en culture est concentrée sous une arganeraie très claire de densité inférieure à 10 pieds/ha.

La densité normale des zones conservées situées dans les mêmes conditions de ce milieu est estimée à 35 pieds/ha ; ce qui laisse supposer que la perte de densité qui a affecté les parcelles cultivées de la classe (0 – 10) varie de 25 à 35 pieds/ha.

En plus de l'agriculture intensive moderne, on pratique la céréaliculture dans les terres Bour privées et dans les zones couvertes d'arganiers. Ce type de culture pluviale dépend largement des aléas climatiques et le rendement est généralement très bas : En 2001-2002, la superficie emblavée a atteint 302.800ha. Elle a produit à peine 552.300 Qx, soit un rendement de moins de 2Qx/ha contre 8,9Qx/ha enregistré à l'échelle nationale. Ce type de culture extensive à faible rendement hypothèque les espaces forestiers, limite le développement de la végétation sous-jacente, perturbe la régénération naturelle et ac-célère le phénomène de dégradation des sols.

De son côté, l'élevage est une activité complémentaire à l'agriculture. Il constitue une source de revenu essentielle pour les populations rurales des versants du bassin du Souss-Massa, notamment là où les possibilités agricoles sont limitées. En périodes de sécheresse et de soudure, l'arganeraie connaît une invasion importante des troupeaux des nomades en provenance des zones du Sud et qui causent beaucoup de dégâts (Ecimage, mutilations graves).

Ce type d'élevage itinérant, constitué essentiellement de camelins et de caprins, n'épargne aucune zone de l'arganeraie de la plaine du Souss-Massa. Il se pratique même à l'intérieur de la zone à utilisation traditionnelle du parc où il accentue la dégradation de son milieu déjà fragilisé par des pratiques culturales en Bour sans prise de mesures de protection nécessaires.

2-2 Tourisme

Grâce aux attraits touristiques diversifiés de la région de Souss Massa, considérée comme l'un des principaux pôles touristiques au niveau national, le secteur de tourisme y occupe une place primordiale dans le développement économique et social. Il constitue une source de devises et produit des effets d'entraînement économiques positifs sur les autres secteurs. Pour encourager le développement de ce secteur, cinq unités touristiques ont été créées sur une superficie totale de 1.345ha, totalement distraite du régime forestier au profit du domaine privé de l'Etat. Ces unités qui sont gérées par la SONABA sont im-plantées sur la zone littorale à Founty, Taghazout, Tifnit, Aghroud et Anza. Les unités de Taghazout et Aghroud qui couvrent jusqu'à lors une belle forêt d'arganier s'étendent, à elles seules, sur une superficie de 973ha.

À noter que malgré la constitution de cette réserve foncière importante pour asseoir des infrastructures touristiques, le domaine forestier dont l'accès est considéré facile par de nombreux promoteurs continus à subir des pressions importantes pour des fins d'urbanisation et d'installation des projets touristiques. En plus du tourisme balnéaire à Agadir, le Parc National de Souss Massa (PNSM) pourrait jouer un rôle primordial dans le développement du tourisme écologique. Ses attraits naturels de grande valeur font de lui un produit écotouristique de portée internationale.

3- Urbanisation : un impact irréversible sur les espaces forestiers

Les espaces forestiers occupés par l'arganier, espèce très noble par ses fonctions productive et écologique, sont considérés depuis longtemps comme une réserve foncière pouvant répondre sans limite aux besoins du développement de l'urbanisation des villes des centres urbains. Ce comportement agressif à l'égard du domaine forestier boisé, à cause de son accessibilité à faible coût d'acquisition, a fait de ce patrimoine précieux un milieu propice pour l'extension de la bétonisation. Ainsi, de nombreuses parcelles supportant une belle futaie d'arganier de plaine ont été défrichées, ou distraites du régime forestier pour constituer une réserve de terrains à bâtir.

3- 1 Forêt d'arganier devenue une réserve foncière de l'agglomération

L'urbanisation de l'agglomération du Grand Agadir empiète amplement et d'une ma-nière de plus en plus accélérée sur le territoire d'arganeraie : des grands lotissements et des zones industrielles s'installent au détriment de l'arganier. Un des faits caractéristiques de la mutation sociale et spatiale que connaît la zone est le basculement rapide de la population vers les villes et les centres urbains. Le phénomène d'urbanisation est en train de se généraliser à l'échelle du bas Souss et de Chtouka-Massa. Le Grand Agadir est devenu rapidement l'un des groupements urbains les plus dynamiques et les plus étendus à l'échelle du Maroc.

La superficie globale des terrains déduits du domaine forestier pour servir à l'urbanisation est de 3.900ha, répartie comme suit :

Tableau 2 : Terrains du domaine forestier destinés à l'urbanisation

Organisme bénéficiaire	Superficie du domaine forestier (ha)			%	
	Distraite	Echangée	Total	Distraite	Echangée
SONABA	1.345	-	1.347	42	-
SNEC	450	20	470	14	3
ANLHI	358	42	400	11	6
ERAC SUD	347	628	975	11	91
ACCOR et PRI	27	-	27	0,8	-
Municipalités et CR	484	-	484	15	-
Particuliers	149	-	149	4,6	-
Total	3.210	690	3.900	100	100

Source : DREF-SO, 2006, liste des distractions

On distingue ici entre deux types d'occupations :

- Terrains occupés temporairement par voie légale : le nombre d'autorisations d'occupations temporaires relatif à l'urbanisation se chiffre à 104 dont 10 arrêtés ont été signés, dans le cadre de la nouvelle procédure de délégation de signature aux Walis des régions, par le Wali de la région de Souss-Massa. La superficie concernée par cette oc-cupation provisoire est de 599ha.

- Terrains occupés illégalement : ces terrains sont au nombre de 77 et leur superficie globale est de 424ha. Parmi ces occupations illégales on cite : la décharge publique d'Agadir installée sur une superficie de 31ha, la station de traitement des ordures à Agadir sur 10ha, la ferraille installée sur 26 ha, etc. Il s'agit d'occupations de fait per-pétrées par divers établissements publics et communes. Des dispositions ont été prises pour régulariser cette situation en incitant les occupants à œuvrer dans la démarche de régularisation par voie de distraction, d'échanges immobiliers ou d'occupations tempo-raires [6].

3-2 Equipements et infrastructures

Les infrastructures publiques de base constituées des retenues de barrages, de l'aéroport d'Agadir Al Massira et de la voie express Agadir-Taroudant s'étendent sur une superficie de 1.366ha distraite du régime forestier. (il haut ajouter des statistique sur le complexe universitaire d'Ait Melloul).

3-3 Exploitation des carriers

Les occupations temporaires relatives au secteur des carrières sont au nombre de 91. Elles s'étendent sur une superficie globale de 673ha. Les matériaux extraits de ces carrières concernent la pouzzolane et les argiles (ciments du Maroc), la gravette, granitos, marbre, argile et gypse.

3-4 Autres occupations temporaires

Elles concernent le passage de lignes électriques, dépôts d'explosifs, ouverture des pistes, etc. Le nombre de ces occupations temporaires est de 155. Elles occupant une superficie de 317ha avec une longueur de 612 km.

Grosso modo, l'évolution spatiale du Grand Agadir s'est faite dans le sens d'une pé-riurbanisation ayant entraîné la disparition des forêts d'arganier et l'occupation des terres agricoles qui la ceinturent, En 20 ans, cette zone a perdu jusqu'au quart de leur surface agricole utile. L'arganeraie régionale se contracte et perd en densité devant le front d'urbanisation et l'extension de l'agriculture spéculative [7]. Cette urbanisation est de-venue de plus en plus préoccupante et elle est fortement accélérée ces dix dernières années à tel point que le phénomène touche, quoiqu'indifféremment, l'ensemble du territoire y compris les forêts et les

6 DREF-SO, 2006, Étude d'aménagement par identification d'impact des mises en culture sur la forêt d'arganier, pp 96 - 113.

7 Mohamed Ben Attou, 2014, Agadir et ses espaces ruraux sous influence urbaine : stratégies d'acteurs et nouveaux lieux mondialisés, Cahiers de géographie du Québec, Volume 58, numéro 163, 102.

espaces naturels. Il s'agit pour une grande part d'habitations, parmi lesquelles les quartiers d'habitat non réglementaire, d'infrastructure (nouvelles routes, giratoire…), mais aussi et surtout de zones d'activités (zones indus-trielles, station touristique …). Chaque jour, cette urbanisation sauvage gagne un peu plus sur la forêt d'arganier, transformant ainsi des arbres d'arganier en construction de biton-armé.

De façon générale, le lancement de grands périmètres irrigués modernes, le rythme accéléré de l'urbanisation, le développement de l'industrie touristique et les flux des investissements des autres secteurs d'économie, tous ces facteurs ont participé à la création d'une demande accrue en capital foncier dans cette zone. Ces évolutions associées à un régime foncier très compliqué, ainsi que les statuts fonciers des terres collectives, y compris le Guich et des terrains Habous, ne favorisent pas l'investissement et l'attachement des populations exploitantes à la conservation des sols. De même il règne souvent une confusion entre les limites du domaine forestier et celles des terres collectives et le domaine privé de l'Etat ou des collectivités locales. Le chevauchement des compé-tences entre les administrations publiques rend encore plus complexes les actions d'aménagement à grande échelle.

La carte suivante montre les différentes occupations du sol au niveau du Grand Agadir, et le poids de l'urbanisation et de l'agriculture moderne en matière de superficie dans la zone étudiée.

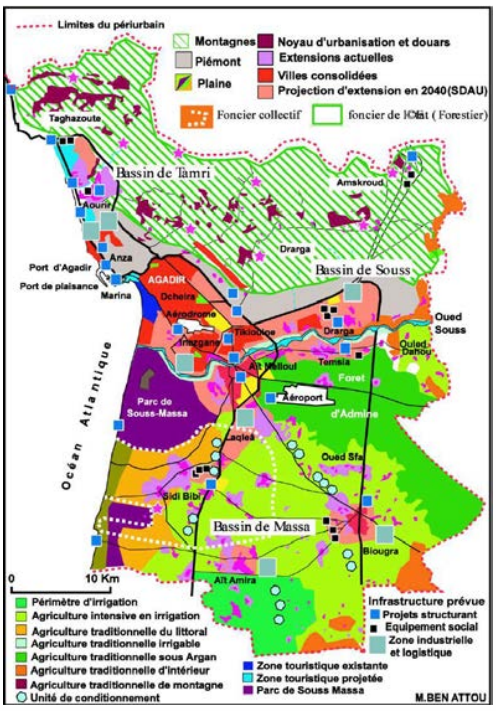


Figure 2 : L'urbanisation et l'agriculture dans l'agglomération du Grand Agadir

Source : Revue Espaces Géographique et Société Marocaine n° 18 – 2017 ; Mohamed BEN ATTOU ; p21

CONCLUSIONS

L'analyse des impacts négatifs générés par l'exploitation irrationnelle des ressources naturelles permet de conclure que tout système de production ou projet de développe-ment ne respectant pas le principe de maintien de l'équilibre permanent des facteurs de son milieu (eau, sol, végétation …) ne pourra pas être durable. Ainsi, l'urbanisation de l'agglomération du Grand Agadir au détriment de l'espace forestier de la plaine, en plus du développement de l'agriculture moderne, ont engendré des conséquences intolé-rables :

- La dégradation exaspérée des espaces forestiers couverts par une arganeraie de valeur inestimable et irremplaçable qui a marqué depuis des siècles le paysage et la culture de nombreuses générations de la région et qui a pu prospérer pendant des millénaires dans un milieu où les conditions climatiques sont sévères et marquées par des précipitations annuelles inférieures à 200 mm.

- L'abandon des terres, en particulier celles qui étaient couvertes par des peuplements d'arganier, à la suite de l'épuisement et de la dégradation de la structure de leurs sols, se traduit dans certains endroits, le phénomène d'ensablement.

- Le rabattement du niveau piézométrique de 1 à 3m/an des nappes de Souss et de Chtouka laissant constater un déficit hydrique annuel important estimé à 260 millions de m^3.

- L'augmentation et la prolifération rapide de la densité de la population (> 260 habi-tants/km^2) sans avoir pris à l'avance, dans le cadre d'une planification bien étudiée, les mesures nécessaires pour assurer le développement des villes et des centres urbains selon les normes urbaines admises. Beaucoup d'habitats à constructions clandestines se sont développés sans disposer des équipements nécessaires.

En somme, à travers cette brève analyse, il parait évident que seuls les projets conçus sur des bases durables intégrant les facteurs d'environnement peuvent réussir et durer très longtemps.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agence du Bassin Hydraulique du Souss-Massa, Étude de révision du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE) des bassins du Souss Massa, 2006, rapport de synthèse ;

2.Direction Régionale des Eaux et Forêts, 2006, « Étude d'aménagement par identification d'impact des mises en culture sur la forêt d'arganier » ;

3. Mohamed BEN ATTOU, 2017, Les mutations récentes d'un espace rural dans une zone urbaine de

métropolite émergente (Grand-Agadir et le Souss) : cas de l'agriculture périurbaine, Revue Espaces Géographiques et Société Marocaine n° 18 – 2017

4. Mohamed Ben Attou, 2014, Agadir et ses espaces ruraux sous influence urbaine : stratégies d'acteurs et nouveaux lieux mondialisés, Cahiers de géographie du Québec, Volume 58, numéro 163,

5. Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de l´agglomération du Grand Agadir 2015-2040, « Analyse territoriale, enjeux et leviers, l'analyse environnementale »,

6. Rapport de synthèse du centre national de la recherche forestier CNRF, 2006.

Détermination de l'empreinte carbone de l'huile d'argane : le cas des coopératives et des entreprises du sud marocain

Oussama BAYSSI[1,3,4*], Mustapha NAÏMI[1],Mohamed SABIR[2], Mohamed CHIKHAOUI[1], Jamal HALLAM[3] .

[1] *Institut Agronomique et Véterinaire Hassan II. Madinat El Irfane, Avenue Allal El Fassi. BP : 6202 - Rabat – 10000 Maroc ;*

[2] *Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. BP 511 Tabriquet. Salé – Maroc ;*

[3] *Centre Régional de Recherche Agronomique Agadir B.P. 124, Av. des forces armées royales, Inzegane- Maroc*

[4] *Institut de Recherche en Energie Solaire et Nouvelles Energies « IRESEN ». 16, Avenue S.A.R Sidi Mohamed Rabat- Maroc*

[*] *o.bayssi@iav.ac.ma*

RÉSUMÉ

L'Arganier, aussi connu sous le nom de « *Argania spinosa* », joue un rôle essentiel dans la promotion de la durabilité environnementale en augmentant le stockage du carbone dans la biomasse et le sol. Cependant, il existe un manque de recherche sur la dynamique du carbone des forêts d'Arganiers au Maroc et de leurs produits, notamment l'huile d'Argane. Pour combler cette lacune, une étude examine l'empreinte carbone de la production d'huile d'Argane dans la réserve de biosphère de l'Arganier, dans le sud du Maroc. L'étude évalue 10 entreprises et 16 coopératives impliquées dans la production, en collectant les données via entretiens sur place et en utilisant l'outil "Bilan Carbone" pour calculer les émissions selon trois scénarios. Les résultats mettent en évidence l'impact significatif de la consommation d'électricité sur l'empreinte carbone, avec des possibilités de réduction grâce à des pratiques durables telles que l'utilisation de l'électricité photovoltaïque et la production de gaz synthétique à partir des sous-produits de l'Arganier. Il est recommandé de réduire la consommation d'électricité et de butane et d'adopter des pratiques durables afin de réduire l'empreinte carbone de 92,19% sur une période de 30 ans. Ces résultats offrent un aperçu de l'impact environnemental de la production d'huile d'Argane et proposent des pistes pour une amélioration durable de l'industrie.

Mots clés
Empreinte carbone, industrie de l'argane, huile d'argane, réserve de biosphère de l'arganier

ABSTRACT

Determining the carbon footprint of argan oil: the case of cooperatives and companies in southern Morocco

By increasing carbon storage in biomass and soil, the Argan tree, also known as *Argania spinosa*, plays a crucial role in promoting environmental sustainability. Nonetheless, little is known about the carbon dynamics of Morocco's argan forests and the goods that come from them, especially argan oil. To close this gap, a study is looking into the carbon footprint of producing argan oil in the southern Moroccan Argan Biosphere Reserve. The study evaluates 16 cooperatives and 10 companies that are involved in production. Data is gathered through in-person interviews, and emissions are computed based on three different scenarios using the "Bilan Car-bone" tool. The findings show how much elec-tricity use contributes to carbon emissions, although there are ways to lessen this impact by implementing sustainable practices like using photovoltaic electricity and creating synthetic gas from the Argan tree's byproducts. Over 30 years, cutting back on butane and electricity consumption as well as implementing sustainable practices can reduce the carbon footprint by 92.19 %. These findings offer a summary of how the production of argan oil affects the environment and offer recommendations for how to develop the sector sustainably.

Keywords
Carbon footprint, Argan Industry, Argan oil, Argan biosphere reserve

INTRODUCTION

Le changement climatique, un défi environnemental important, résulte des activités humaines et a un impact négatif sur les ressources naturelles, les écosystèmes, la santé humaine et les systèmes sociétaux [1]. Les émissions de gaz à effet de serre ont entraîné un réchauffement de la planète, avec une augmentation des températures de 1,1 °C par rapport aux niveaux préindustriels [2]. Entre 2010 et 2019, les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté, en raison d'une utilisation non durable de l'énergie, du changement d'affectation des terres, des modes de consommation et des pratiques de production [3]. Le changement climatique induit par l'homme exacerbe les phénomènes météorologiques extrêmes, affectant la sécurité alimentaire et hydrique, le bien-être humain, les économies et les écosystèmes à l'échelle mondiale. Les communautés vulnérables, bien qu'elles aient peu contribué au changement climatique par le passé, en subissent les conséquences de manière disproportionnée [4].

Argania spinosa, originaire du sud-ouest du Maroc, revêt une importance socio-économique, en particulier pour la population Amazigh. L'huile d'argane, dérivée de ses fruits, est très appréciée pour sa richesse nutritionnelle et sa saveur. Elle est utilisée dans les applications culinaires et les plats traditionnels comme l'Amlou. L'huile d'argane est un produit commercialisé dans le monde entier, avec des exportations importantes destinées aux marchés locaux et internationaux, contribuant ainsi à l'économie du Maroc. La durabilité de l'industrie agroalimentaire, y compris la production d'huile d'argane, est cruciale pour la viabilité à long terme [5]–[7].

L'empreinte carbone est essentielle pour évaluer l'impact environnemental des activités agricoles, y compris la production d'huile d'argane [8]. Alors que de nombreuses études ont examiné l'empreinte carbone des produits agricoles, il y a un manque de recherche spécifique sur l'huile d'argane par rapport à autres huiles comme l'huile d'olive [9]–[11]. Avec la mise en œuvre du mécanisme de compensation carbone par l'Union Européenne, les exportateurs d'huiles marocaines doivent calculer leur empreinte carbone. Cependant, les données sur la séquestration du carbone et les émissions liées à l'écosystème de la forêt d'argane sont rares. Reconnaissant l'importance de traiter les émissions de carbone dans la chaîne de valeur de l'arganier, cette étude vise à évaluer et à réduire son empreinte carbone. Des enquêtes ont été menées auprès des coopératives et des entreprises impliquées dans la production d'huile d'argane afin d'identifier les principales sources d'émissions et de développer des stratégies d'atténuation. Ce travail vise à déterminer l'empreinte carbone de l'huile d'argane et à mettre en œuvre des mesures d'optimisation et de réduction.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude et collecte des données

La réserve de biosphère de l'arganier (RBA) est un trait distinctif du Maroc, reconnu comme la première réserve de biosphère du pays par l'UNESCO en 1988. S'étendant sur plus de 2,4 millions d'hectares, elle est centrée sur l'arganier, une espèce indigène exclusive au Maroc. La réserve a une valeur biogéographique importante et constitue une caractéristique cruciale de la région. Situées principalement dans la région sud-ouest du Maroc, les forêts d'arganiers agissent comme une barrière contre la désertification, offrant divers produits et applications vitaux pour les activités socio-économiques locales. Nous avons procédé à un échantillonnage stratifié pour enquêter sur les entités industrielles du secteur de l'arganier. Les informations sur le nombre et la localisation des coopératives et des entreprises dans la réserve de biosphère de l'arganier ont été obtenues auprès de la Fédération marocaine de l'arganier (FIFARGANE) et de l'Agence nationale pour le développement des zones oasiennes et de l'arganier (ANDZOA). Dans un premier temps, nous avons opté pour une enquête auprès de 10% des structures de chaque catégorie de chaque écorégion en raison de contraintes logistiques. Chose qui nous a donné 16 coopératives et 10 entreprises (tableau 1). Pour garantir des calculs complets, nous avons créé des questionnaires détaillés couvrant l'ensemble du processus de production de l'huile d'argane, de la récolte des fruits à la distribution de l'huile. Ces questionnaires recueillent des informations spécifiques telles que les quantités de fruits traités, les distances de transport, la consommation d'électricité et de gaz butane pendant le traitement, les détails du transport du personnel, l'approvisionnement en matériaux d'emballage et l'utilisation d'équipements organisationnels. Le flux de distribution de l'huile est également documenté. L'administration de ces questionnaires a eu lieu sur place en collaboration avec des représentants des organisations étudiées.

Tableau 1: Liste des entreprises et coopératives examinées impliquées dans l'évaluation de l'empreinte carbone de l'huile d'argane

Type d'organisation	Code	Eco-région	Ville	Nature de process	Production annuelle d'huile (L)
Coopératives	C1	Atlas du nord-est de l'Atlantique supérieur	Essaouira	Traditionnel	3 600
	C2	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Tiznit	Traditionnel	1 440
	C3	Anti-Atlas occidental II	Taroudant	Traditionnel	1 000
	C4	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Agadir	Mécanique	20 710
	C5	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Ait Baha	Mécanique	43 600
	C6	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Tiznit	Traditionnel	2 142
	C7	Zone de steppe saharienne	Guelmim	Traditionnel	305
	C8	Anti-Atlas occidental I	Sidi Ifni	Mécanique	15 260
	C9	Atlas du nord-est de l'Atlantique supérieur	Essaouira	Traditionnel	5 450
	C10	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Tiznit	Traditionnel	2 695
	C11	Anti-Atlas occidental II	Taroudant	Mécanique	13 080
	C12	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Ait Baha	Traditionnel	1 526
	C13	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Agadir	Traditionnel	704
	C14	Atlas du nord-est de l'Atlantique supérieur	Essaouira	Traditionnel	2 725
	C15	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Tiznit	Traditionnel	1 113
	C16	Anti-Atlas occidental II	Taroudant	Traditionnel	1 000
Entreprises	E1	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Agadir	Mécanique	40 000
	E2	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Agadir	Mécanique	12 000
	E3	Atlas du nord-est de l'Atlantique supérieur	Essaouira	Mécanique	21 800
	E4	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Inzegane	Mécanique	81 750
	E5	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Inzegane	Mécanique	1 200
	E6	Anti-Atlas occidental II	Taroudant	Mécanique	5 450
	E7	Anti-Atlas occidental II	Taroudant	Mécanique	54 500
	E8	Atlas du nord-est de l'Atlantique supérieur	Essaouira	Mécanique	10 900
	E9	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Agadir	Mécanique	20 710
	E10	Bassins versants du Souss Massa et du Tiznit	Inzegane	Mécanique	38 150

2.2. Outil de calcul

La Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement (FM6E) a développé un outil conforme à la norme ISO 14069 et aux protocoles relatifs aux gaz à effet de serre pour quantifier les émissions. L'outil utilise une base de données de 300 facteurs d'émission, dont 100 spécifiques au Maroc, dérivés de sources internationales telles que «IPCC AR6 » et « Base Carbone®. » Les facteurs d'émission convertissent les données d'activité en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone (tCO2eq) pour quantifier l'impact sur le climat. S'appuyant sur une étude de 2013, l'outil a été mis à jour en collectant des données récentes et en affinant les facteurs d'émission pour le contexte marocain, afin d'en garantir l'exactitude. La mise à jour a nécessité des recherches approfondies et une approche participative menée par FM6E, avec des parties prenantes contribuant au comité de surveillance. L'Association pour la Transition Bas Carbone Française (ABC) accompagne le maître d'ouvrage et veille au respect de la méthodologie « Bilan Carbone® » [12].

2.3. Unité fonctionnelle et scopes des émissions

Pour notre étude, nous avons choisi le litre d'huile d'argane comme unité fonctionnelle, reflétant son utilisation courante dans la production, le commerce et la consommation au Maroc. Bien que certaines entreprises préfèrent l'unité tonne, l'unité litre est plus largement utilisée par les coopératives. Cette unité standard permet une analyse plus facile de l'empreinte carbone, facilitant les comparaisons avec d'autres huiles et améliorant l'accessibilité pour les parties prenantes. La mesure des émissions de CO2 s'est concentrée sur l'ensemble du processus de production, de la récolte des fruits à la distribution de l'huile, selon le principe "du berceau à la tombe" de l'analyse du cycle de vie. Cette approche englobe toutes les étapes, depuis l'extraction des matériaux jusqu'au retour sur l'environnement [13], [14]. L'outil prend en compte les émissions dans trois catégories : scope 1, scope 2 et scope 3. Les émissions du scope 1, ou émissions directes, proviennent d'activités possédées ou contrôlées par l'organisation, telles que la combustion dans les chaudières, les fours et les véhicules, ainsi que les émissions provenant de la production de produits

chimiques. Les émissions du scope 2, ou émissions indirectes, résultent de la consommation d'électricité, de chaleur, de vapeur et de froid achetés, provenant de sources qui ne sont pas détenues ou contrôlées par l'organisation. Les émissions du scope 3, également indirectes, résultent des actions de l'organisation sur des sources qui ne lui ne sont pas détenues ou contrôlées par l'organisation et qui ne sont pas classées comme des émissions du scope 2. Parmi les exemples d'émissions du champ d'application 3, on peut citer les déplacements professionnels qui ne sont pas détenus ou contrôlés par l'organisation, l'élimination des déchets, les matériaux achetés ou les carburants qui ne sont pas détenus ou contrôlés par l'organisation [15].

RÉSULTATS

Les données recueillies dans toutes les enquêtes ont été utilisées pour obtenir divers résultats et faire avancer les discussions. L'empreinte carbone de l'huile d'argane produite par les entreprises et les coopératives a été évaluée selon trois scénarios distincts. Le premier scénario comprenait trois scopes d'émission y compris les émissions causées par les activités d'exportation. Le deuxième scénario conservait les trois scopes mais éliminait la part des exportations, tandis que le troisième scénario n'incluait que les scopes 1 et 2. Comme indiqué dans la section sur la méthodologie, les émissions ont été classées en émissions directes (scope 1) et en émissions indirectes liées à l'énergie (scope 2). En examinant l'empreinte carbone de l'huile d'argane dans ces trois situations différentes, nous avons cherché à comprendre son impact environnemental.

3.1. Rôle d'export et impact du scope 3

Si l'on considère les exportations, les entreprises ont une empreinte carbone plus élevée pour la production de pétrole que les coopératives (10,12 ± 4,65 kg CO2 eq.l-1 contre 8,49 ± 4,15 kg CO2 eq.l-1 respectivement). Toutefois, si l'on exclut les exportations, les coopératives affichent une empreinte carbone plus élevée que les entreprises (6,13 ± 4,49 kg CO2 eq.l-1 contre 3,67 ± 2,86 kg CO2 eq.l-1 respectivement). Cette différence est attribuée au fait que les entreprises s'appuient davantage sur les marchés mondiaux, tandis que les coopératives servent principalement les marchés locaux. La mise en œuvre de méthodes d'exportation plus écologiques ou la concentration sur la consommation locale pourraient réduire considérablement l'empreinte carbone, d'environ 64 % pour les entreprises et 28 % pour les coopératives.

Le troisième scénario examiné dans notre analyse des résultats de l'empreinte carbone était l'exclusion des émissions du scope 3. Dans ce scénario, l'empreinte carbone a diminué de manière significative (figure 1). Au niveau de l'entreprise, l'empreinte carbone moyenne est tombée à 1,27 ± 0,78 kg CO2 eq.l-1, en supposant que les producteurs de pétrole sont des exportateurs. Cela représente une réduction de 87 % par rapport au premier scénario et de 65 % par rapport au deuxième scénario. Pour les coopératives, l'empreinte carbone moyenne est passée à 2,82 ± 2,52 kg CO2 eq.l-1, soit 67 % de moins que dans le premier scénario et 54 % de moins que dans le deuxième scénario.

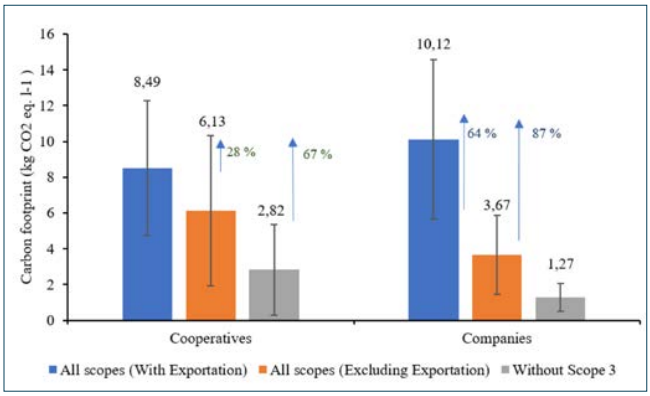


Figure 1: Valeurs moyennes de l'empreinte carbone (kg CO2 eq.l-1) pour l'huile d'argane produite par les coopératives et les entreprises. Cette étude a évalué l'empreinte carbone des coopératives et des entreprises produisant de l'huile d'argane en utilisant trois scénarios différents

3.2. Coopératives Vs Entreprises

Des analyses de corrélation et de régression (tableau 2 et 3) ont été menées pour les entreprises et les coopératives dans trois scénarios. Pour les coopératives, les facteurs du scope 1, notamment la consommation de butane et d'électricité, ainsi que les exportations, ont influencé de manière significative les émissions de carbone. Des relations positives fortes ont été trouvées entre les émissions et la consommation de butane (r = 0,78) et la consommation d'électricité (r = 0,56). Une augmentation de 1 kg eq CO2 de la consommation de butane a entraîné une augmentation de 111,04 kg eq CO2 des émissions totales, tandis que la même augmentation de la consommation d'électricité a entraîné une augmentation de 21,18 kg eq CO2. Dans le premier scénario, les exportations étaient étroitement liées aux émissions totales (r = 0,99), une augmentation de 1 kg eq CO2 des exportations entraînant une augmentation de 1,28 kg eq CO2 des émissions totales. Dans le deuxième scénario, les pertes d'exportations ont conservé l'influence de la consommation d'électricité (r = 0,66), une augmentation de 1 kg eq CO2 entraînant une augmentation de 5,09 kg eq CO2 des émissions. L'alimentation animale (r=0,91) et le transport (r=0,78) augmentent également les émissions. Dans le troisième scénario, la consommation de butane et d'électricité a augmenté les émissions totales de 4,6 kg eq CO2 et de 1,08 kg eq CO2, respectivement.

Pour les entreprises, les exportations ont un impact

significatif (r = 0,95), une augmentation des émissions de 1 kg d'équivalent CO2 se traduisant par une augmentation globale de 1,06 kg d'équivalent CO2. La consommation de diesel a également eu un impact significatif sur les émissions. Dans le deuxième scénario, l'augmentation des émissions dues à la consommation d'électricité (r = 0,71) pourrait entraîner une augmentation de 1,33 kg des émissions totales d'équivalent CO2. Les achats (r= 0,71) et le transport (r= 0,78) ont également eu une influence. Dans le troisième scénario, la consommation de butane et d'électricité pourrait augmenter les émissions totales d'équivalent CO2 de 41,56 kg et de 0,95 kg, respectivement.

Tableau 2 : Aperçu tabulé des résultats de l'analyse de corrélation, y compris des valeurs p de 0,1, entre les émissions de carbone provenant de sources individuelles et les émissions de carbone globales dans trois situations distinctes.

Scope d'émission	Source d'émission	Scenario					
		Scenario 1 (Scope 1, 2 & 3 + Exportation)		Scenario 2 (Scope 1, 2 & 3 – Exportation)		Scenario 3 (Scope 1 & 2)	
		Entreprises	Coopératives	Entreprises	Coopératives	Entreprises	Coopératives
Scope 1	Diesel	0.76 (0.007)	-0.07	0.41	0.21	0.37	0.1
	Butane	0.16	0.78 (7.12 E -05)	0.42	-0.02	0.76 (0.005)	0.69 (0.002)
Scope 2	Electricité	0.51	0.56	0.71 (0.01)	0.66 (0.004)	0.88 (2 E-04)	0.97 (0.03)
Scope 3	Déchets carton	-0.28	0.29	-0.15	0.41	-	-
	Alimentation animale	0.46	0.73 (6 E-04)	0.42	0.91 (1.1 E-07)	-	-
	Achats	-0.02	0.69 (0.002)	0.71 (0.02)	0.84 (1.2 E-05)	-	-
	Immobilisations	0.22	0.53	0.35	0.68 (0.007)	-	-
	Transport	0.16	0.64 (0.008)	0.73 (0.009)	0.78 (1 E-04)	-	-
	Matériel	0.26	0.88 (3.1 E-07)	0.65 (0.03)	0.68 (0.02)		
	Déchets Plastique	-0.01	0.49	0.35	0.73 (0.0004)	-	-
	Exportation	0.95 (6.6 E-06)	0.99	-	-	-	-

Tableau 3 : Aperçu sous forme de tableau des résultats de l'analyse de régression linéaire, avec un niveau de signification fixé à une valeur p de 0,1, illustrant la relation entre les émissions de carbone provenant de sources individuelles et les émissions de carbone totales dans trois situations différentes

Scope d'émission	Source d'émission	Scénario											
		Scénario 1 (Scope 1, 2 & 3 + Exportation)				Scénario 2 (Scope 1, 2 & 3 – Exportation)				Scénario 3 (Scope 1 & 2)			
		Entreprises		Coopératives		Entreprises		Coopératives		Entreprises		Coopératives	
		Constante	Coefficient de régression	Constante	Coefficient de régression	Constante	Coefficient de régression	Constante	Coefficient de régression	Constante	Coefficient de régression	Constante	Coefficient de régression
Scope 1	Diesel	62 895.43	24.73	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif	
	Butane	Non-significatif		-25 517.8	111.04	Non-significatif		Non-significatif		11 452.21	41.6	2 994.24	4.6
Scope 2	Electricité	Non-significatif		-54 914.19	21.18	40 481.66	1.33	-7 189.88	5.09	9 148.27	0.95	690.05	1.08
Scope 3	Déchets carton	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		-	-	-	-
	Alimentation animale	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		5 581.54	3.98	-	-	-	-
	Achats	Non-significatif		Non-significatif		28 128.48	3.04	Non-significatif		-	-	-	-
	Immobilisations	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		-	-	-	-
	Transport	Non-significatif		Non-significatif		36 688.61	4.75	10 048	7.93	-	-	-	-
	Matériel	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		-	-	-	-
	Déchets plastique	Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		Non-significatif		-	-	-	-
	Exportation	52 677	1.06	9 251.69	1.28	-	-	-	-	-	-	-	-

DISCUSSION

L'analyse de la comptabilité carbone pour la production d'huile d'argane dans le sud du Maroc met en évidence plusieurs observations clés. Tout d'abord, indépendamment de l'influence des exportations, les émissions de carbone de l'huile produite par les coopératives restent particulièrement élevées par rapport aux niveaux de production existants, ce qui suggère la nécessité d'une amélioration. Deuxièmement, la consommation d'électricité apparaît comme un point crucial d'attention et d'atténuation, car elle constitue une part importante des émissions pour les entreprises et les coopératives. Les stratégies d'atténuation, telles que l'utilisation de panneaux photovoltaïques pour l'électricité, représentent une alternative prometteuse, étant donné les ressources solaires substantielles disponibles dans la zone de la réserve de biosphère de l'arganier. En remplaçant l'électricité conventionnelle par des panneaux photovoltaïques, il est possible d'obtenir une réduction significative des émissions attribuées à la consommation d'électricité, ce qui pourrait rendre les émissions liées à la consommation d'électricité presque négligeables sur une période de 30 ans (figure 2). En outre, l'utilisation de sous-produits de l'arganier, tels que les tourteaux, pour nourrir les chèvres grâce à la pyrolyse constitue un autre moyen de réduire l'empreinte carbone. La pyrolyse donne des produits bénéfiques comme le biochar, qui améliore la fertilité des sols et réduit les émissions agricoles. En outre, le remplacement du butane par du gaz de synthèse issu de la pyrolyse peut également réduire de manière significative les émissions de carbone. Dans l'ensemble, l'adoption de pratiques durables dans les domaines de la construction, du transport et de l'exportation, associée à des stratégies d'atténuation innovantes, est prometteuse pour réduire efficacement l'empreinte carbone de la production d'huile d'argan (figure 3).

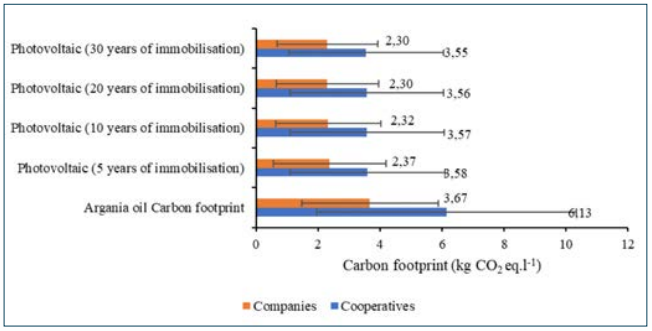


Figure 2 : Répercussions à moyen et long terme du remplacement de l'électricité conventionnelle par le photovoltaïque sur l'empreinte carbone moyenne des entreprises et des coopératives, notamment dans la deuxième situation, en tenant compte des délais d'immobililisation

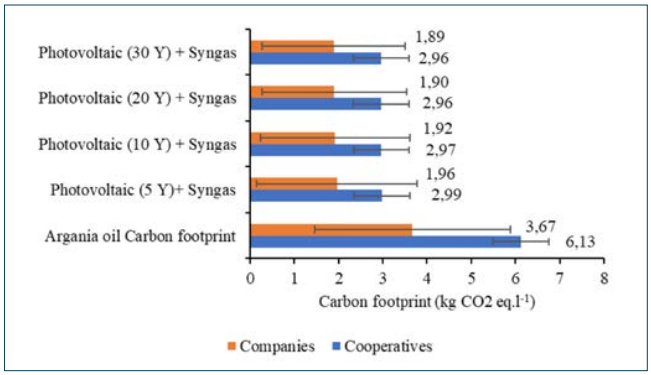


Figure 3 : Répercussions à moyen et long terme du remplacement de l'électricité conventionnelle par le photovoltaïque et l'utilisation du gaz de synthèse issu des sous-produits de l'arganier sur l'empreinte carbone moyenne des entreprises et des coopératives, not amment dans la deuxième situation, en tenant compte des années nécessaires pour le retour sur investissement (Y)

CONCLUSIONS

Cette étude examine les émissions de carbone liées à la production d'huile d'argane dans le sud du Maroc par des coopératives et des entreprises, en évaluant trois scénarios pour les niveaux d'empreinte carbone. Les coopératives peuvent réduire leur empreinte carbone en améliorant l'efficacité de la production et en diminuant la consommation d'intrants. L'inclusion des exportations augmente considérablement l'empreinte carbone, notamment en raison de la consommation d'électricité et de butane. Les recherches futures devraient explorer davantage des stratégies d'atténuation telles que l'utilisation d'électricité photovoltaïque et la valorisation des sous-produits.

Remerciements : Cette recherche a été menée dans le cadre du Projet marocain de mise en œuvre de la recherche sur l'arganier, qui a été réalisé dans le cadre du Projet de développement de l'arganiculture dans les zones vulnérables, connu sous le nom de "DARED", avec un financement fourni par le Fonds vert pour le climat (GCF). Cette étude a également été soutenue par l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA). Abderrahmane Ait Lhaj et Noureddine Ibnezzyn, ainsi que leurs équipes dévouées, sont activement impliqués : l'Institut national de la recherche agricole du Maroc et l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II du Maroc. Nous tenons à remercier la Fédération interprofessionnelle de la filière de l'arganier (FIFARGANE) pour son aide dans l'accès et l'utilisation de la base de données des acteurs de la filière de l'arganier et pour avoir facilité les premiers contacts. Nous remercions Mme Nasma JRONDI, experte à la Fondation Mohammed VI pour la Protection de l'Environnement, M. Driss ZAKARYA, expert en décarbonatation, et M. Noureddine HAJJAJI, expert en décarbonatation et analyse du cycle de vie, pour leurs contributions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] M. A. Lima et al., "Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil," Environ. Dev., vol. 33, no. December 2019, p. 100504, 2020, doi: 10.1016/j.envdev.2020.100504.

[2] H.-O. Pörtner et al., "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability," 2022. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/factsheets/%0Ahttps://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/about/factsheets

[3] V. García-Leoz et al., "Land cover effects on water balance partitioning in the Colombian Andes: improved water availability in early stages of natural vegetation recovery," Reg. Environ. Chang., vol. 18, no. 4, pp. 1117–1129, 2018, doi: 10.1007/s10113-017-1249-7.

[4] IPCC, "Synthesis Report of the Ipcc Sixth Assessment Report (Ar6)," no. 2, pp. 2–5, 2023, [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=PT%0Ahttp://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012PC0011:pt:NOT

[5] D. Guillaume and Z. Charrouf, "Argan oil for nutritional and skin care applications," Agro Food Ind. Hi Tech, vol. 24, pp. 28–30, 2013.

[6] Z. Charrouf and D. Guillaume, "Argan oil, the 35-years-of-research product," Eur. J. Lipid Sci. Technol., vol. 116, no. 10, pp. 1316–1321, 2014, doi: 10.1002/ejlt.201400261.

[7] S. Gharby and Z. Charrouf, "Argan Oil: Chemical Composition, Extraction Process, and Quality Control," Front. Nutr., vol. 8, no. February, pp. 1–10, 2022, doi: 10.3389/fnut.2021.804587.

[8] J. Weinheimer, "Carbon Footprint: A New Farm Management Consideration in the Southern High Plains," 2010.

[9] S. Rinaldi, M. Barbanera, and E. Lascaro, "Assessment of carbon footprint and energy performance of the extra virgin olive oil chain in Umbria, Italy," Sci. Total Environ., vol. 482–483, no. 1, pp. 71–79, 2014, doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.02.104.

[10] L. Fernández-Lobato, R. García-Ruiz, F. Jurado, and D. Vera, "Life cycle assessment, C footprint and carbon balance of virgin olive oils production from traditional and intensive olive groves in southern Spain," J. Environ. Manage., vol. 293, no. February, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112951.

[11] C. Pattara, R. Salomone, and A. Cichelli, "Carbon footprint of extra virgin olive oil: a comparative and driver analysis of different production processes in Centre Italy," J. Clean. Prod., vol. 127, pp. 533–547, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.152.

[12] Mohammed VI Environmental Protection Foundation, "Guide d'élaboration des facteurs d'émissions Juillet 2023 1," 2023.

[13] I. Arzoumanidis, M. D'Eusanio, A. Raggi, and L. Petti, "Functional Unit Definition Criteria in Life Cycle Assessment and Social Life Cycle Assessment: A Discussion," pp. 1–10, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-01508-4_1.

[14] E. Nieuwlaar, Life Cycle Assessment and Energy Systems, no. March. Elsevier Inc., 2013. doi: 10.1016/b978-0-12-409548-9.01334-8.

[15] N. Hill et al., "Government greenhouse gas conversion factors for company reporting: Methodology paper," Dep. Bus. Energy Ind. Strateg., no. July, p. 128, 2021, [Online]. Available: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904215/2019-ghg-conversion-factors-methodology-v01-02.pdf

Économie sociale et solidaire et pratiques éco-responsables : Proposition de cadre conceptuel sur les déterminants de l'engagement éco-responsable

Abdelhamid Benhmade[1*], Laïla Amraoui[2], Chidi Oguamanam[3] , Mohamed Ziyadi[4] .

[1] *Université d'Ottawa, Canada ;*

[2] *Faculté des Langues, des Arts et des Sciences Humaines - Ait Melloul, Université Ibn Zohr, Agadir ;*

[3] *Université d'Ottawa, Canada ;*

[4] *Faculté des Langues, des Arts et des Sciences Humaines - Ait Melloul, Université Ibn Zohr, Agadir ;*

[*] *Abdelhamid.Benhmade@uottawa.ca*

RÉSUMÉ

Théoriquement, l'économie sociale et solidaire propose un modèle développemental alternatif devant permettre de concilier croissance économique, inclusion sociale et soutenabilité. Toutefois, ce postulat suscite jusqu'à aujourd'hui autant de controverses que de polémiques. En pratique, l'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires dépend, non seulement de leurs valeurs, entre autres, démocratiques, mais surtout, d'un ensemble de déterminants individuels, organisationnels et contextuels. Prenant appui sur une littérature située à l'intersection entre l'économie sociale et solidaire, le management responsable et la responsabilité sociétale des organisations. Notre recherche a pour but de proposer un cadre conceptuel conçu à partir de quatre théories ; la théorie entrepreneuriale, l'approche par les ressources, la théorie des parties prenantes et la théorie néoinstitutionnelle. Il en résulte un cadre conceptuel qui identifie les déterminants qui freinent ou qui incitent les organisations sociales et solidaires à adopter des pratiques éco-responsables. Pour que les organisations sociales et solidaires opèrent de manière éco-responsable, il importe d'agir, non seulement sur leur environnement, mais surtout sur leurs spécificités organisationnelles et personnelles. Ainsi, l'originalité conceptuelle de notre recherche repose, non seulement sur un cadre multi-paradigmatique ancré dans plusieurs approches et théories, mais aussi sur les résultats pratiques qu'elle promet dans l'avenir. Ultérieurement, nous appliquerons ce cadre conceptuel au cas des coopératives de l'huile d'argan au Maroc.

Mots clés
Économie sociale et solidaire, management responsable, responsabilité sociétale des organisations.

ABSTRACT

Social and Solidarity Economy and Eco-Responsible Practices : Proposal for a Conceptual Framework on the Determinants of Eco-Responsible Engagement

In theory, the social and solidarity economy proposes an alternative development model that reconciles economic growth, social inclusion and sustainability. However, this assumption continues to generate as much controversy as debate. In practice, the eco-responsible engagement of social and solidarity organizations depends not only on their values - including democratic ones - but also and above all on a number of indi-vidual, organizational and contextual factors. Drawing on the literature at the intersection of social and solidarity economy, responsible manage-ment and corporate social responsibility, our research aims to propose a conceptual framework based on four theories: entrepreneurial theory, resource-based approach, stakeholder theory and neo-

Keywords
Social and Solidarity Economy, Responsible Management, Corporate Social Responsibility

institutional the-ory. The resulting conceptual framework identifies the factors that either hinder or encourage social and solidarity organizations to adopt eco-responsible practices. In order to act in an eco-responsible manner, social and solidarity organizations need to consider not only their en-vironment, but more importantly their organizational and personal characteristics. The conceptual originality of our research therefore lies not only in a multi-paradigmatic framework based on several approaches and theories, but also in the practical results it promises for the future. This conceptual framework will be applied to the case of argan oil cooperatives in Morocco.

INTRODUCTION

L'économie sociale et solidaire plaide pour un développement inclusif et soutenable. Aujourd'hui, elle constitue un espace où, depuis plusieurs décennies, des acteurs travaillent à remettre l'économie au service de l'homme [1]. Toutefois, l'économie sociale et solidaire est source de controverses, les opinions divergent à son propos et elle donne généralement lieu à des remises en question. Ses partisans affirment qu'elle est une alternative pour repenser le secteur privé. Non seulement elle constitue un paradigme économique révolutionnaire pour sortir de la crise capitaliste [2], mais elle offre aussi un cadre conceptuel et pratique favorable pour redéfinir le développement [3]. En pratique, les organisations sociales et solidaires se distinguent par une dualité identitaire qui les oblige à réencastrer l'économique dans le socio-environnemental. Gouil [4] rappelle qu'elles sont naturellement prédisposées à inclure les préoccupations sociétales dans leurs pratiques. À l'opposé de ces auteurs optimistes, d'autres chercheurs portent un regard critique sur l'économie sociale et solidaire et soulignent ses limites tant conceptuelles que pratiques [5]. Bien qu'elles aient pour vocation de viser une performance globale, les organisations sociales et solidaires ont parfois tendance à restructurer leur gestion de manière contradictoire à leurs principes et valeurs fondatrices [6]. Alors qu'elles opèrent dans le même environnement concurrentiel que les entreprises capitalistes, les pressions de marché qu'elles subissent risquent de les obliger à adopter des pratiques opposées aux principes du développement inclusif et soutenable [7]. Vraisemblablement, il y peut y avoir un écart entre le discours des organisations sociales et solidaires et leurs pratiques éco-responsables [8].

Probablement, si l'économie sociale et solidaire suscite autant de débats, c'est parce qu'elle est un champ de recherche relativement peu documenté et qui demeure jusqu'à aujourd'hui sous-théorisé. Bouchard et Richez-battesti [9] arguent que l'économie sociale et solidaire manque d'un corpus conceptuel permettant d'évaluer ses apports et ses limites, et ce, sur la base d'indicateurs concis et précis. Touzard et Vandame [10] distinguent deux catégories d'indicateurs d'évaluation, en l'occurrence, les indicateurs d'engagement et les indicateurs d'impact. D'un côté, les indicateurs d'engagement concernent les déterminants qui freinent ou qui incitent les organisations sociales et solidaires à adopter des pratiques éco-responsables. D'un autre, les indicateurs d'impact renvoient aux contributions réalisées en matière de croissance économique, d'inclusion sociale et de soutenabilité écologique. Ainsi, les organisations sociales et solidaires ne peuvent pas se contenter uniquement d'afficher leurs valeurs, mais sont appelées à démontrer leur rôle éco-responsable par des pratiques évaluables grâce à des indicateurs d'engagement et d'impact [11].

Par le recours à un cadre conceptuel conçu à partir de la théorie entrepreneuriale, de l'approche par les ressources, de la théorie des parties prenantes et de la théorie néoinstitutionnelle, cette recherche se questionne sur le premier groupe d'indicateurs d'évaluation, c'est-à-dire les déterminants d'engagement qui découragent ou qui encouragent les organisations sociales et solidaires à adopter pratiques éco-responsables.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour répondre à notre question de recherche, nous nous sommes limités à ce stade à la méthode de la récession des écrits. Il s'agit d'une méthode adaptée à notre recherche conceptuelle qui se présente comme une phase préparatoire à la recherche empirique que nous réaliserons dans l'avenir sur l'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires, plus particulièrement, l'engagement éco-responsable des coopératives de l'huile d'argan. Théoriquement, la recension des écrits est un processus de recensement des données existantes, un processus censé permettre au chercheur de synthétiser les textes portant sur une question précise. Fortin et ses collègues [12] précisent que la recension des écrits est une méthode que le chercheur peut utiliser à plusieurs moments de sa recherche, aussi bien en amont pour asseoir son cadre conceptuel sur une connaissance approfondie de son sujet de recherche, ou bien en aval pour appuyer la discussion et soutenir les résultats obtenus et les recommandations qu'en résultent. Pour y arriver, le

chercheur peut recourir à plusieurs sortes de recension des écrits, à l'image de la revue narrative, la revue systématique, la méta-analyse et la méta-synthèse [13]. Toutefois, quel que soit la recension adoptée, le chercheur est tenu généralement de passer par un processus de cinq phases : (1) Choisir une question de recherche ; (2) Identifier les bases de données, les critères de sélection et les mots-clés ; (3) Procéder à la recherche des textes à l'aide des bases de données ; (4) regrouper, résumer et synthétiser de manière analytique les écrits ; (5) faire la synthèse des résultats [14].

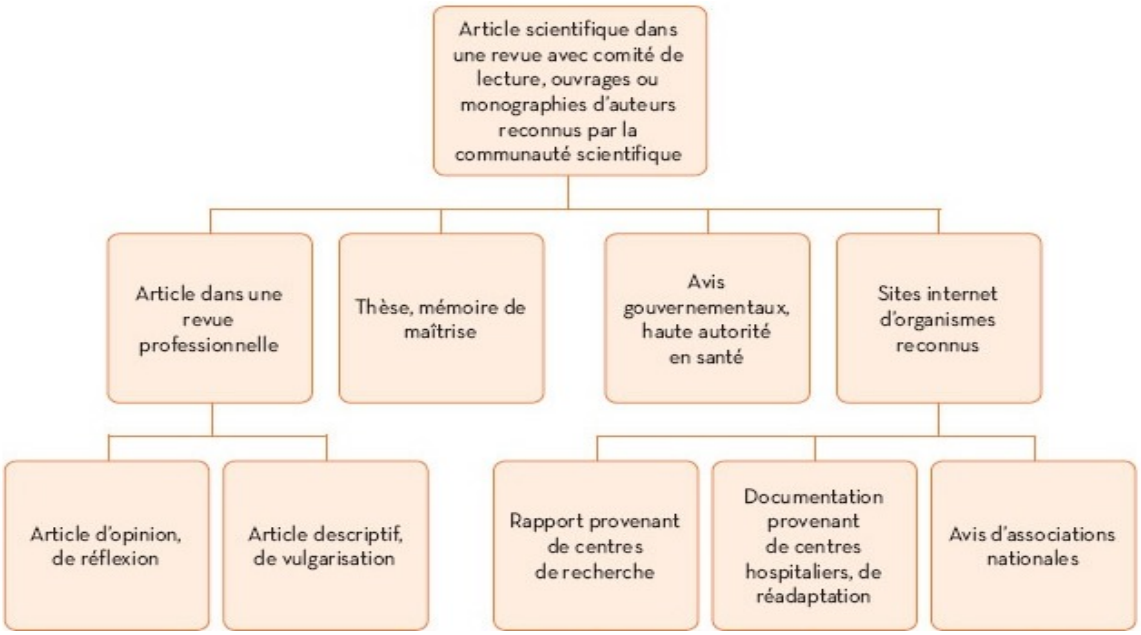


Figure 1 : Principaux documents à consulter lors d'une recension d'écrits

Vu la nature de notre question de recherche, la recension narrative est la plus adaptée pour asseoir notre cadre conceptuel sur une littérature située au carrefour de trois chantiers : l'économie sociale solidaire, le management responsable et la responsabilité sociétale des organisations.

3. Résultats

Prenant appui sur la recension d'une variété d'écrits, il nous semble approprié de proposer un cadre conceptuel dit multi-paradigme.

Pour cela, nous retenons quatre différentes perspectives théoriques : la théorie entrepreneuriale, l'approche par les ressources, la théorie des parties prenantes et la théorie néoinstitutionnelle.

Si notre choix porte sur une approche diversifiée, c'est parce que nous prenons pour établi que l'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires dépend d'un ensemble de déterminant qu'une seule théorie ne suffirait pas à expliquer (Figure 2).

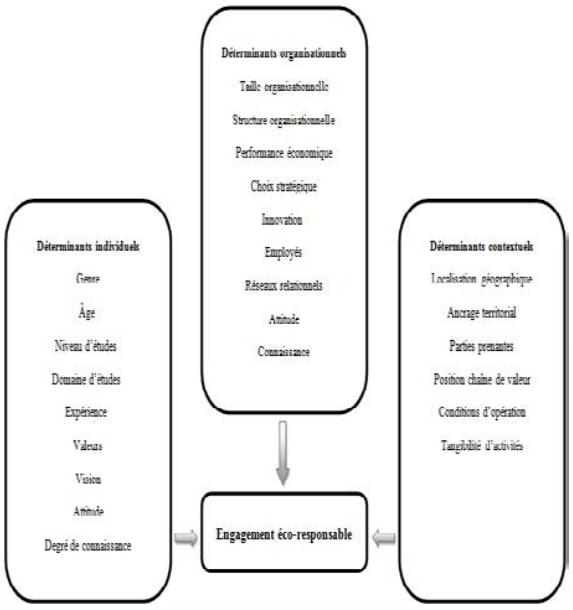


Figure 2 : Les déterminants d'engagement éco-responsable

Source : Auteurs

Bien que les références théoriques retenues se différencient par leurs objectifs et niveaux d'analyse, elles se révèlent complémentaires (Figure 3). Alors que la théorie entrepreneuriale et l'approche par les ressources explorent les déterminants intrinsèques, la théorie des parties prenantes et la théorie néoinstitutionnelle diagnostiquent les déterminants extrinsèques.

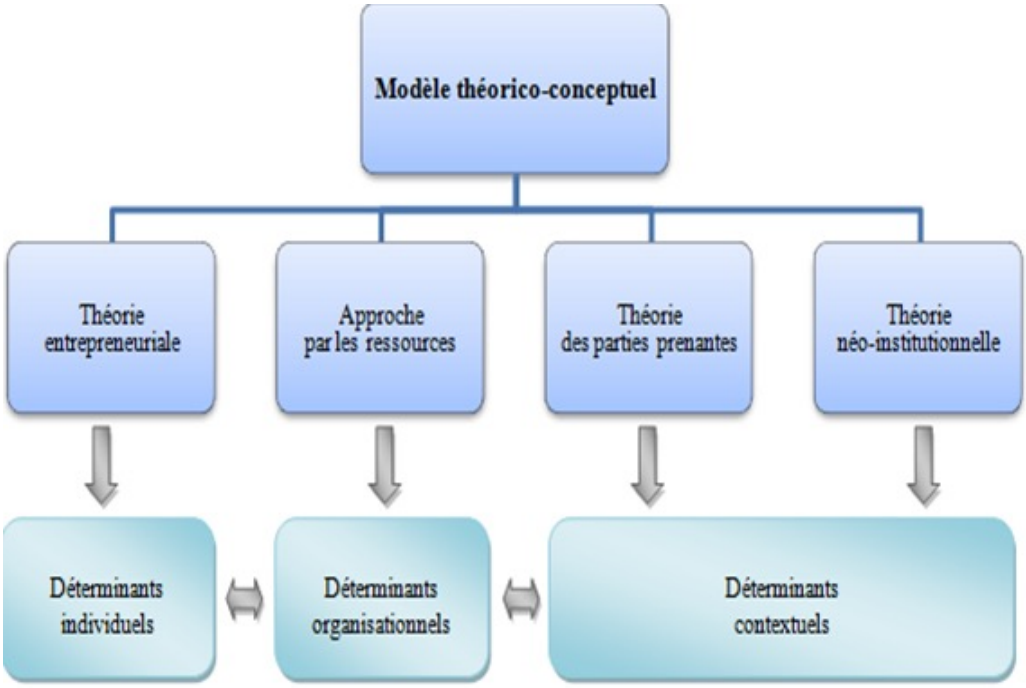


Figure 3 : Proposition de cadre conceptuel sur l'engagement éco-responsable

Source : Auteurs

DISCUSSION

Notre cadre conceptuel repose essentiellement sur onze propositions que nous avons formulées en s'appuyant sur nos différentes lectures. Nous avons retenu la classification de Wood [15] pour distinguer entre trois différents niveaux d'analyse, à savoir le niveau individuel, le niveau organisationnel et le niveau contextuel.

4.1 Propositions formulées au niveau des déterminants individuels

P1 : Les organisations sociales et solidaires et dirigées par des jeunes femmes sont plus enclines à adopter des pratiques éco-responsables que celles fondées par des hommes, quel que soit leur âge.

P2 : Le profil scolaire-universitaire et professionnel des membres et des dirigeants in-fluence l'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires.

P3 : Les organisations sociales et solidaires fondées et gérées par des membres militants pour des causes socio-écologiques, qui ont des connaissances en matière d'engagement éco-responsable, sont naturellement plus enclines à se conformer aux principes d'inclusion et de soutenabilité.

Facteurs individuels	Explication
Genre	Schaper [16] explique que les femmes seraient plus sensibles que les hommes aux enjeux du développement durable. Il appert qu'elles sont prédisposées à adhérer à l'engagement éco-responsable. Riebe [17] mentionné par Carrier et al. [18] note que les femmes seraient davantage favorables à une gestion de type « maternelle » plutôt qu'autoritaire. Mione [19] constate qu'elles seraient également vues comme ayant recours à un style de gestion participatif.
Connaissance	Ben Larbi et al. [20] soulignent que l'engagement éco-responsable dépend du degré de connaissance du dirigeant en matière de développement inclusif et soutenable. Ils estiment que le manque de connaissance et la méconnaissance constituent des freins qui nuisent à l'engagement éco-responsable.
Vision	Labelle et St-Pierre [21] avancent que la vision du dirigeant influence l'engagement éco-responsable. Ici, le terme « vision » inclut les idéaux et les valeurs qui inspirent le dirigeant pour engager son organisation sur la voie du développement inclusif et soutenable.
Attitude	Spence et Rutherfoord [22] distinguent entre le dirigeant « maximaliste » dont l'attitude est axée uniquement sur le profit et le dirigeant « satisfait » qui cherche à concilier entre la croissance économique, l'inclusion sociale et la soutenabilité environnementale.
Niveau d'études	Vives [23] considère que l'éducation et la scolarisation sont deux facteurs qui favorisent la prise en considération des enjeux du développement inclusif et soutenable. Généralement, les enjeux sociaux et écologiques sont traités à des niveaux d'études supérieures.
Domaine d'études	Kuckertz et Wagner [24] précisent que le domaine d'études et le champ de spécialisation ont un impact sur l'engagement éco-responsable. Il apparaît que les étudiants en administration des affaires ont tendance à sous-estimer les enjeux sociaux et écologiques étant donné qu'ils sont sensibilisés davantage aux enjeux économiques et à la performance de l'entreprise.
Expérience	Patzelt et Shepherd [25] notent que l'engagement éco-responsable dépend du niveau d'expérience entrepreneuriale. L'expérience permet au dirigeant de prendre conscience de l'impact économique positif des innovations environnementales. Labelle et al. [26] considèrent que l'expérience du dirigeant joue un rôle déterminant dans la réussite des projets entrepreneuriaux à vocation éco-responsable.

4.2 Propositions formulées au niveau des déterminants organisationnels

P4 : Plus la taille est grande, plus l'organisation est prédisposée à s'engager de manière éco-responsable.

P5 : Les organisations sociales et solidaires, ayant une structure organisationnelle diver-sifiée, ont plus de moyens, de compétences et de réseaux et, par conséquent, sont plus enclines à adhérer à l'engagement éco-responsable.

Facteurs organisationnels	Explication
Taille organisationnelle	Torugsa et al. [27] postulent qu'il existe une corrélation positive entre la taille de l'organisation et l'engagement éco-responsable.
Structure organisationnelle	Touzard et Vandame [28] soulignent qu'une structure organisationnelle hétérogène peut conduire à des problèmes de coordination au sein de l'organisation, ce qui peut être un frein à l'engagement éco-responsable.
Performance économique	Labelle et St-Pierre [29] estiment qu'une forte performance économique permet de dégager des ressources nécessaires à des pratiques éco-responsables. Or, le manque de ressources peut être l'un des principaux obstacles qui nuisent à un engagement éco-responsable.
Choix stratégiques	Touzard et Vandame [30] insistent sur l'importance des choix stratégiques, entre autres, le positionnement stratégique, le choix d'activités et de produits, les alliances, les décisions de répartition du surplus entre investissements productifs, rémunération des adhérents et actions destinées à la protection de l'environnement local.
Innovation	Bos-Brouwers [31] constate que les organisations innovantes ont tendance à adopter des stratégies favorables à l'engagement éco-responsable. Uhlaner et al. [32] notent qu'il existe un lien positif entre l'innovation et l'engagement éco-responsable.
Employés	Spence et al. [33] soulignent que les employés sont un pilier sur lequel repose l'engagement éco-responsable. Plus les employés sont conscients de l'impact positif de l'engagement éco-responsable, plus il sera facile à l'organisation de s'engager dans cette voie.
Réseaux relationnels	Spence et al. [34] mettent en lumière le fait que les réseaux relationnels influencent de manière considérable l'engagement éco-responsable. Il est reconnu que les réseaux relationnels sont une source d'appui et de soutien qui permet à l'organisation de s'engager de matière de développement inclusif et soutenable.

P6 : L'engagement des organisations sociales et solidaires dépend, non seulement de leur performance économique, mais surtout de leurs choix stratégiques. À titre d'exemple, les organisations présentes à l'international sont incitées à se conformer aux certifications IGP et aux labellisations biologiques et commerce équitable.

P7 : Les organisations sociales et solidaires innovantes sont favorables à l'adoption des pratiques éco-responsables.

P8 : Les organisations sociales et solidaires qui disposent d'employés informés et formés en matière de pratiques éco-responsables ont plus enclines à valoriser les questions so-cio-écologiques.

4.3 Propositions formulées au niveau des déterminants contextuels

P9 : Les organisations sociales et solidaires situées dans leur espace territorial sont plus enclines à adhérer à des pratiques éco-responsables que celles situées à l'extérieur. Les premières seraient ancrées dans une réalité géographico-sociale qui les incitent à investir dans les ressources humaines et environnementales qui conditionnent leur légitimité et leur pérennité.

P10 : Les organisations sociales et solidaires se voient tenues de se conformer à une pa-noplie de pressions exercées par leurs différentes parties prenantes. Toutefois, il est fort probable que le pouvoir de ces acteurs n'est pas égal car il dépend de la position de l'organisation dans sa chaîne de valeur par rapport à ses donneurs d'ordre.

P11 : Les organisations sociales et solidaires sont naturellement prédisposées à s'engager de manière éco-responsable, surtout lorsqu'elles opèrent dans un secteur économique sensible aux enjeux d'inclusion et de soutenabilité.

Facteurs contextuels	Explication
Localisation géographique	La localisation géographique est le premier facteur contextuel qui a un impact sur l'engagement éco-responsable. Plus explicitement, Matten et Moon [35] notent que le périmètre territorial et ses différents enjeux peuvent inciter ou freiner l'organisation à s'engager de manière éco-responsable
Implication locale	Blombäck et Wigren [36] précisent que ce n'est pas tant la localisation géographique comme telle qui détermine l'engagement éco-responsable de l'organisation, mais bien le degré d'implication locale de celle-ci. Si l'engagement éco-responsable de l'organisation est influencé par le périmètre territorial, sa traduction en réalité sous forme d'un ensemble de politiques et pratiques dépend du lien de l'entreprise avec ce territoire.
Environnement externe	Spence et al. [37] postulent que l'environnement externe est l'un des principaux déterminants contextuels qui façonne l'engagement éco-responsable. Il est possible de distinguer les parties prenantes qui composent cet environnement, à savoir les clients, les fournisseurs, les concurrents, les partenaires financiers, les bailleurs de fonds et les agences gouvernementales.
Conditions d'opération et Tangibilité des activités	Labelle et St-Pierre [38] observent que le secteur d'activité est l'un des principaux déterminants contextuels d'engagement éco-responsable. Il apparaît que les pressions sociales et écologiques externes diffèrent d'un secteur à l'autre selon les conditions d'opération et la tangibilité des activités. Par exemple, les pressions réglementaires les plus sérieuses sont exercées par les pouvoirs publics sur les organisations qui opèrent dans les secteurs d'activité les plus polluants. En ce sens, plus une activité économique est polluante, plus elle est tangible.
Position chaîne de valeur	Labelle et St-Pierre [39] parlent plus de la position de l'organisation dans l'ensemble de sa chaîne de valeur. En effet, ils expliquent que les liens d'interdépendance peuvent influencer l'entreprise dans son engagement éco-responsable, et ce, en respectant les exigences et les attentes de ses donneurs d'ordre.
Demande	Touzard et Vandame [40] soulignent qu'une demande axée sur la consommation responsable, incite l'organisation à proposer sur le marché une offre conforme aux principes du développement inclusif et soutenable.

4.4 Qu'en est-il de la recherche empirique à mener ultérieurement ?

Ultérieurement, nous appliquerons notre cadre conceptuel aux organisations sociales et solidaires présentes dans le secteur de l'arganier, cas des coopératives de l'huile d'argan au Maroc.

Selon Pumadera et al. [41], les coopératives de l'huile d'argan sont un vecteur de déve-loppement inclusif et soutenable, dans la mesure où elles contribuent à la valorisation des produits de l'arganier aussi bien à l'échelle nationale qu'internationale. Par conséquent, elles génèrent une valeur économique permettant à la population locale, en particulier aux femmes rurales, de s'insérer dans le marché du travail, d'avoir accès à un revenu et de bénéficier des services sociaux (alphabétisation, éducation, formation et sensibilisation). Au-delà de leur rôle économico-social, ces coopératives contribuent à la protection de l'arganeraie et à la préservation de son écosystème [42]. Or, cette lecture optimiste ne fait pas l'unanimité parmi la communauté scientifique, car derrière ce portrait se

cache une réalité plus complexe. L'engouement pour l'huile d'argan a, d'une part, donné naissance à un grand nombre de fausses coopératives et, d'autre part, suscité l'éclosion d'un nouveau marché attractif pour les entreprises exportatrices et très peu profitable pour les acteurs locaux. De plus, cette demande a engendré une surexploitation de l'arganier qui risque de mettre en péril tout un patrimoine millénaire [43].

Pour y arriver, nous réaliserons une recherche qualitative par études de cas. La nature des données à collecter exclue ou, du moins, rend peu pertinent le recours à une recherche quantitative. En réalité, la recherche qualitative semble mieux seoir à nos questions de recherche, d'autant plus que l'engagement éco-responsable est un phénomène qu'on ne peut pas étudier sans l'avoir situé dans l'environnement où les coopératives de l'huile d'argan opèrent et qui est l'arganeraie.

Si un échantillon de quatre cas est généralement insuffisant pour répondre aux questions de recherche, dix cas et plus semble produire une quantité de données difficiles à traiter. En pratique, l'échantillon idéal est compris entre quatre et dix cas : les cas sont choisis, non pas pour des raisons statistiques, mais plutôt théoriques, entre autres, la réplication des résultats et la révélation de nouvelles connaissances. Ainsi, la sélection est non-aléatoire vu qu'elle est soumise à des critères bien justifiés. Au regard de nos besoin d'information, deux échantillons distincts seront construits, à savoir, les dirigeants des coopératives de l'huile d'argan, d'un côté, et, d'un autre côté, leurs employés.

Deux techniques de recueil seraient utilisées, y compris, la recherche documentaire et les entretiens semi-directifs. Alors que la première sert à préparer, enrichir et vérifier les entretiens à mener, la deuxième est sans doute la principale technique utilisée dans le cadre de cette recherche.

CONCLUSION

Notre recherche permet de mettre en avant un cadre conceptuel qui a pour but d'appréhender les déterminants d'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires. Il fournit des enseignements précieux aux chercheurs issus du milieu aca-démique mais aussi aux acteurs gouvernementaux, privés et de la société civile. Son originalité repose sur son cadre multi-paradigmatique qui s'inspire de plusieurs théories et combine entre différentes approches, à savoir la théorie entrepreneuriale, l'approche par les ressources, la théorie des parties prenantes et la théorie néoinstitutionnelle. Dès lors, notre cadre peut servir de grille d'analyse et d'évaluation de l'engagement éco-responsable des organisations sociales et solidaires. À partir du constat conceptuel que nous avons dressé, il nous est possible de conclure que l'engagement éco-responsable s'explique par la conjugaison de déterminants individuels, organisationnels et contex-tuels. Pour que les organisations sociales et solidaires puissent s'engager sur cette voie, il importe de considérer, non seulement leur contexte, mais surtout sur leurs particularités organisationnelles et personnelles. Toutefois, dans son état actuel, le cadre proposé pré-sente des limites puisqu'il est fondé uniquement sur une revue de littérature, certes exhaustive, mais qui nécessite qu'elle soit appuyée par une recherche empirique de nature exploratoire. Pour cela, nous envisageons mener dans l'avenir une recherche empirique, fondée sur la méthode mixte, afin de vérifier la validité de notre cadre et de le compléter par des données primaires à collecter par le biais de deux techniques de recueil, notamment le questionnaire et l'entrevue semi-dirigée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Darbus, F. (2014). Le pouvoir subversif de l'économie sociale et solidaire. Quelle consistance ? Lien Social et Politiques, (72), 169–188. https://doi.org/10.7202/1027212ar

2. Favreau, L., & Molina, E. (2011). Économie et société : Pistes de sortie de crise. Presses de l'Université du Québec.

3. Cretieneau, A.-M. (2010). Économie sociale et solidaire et développement durable. L'Harmattan, 11(1), 31–71. DOI 10.3917/maorg.011.0031

4 .Gouil, H. (2012). La Responsabilité Sociale des Entreprises, mode ou modèle stratégique pour le développement des coopératives ? In M. J. Brassard & E. Molina (Eds.), L'étonnant pouvoir des coopératives (pp. 507–520). Mont-Laurier: Artographe.

5. Hély, M., & Moulévrier, P. (2013). L'économie sociale et solidaire : de l'utopie aux pratiques. Paris: La Dispute.

6. Richez-Battesti, N. (2010). L'économie sociale et solidaire face à la crise économique : entre reconnaissance d'un modèle d'organisation et risque de récupération ? Revue Française Du Marketing, (226), 49–58. https://search-proquest-com.proxy.bib.uottawa.ca/docview/347853146?accountid=14701

7. Maurel, C., & Pantin, F. (2017). Les comportements en matière de RSE des sociétés coopératives : homogénéité discursive et hétérogénéité des pratiques. Revue de L'organisation Responsable, 12(2), 25–40. https://doi.org/10.3917/ror.122.0025

8. Bocquet, A. M., Gérardin, H., & Poirot, J. (2010). Économie sociale et solidaire et développement durable: Quelles spécificités pour les coopératives et les mutuelles? Geographie Economie Societe, 12(3),

329–352. https://doi.org/10.3166/ges.12.329-352

9. Bouchard, M. J., & Richez-Battesti, N. (2008). L'évaluation de l'économie sociale : Une perspective critique et internationale. Revue Du CIRIEC-Canada, 39(1), 5–13. http://www.ciriec-france.org/ciriec/custom/module/cms/content/file/Groupes_de_Travail/GT_Economie_sociale/Revue_du_Ciriec-Canada_Economie_et_Solidarites_2008.pdf

10. Touzard, J. M., & Vandame, R. (2009). La coopérative comme outil du développement durable : le cas des coopératives d'apiculteurs au Mexique et Guatemala. Recma-Revue Internationale d'Economie Sociale, (313), 36–57. https://doi.org/10.7202/1020922ar

11 .Chiffoleau, Y., Dreyfus, F., & Touzard, J.-M. (2008). Ethics in French wine co-operatives : being part of a social movement. In Farnworth, J. C Jiggins, & E. V. Thomas (Eds.), Creating food futures : trade, ethics and the environment (pp. 131–148). Burlington: Gower publishing.

12. Cronin, P., Ryan, F. & Coughlan, M. (2008). Undertaking a literature review : A stepby-step approach. British Journal of Nursing, 17(1), 38-43.

13. Fortin, M.F., Côté, J. & Filion, F. (2005). Fondements et étapes du processus de recherche. Montréal, QC : Éditions Chenelière Éducation.

14. Tétreault, S. (2014). Recension des écrits (literature review). Dans : Sylvie Tétreault éd., Guide pratique de recherche en réadaptation (pp. 137-149). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. https://doi.org/10.3917/dbu.guill.2014.01.0137

15. Wood, D. J. (1991). Corporate Social Performance Revisited. The Academy of Management Review. vol. 16, no. 4, 691-718. https://www.jstor.org/stable/258977

16. Schaper, M. (2002). Small Firms and Environmental Management. International Small Business Journal, 20(3), 235–251. https://doi.org/10.1177/0266242602203001

17. Riebe, M., «The leadership style of women entrepreneurs : An alternative model of successful management practices», Actes du 50e congrès international de l'International Council for Small Business, Washington, 16-18 mai 2005.

18. Carrier, C et al., « Un regard critique sur l'entrepreneuriat féminin : une synthèse des études des 25 dernières années », Gestion 2006/2 (Vol. 31), p. 36-50. DOI 10.3917/riges.312.0036

19. Mione, A. (2002, octobre). Comparaison des femmes entrepreneurs France-Canada. In 6° Congrès international francophone sur la PME. Montréal. http://airepme.org/images/File/2002/195FA - Anne Mione.pdf

20. Ben Larbi, S., Lacroux, A., & Luu, P. (2013). Analyse typologique des déterminants de l'engagement des sociétés non cotées en matière de développement durable : Premiers résultats d'une enquête exploratoire. Recherches En Sciences de Gestion, 96(3), 153–177. https://doi.org/10.3917/resg.096.0153

21.Labelle, F., & St-Pierre, J. (2015). La conjugaison des facteurs contextuels, organisationnels et individuels comme déterminant de la sensibilité des PME au sujet du développement durable. Revue Internationale PME, 28(1), 157–189. https://doi.org/10.7202/1030483ar

22. Spence, L., & Rutherfoord, R. (2001). Social responsibility, profit maximisation and the small firm owner-manager. Journal of Small Business and Enterprise Developement, 8(2), 126–139. https://doi.org/10.1108/EUM0000000006818

23. Vives, A. (2006). Social and environmental responsibility in small and medium enterprises in Latin America. The Journal of Corporate Citizenship, (21), 39–50. http://www.jstor.org/stable/jcorpciti.21.39

24. Kuckertz, & Wagner,. (2010). The Influence of Sustainability Orientation on Entrepreneurial Intentions—Investigating the Role of Business Experience. Journal of Business Venturing. 25. 524-539. 10.1016/j.jbusvent.2009.09.001.

25. Patzelt, H., & Shepherd, D. A. (2011). Recognizing opportunities for sustainable development. Entrepreneurship: Theory and Practice, 35(4), 631–652. https://doi.org/10.1111/j.1540-6520.2010.00386

26. Labelle, F., St-Jean, E., & Dutot, V. (2012). Déterminants de l'entrepreneuriat durable : quelques constats auprès d'étudiants universitaires. La Revue Des Sciences de La Gestion, 3(255–256), 22–30. https://doi.org/10.3917/rsg.255.0023

27.Torugsa, N. ., Hecker, R., & O'Donohue, W. (2011). Capabilities, proactive CSR and financial performance in SMEs : empirical evidence from an Australian manufacturing industry sector. Journal of Business Ethics, 109(4), 483–500. https://doi.org/10.1007/s10551-011-1141-1

28. Touzard, J. M., & Vandame, R. (2009). La coopérative comme outil du développement durable : le cas des coo-pératives d'apiculteurs au Mexique et Guatemala. Recma-Revue Internationale d'Economie Sociale, (313), 36–57. https://doi.org/10.7202/1020922ar

29.Labelle, F., & St-Pierre, J. (2015). La conjugaison des facteurs contextuels, organisationnels et individuels comme déterminant de la sensibilité des PME au sujet du développement durable. Revue Internationale PME, 28(1), 157–189. https://doi.org/10.7202/1030483ar

30. Touzard, J. M., & Vandame, R. (2009). La coopérative comme outil du développement durable : le cas des

coo-pératives d'apiculteurs au Mexique et Guatemala. Recma-Revue Internationale d'Economie Sociale, (313), 36–57. https://doi.org/10.7202/1020922ar

31. Bos-Brouwers, H. E. J. (2010). Corporate Sustainability and Innovation in SMEs: Evidence of Themes and Activities in Practice. Business Strategy and the Environment, 19(7), 417–435. https://doi.org/10.1002/bse.652

32. Uhlaner, L. M., Berent-Braun, M. M., Jeurissen, R. J. M., & De Wit, G. (2011). Beyond Size: Predicting Engagement in Environmental Management Practices of Dutch SMEs. Journal of Business Ethics, 109(4), 411–429. https://doi.org/10.1007/s10551-011-1137-x

33. Spence, M., Gherib, J., & Ondoua, V. (2007). Développement durable et PME : Une étude exploratoire. Revue Internationale P.M.E., 20(3–4), 17–42. https://doi.org/10.7202/1008522ar

34. Spence, M., Gherib, J., & Ondoua, V. (2007). Développement durable et PME : Une étude exploratoire. Revue Internationale P.M.E., 20(3–4), 17–42. https://doi.org/10.7202/1008522ar

35. Matten, D., & Moon, J. (2008). « Implicit » and « Explicit » CSR : a conceptual framework for a comparative understanding of corporate responsibility. Academy of Management Review, 33(2), 404–424. https://doi.org/10.5465/AMR.2008.31193458

36. Blombäck, A., & Wigren, C. (2009). Challenging the importance of size as determinant for CSR activities. Management of Environmental Quality. An International Journal, 20(3), 255–270. https://doi.org/10.1108/14777830910950658

37. Spence, M., Gherib, J., & Ondoua, V. (2007). Développement durable et PME : Une étude exploratoire. Revue Internationale P.M.E., 20(3–4), 17–42. https://doi.org/10.7202/1008522ar

38.Labelle, F., & St-Pierre, J. (2015). La conjugaison des facteurs contextuels, organisationnels et individuels comme déterminant de la sensibilité des PME au sujet du développement durable. Revue Internationale PME, 28(1), 157–189. https://doi.org/10.7202/1030483ar

39.Labelle, F., & St-Pierre, J. (2015). La conjugaison des facteurs contextuels, organisationnels et individuels comme déterminant de la sensibilité des PME au sujet du développement durable. Revue Internationale PME, 28(1), 157–189. https://doi.org/10.7202/1030483ar

40. Touzard, J. M., & Vandame, R. (2009). La coopérative comme outil du développement durable : le cas des coopératives d'apiculteurs au Mexique et Guatemala. Recma-Revue Internationale d'Economie Sociale, (313), 36–57. https://doi.org/10.7202/1020922ar

41. Pumareda L, Henry, F., Charrouf, Z., Pauly, G., & Falconnet, G. (2006). Valorisation des feuilles d'arganier : impact environnemental. Bois et Forêts Des Tropiques, 1(287), 35–44. https://www.researchgate.net/publication/237703783_Valorisation_des_feuilles_d%27arganier_impact_environnemental

42. Omari, S. (2016, octobre). La commercialisation des produits d'argan, un vecteur de la performance des coopératives féminines au de la région Soussmassa et de la province Essaouira. In Sommet international des coopératives. Québec. https://www.sommetinter.coop/fr/cdn/farfuture/ab9Ne9pNF_zfFz4U4JwyTOLDM9B999W1mdPwdN3T21k/mtime%3A1475864905/sites/default/files/article-scientifique/files/document_joint_0664.pdf

43. Faouzi, H., & Martin, J. (2014). Soutenabilité de l'arganeraie marocaine. Confins, (20), 1–27. https://doi.org/10.4000/confins.8842

Analyse de la performance socio-économique des coopératives de l'Argane ; cas de trois coopératives

Amina BOUKAL [1,*], Soumia OMARI [2]

[1] *Doctorant Chercheur à l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion de Casablanca, Université Hassan 2 ;*

[2] *Professeure habilitée à l'Ecole Nationale de Commerce et de Gestion de Casablanca, Université Hassan 2 ;*

** amina.bkl.bd@gmail.com*

Mots clés
Argane; coopératives; performance socio-économique; développement territorial; région de Sous

RÉSUMÉ

Cette étude analyse la performance socio-économique de trois coopératives d'argane dans la région de Tiznit, Idaousmlal : Copp Jibal Idaousmlal, Coopérative Azour Oulili, et Coopérative Al Amal. Elle met en lumière l'importance de l'arganier dans l'économie locale et examine les défis et les opportunités rencontrés par ces coopératives. Les méthodes de recherche comprennent des entretiens qualitatifs avec les gérantes des coopératives, explorant des domaines tels que le bien-être, les revenus et la dépendance coopérative. Les résultats soulignent le rôle crucial des coopératives d'argane dans l'autonomisation des femmes et l'augmentation des revenus, mais soulèvent également des défis persistants tels que la sécheresse et la concurrence des multinationales.

Keywords
Argan Cooperatives; socio-economic performance; territorial development; region of Sous.

ABSTRACT

Analysis of the Socio-Economic Performance of Argan Cooperatives: Case Study of Three Cooperatives

This study analyzes the socio-economic performance of three argan cooperatives in the Tiznit region, Idaousmlal : Copp Jibal Idaousmlal, Azour Oulili Cooperative, and Al Amal Cooperative. It highlights the importance of the argan tree in the local economy and examines the challenges and opportunities faced by these cooperatives. Methods research projects include qualitative interviews with the managers cooperatives, exploring areas such as well-being and cooperative dependence. The results highlight the crucial role of argan cooperatives in the empowerment of women and increased revenues, but also raise challenges such as drought and competition from multinationals.

INTRODUCTION

L'arganier est un arbre endémique au Maroc, où il joue un rôle socio-économique et environnemental très important dans la région de Souss Massa (1). Son huile, précieuse et polyvalente, est produite principalement par les coopératives féminines qui ont aussi pour objectif de préserver et de sauvegarder l'arganier (2). Cette étude vise à examiner la performance socio-économique de ces coopératives, en mettant l'accent sur trois d'entre elles situées dans la région de Tiznit, Idaousmlal. Le contexte est établi en mettant en lumière le rôle crucial de l'arganier dans l'économie et la culture de la région de Souss Massa (3), ainsi que son impact sur le développement territorial et socio-économique (4).

Actuellement, la recherche sur les coopératives d'argane se concentre principalement sur leur impact social et économique, mais des lacunes subsistent quant à une évaluation holistique de leur performance. Des études antérieures ont souligné l'importance de l'arganier pour le développement durable et la préservation de la biodiversité (5), ainsi que son potentiel à améliorer les conditions de vie des communautés rurales (6).. Cependant, des débats persistent autour de l'efficacité des coopératives dans la réalisation de ces objectifs (7).

Dans ce contexte, cette étude se fixe pour objectif principal d'évaluer de manière exhaustive la performance socio-économique des coopératives d'argan. Nous adoptons une approche qualitative, centrée sur des entretiens approfondis avec les gestionnaires des coopératives sélectionnées, afin de comprendre les défis et les opportunités auxquels elles sont confrontées. Notre analyse cherche à identifier les facteurs clés qui influencent la réussite de ces coopératives et à formuler des recommandations pour renforcer leur impact positif sur les communautés locales.

En résumé, cette étude propose une évaluation critique de la contribution des coopératives d'argan au développement socio-économique de la région de Souss Massa. En mettant en lumière leurs succès et leurs défis, nous visons à fournir des perspectives utiles pour les acteurs du développement rural et les décideurs politiques, ainsi que pour les chercheurs intéressés par les questions de développement communautaire et de durabilité environnementale.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Nous avons adopté une approche méthodologique qualitative pour évaluer la performance socio-économique des coopératives d'argan dans la région de Tiznit, Idaousmlal, à savoir Copp Jibal Idaousmlal, Coopérative Azour Oulili, Coopérative Al Amal. Nous avons opté pour des entretiens semi-directifs avec les gestionnaires des coopératives sélectionnées à travers un guide d'entretien comme principal instrument de collecte de données. Ces entretiens ont été menés individuellement, dans un cadre confidentiel, afin de faciliter une discussion ouverte et approfondie sur les sujets abordés.

Cette approche permet une exploration approfondie des différents aspects de la performance socio-économique (8), en tenant compte des réalités et des défis spécifiques rencontrés par ces coopératives. Les principaux domaines examinés comprennent le sentiment d'appartenance(9), le bien-être (10), la motivation (11), les revenus, l'investissement en R&D (12), le financement, (13) et la dépendance de la coopérative (Villemaine, R., 2018).

Les données collectées ont été analysées de manière inductive, en utilisant des techniques de codage thématique pour identifier les motifs, les tendances et les relations entre les différents aspects de la performance socio-économique des coopératives. Une attention particulière a été portée à la recherche de divergences et de points de vue contradictoires afin d'assurer une analyse complète et équilibrée.

Il convient de noter que toutes les étapes de cette recherche ont été menées conformément aux principes éthiques de la recherche, avec le consentement éclairé des participants et en garantissant la confidentialité et l'anonymat des données collectées.

RÉSULTATS

Les résultats de notre étude sont présentés ci-dessous, organisés en fonction des principaux thèmes émergents de l'analyse de la performance socio-économique des coopératives d'argan dans la région de Tiznit, Idaousmlal.

3.1 Sentiment d'appartenance et bien-être économique

Nous avons constaté que la plupart des membres des coopératives expriment un fort sentiment d'appartenance à leur coopérative, qu'ils considèrent comme une communauté solidaire et un vecteur d'autonomisation économique. Cependant, malgré cette identification positive, certains membres ont exprimé des préoccupations concernant la stabilité financière de leur coopérative et leur propre bien-être économique.

3.2 Motivation et implication des membres

Les entretiens ont révélé une motivation élevée parmi les membres des coopératives, alimentée par le désir de contribuer au développement de leur communauté et de garantir un meilleur avenir pour leurs familles. Cependant, cette motivation est parfois entravée par des obstacles tels que le manque de ressources financières et techniques, ainsi que les difficultés liées à la concurrence sur le marché de l'huile d'argan.

3.3 Revenus générés et investissements en R&D

En ce qui concerne les revenus générés par les coopératives, nous avons observé une variation significative entre les différentes coopératives étudiées. Les coopératives plus petites semblent rencontrer des difficultés à générer des revenus suffisants pour couvrir leurs coûts de fonctionnement et investir dans des activités de recherche et développement visant à améliorer la qualité de leur produit.

3.4 Sources de financement et dépendance externe

Une préoccupation majeure identifiée au cours de notre analyse concerne la dépendance des coopératives vis-à-vis des financements externes, notamment des subventions gouvernementales et des prêts bancaires. Cette dépendance soulève des inquiétudes quant à la viabilité à long terme des coopératives et à leur capacité à maintenir leur autonomie financière.

En résumé, nos résultats mettent en évidence à la fois les succès et les défis auxquels sont confrontées les coopératives d'argan dans la région de Tiznit, Idaousmlal. Ces constatations fournissent des informations cruciales pour comprendre la dynamique socio-économique de ces coopératives et pour

identifier des pistes d'action visant à renforcer leur résilience et leur impact positif sur les communautés locales.

DISCUSSION

Les résultats de notre étude soulèvent plusieurs points de discussion pertinents pour comprendre la performance socio-économique des coopératives d'argan dans la région de Tiznit, Idaousmlal, ainsi que pour identifier des pistes d'action pour l'avenir.

Interprétation des résultats à la lumière des études précédentes

Nos résultats confirment en grande partie les conclusions des études antérieures sur les coopératives d'argan, mettant en évidence l'importance de ces structures dans l'autonomisation économique des femmes et le développement des communautés rurales [1,2]. Cependant, nos résultats soulignent également des défis persistants tels que la dépendance financière et la concurrence sur le marché, qui nécessitent une attention particulière dans les stratégies de développement.

Implications pour la durabilité des coopératives

La discussion des résultats met en lumière la nécessité de renforcer la durabilité des coopératives d'argan en réduisant leur dépendance aux financements externes et en favorisant l'innovation et la diversification des activités. Des mesures telles que le renforcement des capacités des membres, le développement de nouveaux marchés et la promotion de pratiques agricoles durables peuvent contribuer à renforcer la résilience des coopératives face aux défis actuels et futurs.

Perspectives de recherche future

Enfin, la discussion souligne l'importance de poursuivre la recherche dans ce domaine afin de mieux comprendre les dynamiques socio-économiques des coopératives d'argan et d'identifier des stratégies efficaces pour améliorer leur performance. Des études supplémentaires pourraient se concentrer sur des aspects spécifiques tels que l'impact des changements climatiques sur la production d'argan, les modèles de gouvernance des coopératives, ou les opportunités de commercialisation à l'échelle internationale.

En conclusion, notre discussion met en évidence l'importance des coopératives d'argan dans le contexte du développement rural durable et souligne la nécessité de politiques et de pratiques soutenant leur croissance et leur viabilité à long terme.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Charrouf, Z. (2002). Valorisation de l'arganier : Résultats et perspectives. In 5e Colloque Produits Naturels d'origine végétale. Université du Québec, Québec, Canadá (pp. 261-270).

2. Simenel, R., Romagny, B., & Auclair, L. (2014). Les femmes berbères gardiennes des secrets de l'arganier : le détournement des pratiques locales. Guetat-Bernard H., Saussey M. (eds. sci.), Genre et savoirs. Pratiques et innovations rurales au Sud. Marseille, IRD Éditions, coll.«A travers champs, 179-200.

3. AHNACH, A., & Rachidi, L. (2022). Rôle de l'économie sociale et solidaire (via les coopératives féminines) dans l'empowerment de la femme : perception des acteurs de l'ESS au niveau de la région Souss Massa–Maroc. Revista CIRIEC Costa Rica, 1(1).

4. AHNACH, A., & Rachidi, L. (2022). Rôle de l'économie sociale et solidaire (via les coopératives féminines) dans l'empowerment de la femme : perception des acteurs de l'ESS au niveau de la région Souss Massa–Maroc. Revista CIRIEC Costa Rica, 1(1).

5. MOUSSAID, R., & EL JAOUHARI, S. (2021). L'impact de l'entrepreneuriat collectif sur le développement territorial : L'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc comme modèle. Revue Internationale des Sciences de Gestion, 4(1).

6. Bellefontaine, R. (2010). De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Sécheresse, 21(1), 42-53.

7. Tadjudje, W. (2020). Les conditions de l'efficacité des coopératives en Afrique. Les conditions de l'efficacité des coopératives en Afrique, 1-234.

8. Catroux, M. (2002). Introduction à la recherche-action : modalités d'une démarche théorique centrée sur la pratique. Les cahiers de l'APLIUT. Pédagogie et Recherche, 21(3), 8-20.

9. RAZAFIMANANTSOA, T. D., RAKOTOARIVELO, M., & RAMANANARIVO, R. LES ADHÉRENTS DES COOPÉRATIVES : DES ENGAGEMENTS ORGANISATIONNELS PROMETTEURS. LE DÉVELOPPEMENT, 7.

10. Defourny, J. (1983). L'autofinancement des coopératives de travailleurs et la théorie économique. Annals of Public and Cooperative Economics.

11. Maroudas, L., & Rizopoulos, Y. (2014). La question de la dégénérescence dans les coopératives de production. Revue internationale de l'économie sociale, (334), 70-84.

12. Belderbos, R., Carree, M., & Lokshin, B. (2004). Cooperative R&D and firm performance. Research policy, 33(10), 1477-1492.

13. El Ouafy, S., & Ed-Dafali, S. (2014). Financement des coopératives agricoles marocaines, structure et performance. EuropeanScientific Journal, 367-382.

Etude technico-économique de l'arganiculture au Maroc : Cas d'un projet de 100 ha dans la commune rurale de Mzilate - province d'Essaouira

Lobna BOUSSOU[1,*], Ali ABIDAR[2], Majid BENABDELLAH[1], Larbi AZIZ[2] .

[1] *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II;*

[2] *Ecole Nationale de l'Agriculture de Meknès ; Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Ecole Nationale de l'Agriculture de Meknès;*

** boussouloubna@gmail.com*

Mots clés
arganiculture; étude technico-économique; investissement

RÉSUMÉ

Depuis quelques années la sécheresse et le surpâturage ont limités les potentialités productives de l'arganier. Afin de soulager cette pression, le Ministère de l'Agriculture a accordé un intérêt particulier à la domes-tication de cette espèce. La présente étude consiste à contribuer à une analyse technico-économique de plantation d'arganier et d'identifier les facteurs responsables de sa réussite. La collecte des données a été basée sur un suivi régulier du périmètre de domestication de 100ha d'arganier, conduit en bour, dans la commune de Mzilate. Sur la base du diagnostic, les techniques et les coûts de production de cette culture ont été analysés et évalués. Sur le plan financier, les résultats montrent que le coût total de plantation est estimé à environ 11 500 dhs/ha, dont les travaux du sol constituent à eux seuls 40% du coût total. Ces résultats ont permis de formuler des recommandations en matière d'investissement pour un projet de 100ha d'arganiculture, qui nécessite un budget de 1,66 MDH, générant un TRI de 22,65% et une VAN de 9,23 MDH pour un finance-ment étatique. Alors que pour un investissement privé, la VAN serait de 5,6 MDH et le TRI de 14,15%. Ces indicateurs montrent que le projet est rentable.

Keywords
arganiculture; Technical-economic study; investment.

ABSTRACT

Technical-economic study of arganiculture in Morocco: Case of a 100 ha project in the rural commune of Mzilate (Essaouira province)

In recent years, drought and overgrazing have limited the productive potential of the argan tree. In order to mitigate this pressure, the Minis-try of Agriculture has taken a particular interest in the domestication of this species. The aim of this study is to contribute to a technical-economic analysis of arganiculture and to identify the main factors for planting success. Data collection was based on regular monitoring of the 100 hectares of argan domestication perimeter, operated in bour, in the commune of Mzilate. On the basis of the diagnosis, the techniques and production costs of this crop were analyzed and evaluated. Financially, the results show that the total cost of planting is around 11,500 dhs per hectares, with tillage alone account for 40% of the total cost. These re-sults enabled us to formulate investment recommendations for 100 hec-tares of arganiculture project, requiring a budget of 1.66 MDH, generat-ing an IRR of 22.65% and an NPV of 9.23 MDH for state investment. For a private investment, the NPV would be 5.6 MDH and the IRR 14.15%. These indicators show that the project is profitable.

INTRODUCTION

Endémique au Sud-Ouest du Maroc, l'arganier couvre 870 000 ha, ce qui lui confère le statut de la 2ème espèce forestière du Maroc [1]. Il s'étend depuis le Nord-Est d'Essaouira jusqu'à la vallée du Souss et limité au Nord par Safi, à l'Ouest par les mas-sifs du Haut Atlas et le Djibel Sirroua et au Sud par une ligne longeant l'Oued Noua au sud du Guelmim [2].

L'arganier contribue à l'emploi en milieu rural avec 20 millions de journées de travail des journées de travail et offre une autonomisation aux femmes [3]. Le nombre des coo-pératives d'extraction de l'huile d'argan ne cessent d'augmenter et causera une pression sur la seule ressource forestière. De plus les divers problèmes anthropiques et en-vironnementaux actuels, notamment le changement climatique, le prélèvement du bois de chauffage, le surpâturage et le déboisement constituent une menace pour la forêt naturelle de l'arganier.

Sur ce, et afin de soulager la pression sur les zones de l'arganeraie, la stratégie du Plan Maroc Vert a pensé à la domestication de l'arganier afin d'améliorer les conditions de vie des populations en augmentant leurs revenus et en renforçant la diversification de leurs activités.

Dans ce contexte, la mise en place de l'arganiculture vise de renforcer la résilience des territoires face au Changement Climatique.

La mise en œuvre de ce nouveau projet de plantation au Maroc est faite à travers une approche participative associant les bénéficiaires à toutes les phases d'exécution afin de garantir la pérennité et la durabilité des interventions du projet. Ce programme est co-financé par le Green Climate Fund (GCF) et l'Etat Marocain soit 9 Millions de dhs dans les régions de Guelmin, Souss Massa et Essaouira dont le premier périmètre de domes-tication de l'arganier a été planté au douar de Reguag dans la commune rurale de Mzilate (Province d'Essaouira) sur une superficie de 100 ha.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

La méthode adoptée est l'analyse technico-économique de plantation de 100ha d'arganier en traitant toutes les phases de plantation sur les plans agronomiques, économiques et financiers.

Afin d'atteindre l'objectif de la présente étude une démarche méthodologique a été élaborée. La première étape sera d'établir un diagnostic et un suivi régulier de la plan-tation du périmètre de 100 ha au niveau de la commune de Mzilate pendant 6 ans. La deuxième étape est l'analyse de rentabilité financière d'un investissement de planta-tion de 100 ha d'arganier sur 20 ans réalisé selon deux types d'investissement : étatique et privé.

RÉSULTATS

Le périmètre planté au douar de Reguag (Province d'Essaouira) sur une superficie de 100 ha est au profit de 69 bénéficiaires. Ce douar était connu auparavant par son éten-due forêt d'arganier sur une superficie de plus de 600 ha. La surexploitation de l'arbre pour la collecte du bois en charbon a fait disparaitre cette espèce dans la commune seu-lement quelques arganiers qui apparaissent dans la colline. (Figure A1)

Le périmètre est caractérisé par la micropropriété Melk (plus de 80% des parcelles moins de 5 ha) cultivée en céréaliculture principalement l'orge qui est la seule source de revenu des agriculteurs. Néanmoins, plusieurs sessions de sensibilisation ont été or-ganisées au niveau du douar afin de convaincre les bénéficiaires à planter l'arganier. A cet effet, un scénario a été présenté afin de garantir une source de revenu en attendant l'entrée en production de l'arganier est celui de la céréaliculture en sous étage entre les interlignes linéaires. Ainsi, une association a été créée au niveau du périmètre afin de jouer le rôle de porte-parole qui assurera la pérennité du projet par sa participation à toutes les phases d'exécution du projet.

3.2. Propriétés agronomiques

3.2.1. Conditions pédoclimatiques du périmètre

La pluviométrie annuelle moyenne est relativement faible, elle dépasse rarement les 250 mm. Le climat de la zone est semi-aride à aride. La température peut atteindre 50°C en été. Le relief au niveau du périmètre est dominé par des micro-plaines entre-coupées de collines. Alors que le type de sol est limoneux calcaire.

3.2.2. Matériel végétal

Les plants de l'arganier sont issus de semis, âgés entre 18 et 24 mois, indemnes de ma-ladies et de ravageurs. Le feuillage du plant est verdoyant (absence de chloroses fo-liaires, absence de défoliations). En plus tous les plants sont certifiés par le Service de Contrôle Technique et de Qualité des Plants et Semences du service compétent de l'Office National de la Sécurité Sanitaire et Alimentaire.

3.2.3. Installation de la culture

Ces travaux ont commencé le mois de septembre 2018 pour une durée de deux mois. Elles concernent le nettoyage des touffes, le traçage et le piquetage, la confection des ouvrages antiérosifs, et l'ouverture des trous de plantation.

- ***Travaux de préparation du sol***

Le traçage et le piquetage ont suivi impérativement le

tracé des courbes de niveau de façon à ce que les lignes de plantation soient perpendiculaires à la pente.

En ce qui concerne la confection des trous de plantation, la distance entre les centres de deux trous de plantation est de 7m et celle entre deux lignes de plantation a été mode-lée en fonction de la pente et de l'hétérogénéité du terrain de manière à respecter de façon homogène la densité de plantation préconisée qui est de 200 plants par hectare. Sur ce, les trous de plantation seront de 70cm x 70cm x 70cm.

Les coûts moyens de ces trois opérations sont de 3060 dhs/ha soit environ 15 dhs /trou.

• ***Incorporation du fumier et rebouchage du trou de plantation :***

Une quantité de 10 kg de fumier, sec et issu de bovins, a été incorporée par trou de plantation. La terre de surface placée en amont de l'ouvrage creusé est mise au fond ; celle du fond est mise en surface et utilisée pour édifier le bourrelet. Le rebouchage ne concerne que 40 cm de la profondeur de l'élément de fossés. Les dix derniers centi-mètres ont servi pour l'aménagement de l'impluvium.

Le coût moyen est de 5dh/trou incorporé. Le prix du fumier varie selon le type et la qualité.

3.2.4. Travaux de plantation

Elles concernent les opérations de plantation et de tuteurage, et le premier arrosage. Ces travaux ont commencé le mois de Novembre 2018 pour une durée de deux mois.

• ***Pré-arrosage des plants en sachets :***

Les plants en sachets ont été arrosés jusqu'à saturation, 24h avant leur plantation pour compacter le sol de la motte et éviter que cette dernière ne se désagrège lors de l'enlèvement du sachet plastique.

• ***Mise en place des plants :***

Les plants ont été installés dans les trous de plantation. Ensuite les plants ont été recou-verts de terre sur la hauteur de la motte en veillant à bien tasser le sol autour du plant pour minimiser les poches d'air qui favorisent la dessiccation. Un bourrelet de terre a été confectionné autour de la tige du plant pour éviter que ce dernier ne soit en contact avec l'eau d'arrosage. Par la suite, chaque plant tuteuré par un tuteur de 1 mètre au-quel il est rattaché par du raphia.

Le coût moyen des plants est de 15dh. Pour les 204 plants par hectare, les dépenses par hectare sont de 3060 dhs.

3.2.5. Travaux d'entretien et d'irrigation

Les travaux d'entretien des ouvrages antiérosifs et des plantations (Désherbage, Bi-nage) et les éventuels regarnis pour garantir un taux de réussite de 100% ont été réali-sés pour une durée de 20 mois.

• ***Entretien des nouvelles plantations :***

Le binage a pour objectif de casser la croûte superficielle du sol dans la cuvette du plant. Il a permis l'économie de l'eau dans le sol et a éliminé les mauvaises herbes en même temps. Par la suite, l'apport du mulching aux plants, soit par des débris végé-taux soit par des pierres, était nécessaire pour limiter l'évaporation de l'eau dans le sol.

Le coût d'entretien et très faible soit 0,054 dhs/plant soit 1,08 dhs/plant pour les 20 mois restants. Le coût d'entretien par hectare est de 220 dhs.

• ***Irrigation :***

Une quantité de trente (70) litres a été apportée immédiatement après la plantation. Ensuite, une quantité de 50 litres a été apportée par plant par mois pendant 20 mois.

Le coût moyen d'irrigation est de 1000 dh/ha/mois soit 20.000 dhs/ha.

3.2.6. Récolte

Les premiers fruits d'arganier ont apparu après 6 mois de plantation sachant que l'âge du plant dépasse 8 mois.

La récolte est prévue en 5ème année pour un rendement de 3T/ha et de 6 T/ha en an-née de croisière.

3.3. Coût de production

D'après l'analyse technique de plantation de l'arganier sur 100 ha, les dépenses glo-bales pour réaliser toutes les opérations est d'environ 9600 dhs/ha HT et 11 500 dhs/ha TTC. (Table A1)

3.4. Etude de rentabilité financière de plantation de 100 ha d'arganier conduit en bour

Les résultats de l'étude technico-économique de plantation de 100 ha ont permis d'analyser une étude financière de l'arganiculture sur une superficie de 100 ha, pour une durée de 20 ans, à travers deux modèles selon la nature de l'investissement (Etatique et privé). Le premier modèle d'investissement sera étatique, pris en charge par les parties publiques et le deuxième modèle d'investissement sera privé.

Dans cette étude nous avons considéré les hypothèses suivantes pour chaque type d'investissement :

-Une augmentation de 2% du prix de vente des fruits (Afyache).

-Un taux d'actualisation de 6%.

Pour le cas de l'investissement étatique, toutes les dépenses de plantation ne seront pas prises en considération dans le Business Plan. Alors que pour

un investisseur privé plusieurs composantes dans l'analyse s'avèrent nécessaires et s'énoncent comme suit:

-Un Emprunt sur 10 ans avec une annuité 155 785 Dhs (avec un taux d'intérêt de 3%) ;

-Un loyer du terrain de 2500 dhs/ha/an ;

-Une subvention de 6000 dh/ha d'arganier conduit en bour.

Les résultats de l'analyse de la rentabilité financière ont montré que le projet nécessite un investissement global de 1,66 MDH pour planter 100 ha d'arganier d'une densité de 204 plants/ha.

Si cet investissement est réalisé par l'Etat, ce projet générerait un TRI de 22,65% et une VAN de 9.23 MDH (au taux d'actualisation de 6%). Alors que s'il s'agit d'un investis-sement privé, la VAN serait de 5.6 MDH (au taux d'actualisation de 6%) et le TRI de 14.15%, soit des critères d'efficience inférieurs à ceux de l'investissement public.

DISCUSSION

La réussite de la plantation de l'arganier demande tout d'abord un microclimat particu-lier (semi-aride), deuxièmement, un plant âgé de plus de 18 mois indemne de maladie et bien développé et troisièmement une quantité suffisante et permanente d'eau d'irrigation (50L/plant/mois) afin d'assurer un bon développement racinaire surtout pendant les mois les plus chauds de l'année. Il faut noter aussi que l'arganier est très sensible à la salinité du sol et de l'eau.

D'après l'analyse technico-économique, le coût de production de l'arganier est de 11500 dhs/ha dont 40% concernent les travaux d'installation de la culture et 32% de l'irrigation. Ce sont les variables qui contribuent le plus à la variation de ce coût de production. (Figure A2)

Les facteurs responsables de la réussite de plantation de l'arganier sont généralement les travaux du sol dont les travaux de traçage qui doivent respecter les courbes de ni-veau.

Les résultats de l'analyse de la rentabilité montrent que les performances financières de plantation de l'arganier sur 100 ha nécessitent un investissement de 1,66 MDH dont le TRI est de 22,65% pour le modèle étatique et 14.15% pour le modèle d'investissement privé. (Table A2)

En guise de conclusion, ces indicateurs de rentabilité montrent que le projet de l'arganiculture est très rentable et contribue au renforcement de la résilience des locaux face aux changements climatiques et la préservation de cette espèce endémique. Il en-courage ainsi les agriculteurs à planter l'arganier.

Remerciements : Ce projet a été soutenu par les enseignants chercheurs de l'Institut Agronomique et vé-térinaire ainsi que l'Ecole Nationale de l'Agriculture de Meknès. Mes sincères remer-ciements à M. ABIDAR, M. MAJID et M. AZIZ pour leurs encadrements et leurs sou-tiens.

Annexe B

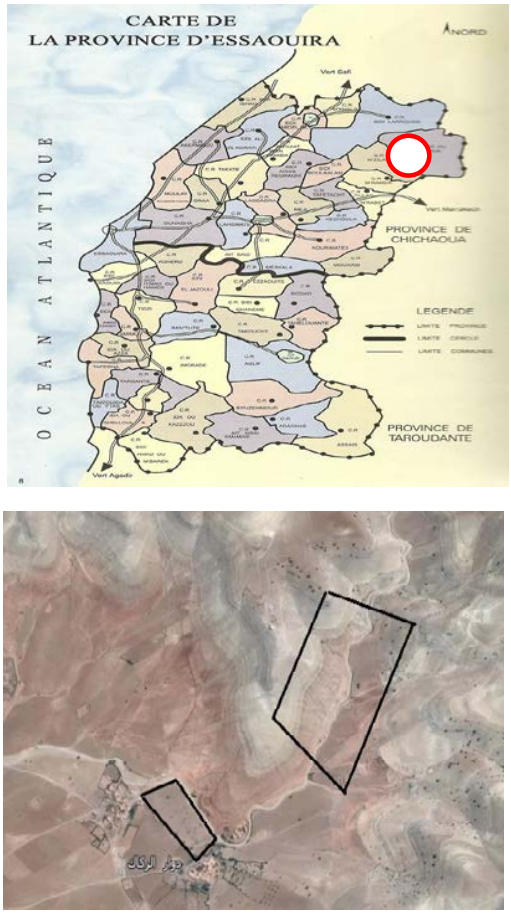


Figure A1: Localisation du périmètre de plantation de 100 ha d'arganier

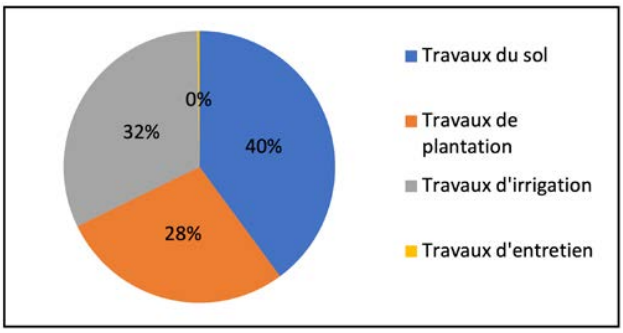


Figure A2: Coûts de production de l'arganier en %

Tableau A1. Coût de plantation de l'arganier

Type des Travaux	Dépenses (dhs/unité)	Dépenses moyennes (dhs pour 100 ha)
Préparation du sol	5000	500,000.00
Plants	15	306,000.00
Plantation	500	50,000.00
Entretien	220	4,400.00
Irrigation	20 000	400,000.00
Coût de production (HT)		958 480 dhs
Coût de production (TTC)		1 150 176 dhs (20% TVA de plus)

Table A2. Indicateurs de rentabilité d'investissement étatique et privé de plantation de l'arganier

	Investissement étatique	Investissement privé
Chiffre d'affaires (kDhs)	3 295	3 295
Charges totales (kDhs)	3 480	5 971
VAN (kDhs)	9 229 kDhs	5 562
TRI	22,65%	14,15%
DRCI	5 ème année	10 ème année

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.M'hirit O et al, (1998). L'arganier : une espèce fruitière-forestière à usages multiples. Ouvrage

2.Bellefontaine Ronald, De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) ? (2010)

H, (2017). Gouvernance locale et résilience : Cas de l'arganeraie au Maroc. www.savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/

Produits de terroir et enjeux socioéconomiques et territoriaux: Étude de cas d'une coopérative de production de l'huile d'argane

Karima EL BALBAL [1*], Soumia OMARI [2] .

[1] *Doctorante, Laboratoire LAMSO, ENCG, Université Hassan II ;*

[2] *Professeure universitaire, Laboratoire LAMSO, ENCG, Université Hassan II ;*

** karimaelbalbal@gmail.com*

RÉSUMÉ

L'importance accordée à l'économie sociale et solidaire (ESS) et ses organismes ne cesse d'augmenter. De ce fait, les coopératives, considérées comme de puissants organismes relevant de l'ESS, jouent un rôle primordial en termes de promotion des produits de terroir, d'incitation à l'entrepreneuriat social et d'avoir un impact social et solidaire.

Dans ce sens, nous voulons à travers cet article mettre en lumière le cadre conceptuel de l'ESS et ses organisations, les produits de terroir dans le cadre des coopératives et le rôle des institutions gouvernementales dans l'appui et l'accompagnement de ces dernières. Nous allons par la suite procéder à une étude de cas de la coopérative Achifaayne, pour comprendre l'impact socioéconomique de cette dernière sur son environnement, ainsi que les défis auxquels elle fait face.

Les résultats obtenus mettent l'accent sur l'impact social, solidaire, et économique que la coopérative a eu sur son environnement (Agadir et alentours) : L'adhésion à la coopérative a permis à ses membres de réaliser une indépendance financière, notamment pour les femmes adhérentes qui se trouvaient en situation précaire et aux jeunes hommes qui souffraient de chômage, à travers l'obtention d'un revenu respectable et continu, tout en renforçant leur sentiment d'agir utilement pour la société. Les cycles de formations et l'appui financier offerts par les institutions gouvernementales (ADA, ANDZOA, etc.) ont significativement contribué au développement de la coopérative et à sa croissance, en permettant ainsi aux différents membres de s'épanouir dans leur métier et d'acquérir une bonne réputation sur le marché national, grâce à leur savoir-faire et au bouche-à-oreille positif suite à l'originalité et la qualité des produits présentés à des prix compétitifs.

Les résultats de notre étude ont également souligné les défis majeurs auxquels fait face la coopérative : un marché saturé caractérisé par une concurrence acharnée, notamment après l'entrée d'acteurs commerciaux internationaux, ainsi que la diminution des réserves de l'argane suite aux changements climatiques et à la surexploitation de l'arganeraie, ce qui affecte la production de la coopérative et son activité.

Mots clés
économie sociale et solidaire; produits de terroir; coopératives; argane; Plan Maroc Vert

ABSTRACT

Terroir products and socio-economic and territorial challenges: Case study of an argane oil production cooperative.

The importance attached to the social and solidarity economy (SSE) and its organizations continues to grow. As a result, cooperatives, seen as pow-erful SSE organizations, play a key role in promoting local products, encouraging social

entrepreneurship and making a social impact.

With this in mind, our aim in this article is to shed light on the conceptual framework of the SSE and its organizations, terroir products in the context of cooperatives and the role of government institutions in supporting and accompanying the latter. We will then carry out a case study of the Achifaayne cooperative, to understand its socio-economic impact on its environment, as well as the challenges it faces.

The results obtained highlight the social, solidarity-based and economic impact that the cooperative has had on its environment (Agadir and surrounding area): The cooperative has enabled its members to achieve financial independence, in particular for women members who were in a precarious situation and young men who were struggling with unem-ployment, by obtaining a respectable and continuous income, while re-inforcing their feeling of acting usefully for society.

The training courses and financial support offered by government insti-tutions (ADA, ANDZOA, etc.) have made a significant contribution to the cooperative's development and growth, enabling individual members to flourish in their trade and acquire a good reputation on the national market, thanks to their know-how and positive word-of-mouth following the originality and quality of the products presented at competitive prices.

The results of our study also highlighted the major challenges facing the cooperative: a saturated market characterized by fierce competition, particularly following the entry of international business actors, as well as dwindling argane reserves as a result of climate change and overexploi-tation of the argane grove, all of which affect the cooperative's production and business.

Keywords
Social and solidarity economy, terroir products, cooperatives, argane, ANDZOA, ADA, PMV

INTRODUCTION

Ces dernières décennies, l'importance accordée à l'ESS et ses organisations de ne cesse d'augmenter, vu le potentiel socioéconomique que ces dernières représentent et les valeurs de partage et de solidarité qu'elle encouragent. Dans ce contexte, le Maroc a déployé des efforts colossaux à travers ses institutions gouvernementales (dont l'INDH, l'ADA, l'ANDZOA) dans une optique de corroborer la vision ambitieuse du Plan Maroc Vert, lancé en 2008, et qui encourage dans son deuxième pilier la création et l'adhésion des jeunes aux coopératives. Ces dernières jouent un rôle important dans l'inclusion socioéconomique des femmes provenant des zones rurales, la lutte contre le chômage des jeunes, ainsi que la valorisation des produits de terroir marocain et la promotion de leur consommation responsable.

De ce fait, nous désirons à travers cet article explorer le terrain de l'ESS à travers le tissu coopératif qui commercialise les produits de terroir. Nous avons choisi de mener une étude de cas portant sur la coopérative Achifaayne, afin de cerner quels impacts sociaux, économiques et territoriaux elle pourrait avoir , et quels sont les défis auxquels elle fait face ?

CADRE CONCEPTUEL

2.1. Les produits de terroir dans le cadre de l'ESS

L'économie sociale et solidaire (ESS), souvent appelée troisième secteur [1,2], est une forme d'économie à fort impact social qui encourage la solidarité et la justice sociale [3,4] et qui désigne des organisations n'appartenant ni au secteur privé ni au secteur public, leur mode de création et de gestion s'inspire des pratiques du secteur privé, mais il s'agit de collectivités dont le but est loin d'être lucratif mais plutôt tend vers une finalité sociale [5,6].

Globalement, quoi que la définition de l'ESS diffère légèrement suivant l'approche adoptée, anglo-saxonne ou européenne-québécoise, la raison d'être des organisations relevant de l'ESS reste la même : s'appuyer sur des principes historiques de démocratie et de solidarité [7,8] pour répondre à un besoin non encore comblé, tout en ayant un impact social, environnemental, et plus récemment sanitaire. L'ESS est souvent définie à travers les organisations qui la composent [9]. Elle regroupe les organisations telles les mutuelles, les coopératives, les associations et les fondations, témoignant solidarité, tout en poursuivant des objectifs socioéconomiques communs [10].

Les produits de terroir revêtent une grande importance dans le cadre de l'ESS [11], étant donné leurs apports précieux en termes de développement économique, social et territorial [12,13]. L'ESS contribue à la commercialisation des produits de terroir à travers ses organisations, principalement les coopératives [14].

Les coopératives font référence à tout groupement volontaire de personnes au sein d'une entreprise, où le mode de gouvernance est collectif et qui, en plus de réaliser des bénéfices - qui seront réinvestis en grande partie dans la coopérative pour assurer sa survie et son bon fonctionnement- engendre un impact social [15].

2.2. Coopératives et organismes gouvernementaux : tous pour la préservation et la promotion de la filière de l'arganier

La culture de l'entrepreneuriat social et de la création des coopératives est plutôt récente au Maroc, et a été popularisée grâce aux efforts acharnés des organismes gouvernementaux marocains, tels l'INDH (l'Initiative Nationale du Développement Humain) qui a été lancé en 2005 afin de promouvoir l'inclusion socioéconomique de la jeunesse et des femmes en situation précaire [16], le PMV (Plan Maroc Vert) lancé en 2008 et sa vision ambitieuse de développer le secteur coopératif au Maroc étant donnée le grand potentiel que ce dernier représente, notamment en termes de la promotion de l'auto-emploi auprès des jeunes, la préservation, la valorisation et la labélisation des produits issus du terroir marocain et le développement de leurs circuits de commercialisation à travers les coopératives, ce qui contribue au développement territorial et socioéconomique des régions d'où sont issus ces produits, et qui sont souvent des zones montagneuses et marginalisées [17,18,19].

L'ADA (l'Agence pour le Développement Agricole) a été créée en 2009 pour corroborer la vision du PMV, en participant au développement de l'agriculture solidaire du Royaume, l'accompagnement des jeunes entrepreneurs dans le secteur agricole, l'appui aux coopératives et la formation de leurs membres, ainsi que la commercialisation des produits de terroir à l'échelle nationale et internationale.

L'ANDZOA (l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier), créée en 2010, a pour mission de préserver et de développer les filières de l'arganier, du safran, du palmier dattier et de la rose à parfum, ainsi que la réalisation d'études d'ordre technique et socioéconomique en vue de développer des projets de développement local des zones oasiennes et des filières susmentionnées.

Ceci dit, dans le contexte du développement des produits de terroir et la filière de l'arganier, tous ces organismes gouvernementaux joignent leurs efforts afin de préserver et développer la production et la commercialisation de l'argane et les produits basés sur ce dernier au sein des coopératives. L'argane et les produits qui en dérivent (tels l'huile d'argane, amlou, etc.) sont issus depuis des siècles du savoir-faire féminin des femmes du territoire de l'arganier, qui s'étend sur les régions de Souss-Massa, Marrakech-Safi et Geulmim Oued Noun [20]. Il est devenu depuis les années 1990 le produit de terroir emblématique du Maroc et s'est vu développer une filière commerciale au succès inédit sur l'échelle internationale [21].

L'arganier, un arbre assez spécial qui ne pousse qu'au Maroc, a été exploité pendant des siècles pour des finalités alimentaires, cosmétiques et médicales et a constitué de cette façon une source de revenu importante aux yeux de la population du territoire de l'arganier [22]. Ainsi, l'émergence des coopératives spécialisées dans l'argane et ses dérivés, a joué un rôle primordial dans la reconnaissance de ce fruit à sa juste valeur, la démocratisation de sa consommation par la population marocaine et son internalisation, sans oublier l'impact socioéconomique positif qu'a connu ces régions, notamment le fait d'assurer un revenu aux ménages de ces régions qui travaillent dans cette filière, ce qui sous-entend l'émancipation de la femme rurale et lui permettre d'être financièrement indépendante [23].

La production de l'argane et ses dérivés au sein des coopératives a été remarquablement améliorée au fil des années, que ce soit d'un point de vue quantitatif ou qualitatif [24].

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Dans le cadre de notre recherche et afin de mieux appréhender le rôle des coopératives qui commercialisent les produits de terroir et naturels (dont l'argane et ses dérivés) dans le développement socioéconomique et territorial de ces régions, nous avons décidé de procéder par une étude de cas de la coopérative « Achifaayne », qui commercialise l'huile d'argane alimentaire et cosmétique, Amlou, le miel, le safran de Taliouine, et autres épices et herbes provenant du terroir du Maroc.

La coopérative Achifaayne a été créée en 2018 à Agadir, dans une optique de promouvoir la production et la commercialisation des produits de terroir du Maroc, notamment l'huile d'argane et ses dérivés, ainsi que de participer à la création d'emploi auprès des jeunes et des femmes issues des zones rurales de la région Souss-Massa.

En 2021, la coopérative a pu ouvrir une succursale à Casablanca, plus précisément à Bernoussi, après le succès qu'a connu la succursale qu'elle a précédemment ouvert à Tanger. La succursale de Bernoussi est géré par deux membres : Mr. Achraf et Mr. Ismail. A première vue, on remarque que le magasin est propre et très bien entretenu, l'assortiment clair et ordonné des produits par nature (huiles, herbes, miels, épices, etc.) facilite la recherche pour le consommateur qui pourra facilement localiser le produit qui l'intéresse. Les gérants sont sympathiques et serviables, et nous

ont allègrement accordé de leur temps pour répondre à nos questions.

De ce fait, dans le cadre de notre recherche, nous nous sommes focalisés sur notre étude sur l'huile d'argane et ses dérivés, afin de délimiter le champs de notre recherche et se focaliser uniquement sur l'étude de l'impact de la commercialisation des produits basés sur l'argane sur la région Souss-Massa.

Ainsi, nous avons songé à entamer une étude qualitative basée sur la méthode de l'entretien semi-directif, dans une optique de délimiter et d'orienter l'entrevue pour obtenir les informations qui nous intéressent et ne pas se perdre dans des discours diffus et longs, sans pour autant biaiser l'opinion ni les pensées de nos interviewés. Le choix de la méthode qualitative s'inscrit dans le cadre de l'étude exploratoire qui vise d'obtenir davantage des informations sur un sujet donné, en recueillant les propos des interviewés dans un cadre interactif [25].La taille de l'échantillon n'est pas importante tant que la richesse des informations obtenues est au rendez-vous et le principe de saturation des données est validé [26, 27].

Les propos des interviewés ont été enregistrés, avec leur consentement, moyennant un enregistreur vocal, afin de rester fidèle à leurs propos lors de la phase de la retranscription et l'analyse et ne pas omettre quelconque partie de leurs dires [28]. Chaque entrevue a duré d'une vingtaine de minutes à une trentaine, et au final nous avons été sollicités de les recontacter via leur numéro de téléphone en cas de besoin d'aide ou d'autres informations.

Concernant la phase de l'analyse, nous avons procéder par l'analyse de contenu de chaque verbatim, l'identification des thèmes et interprétation des résultats pour ensuite tirer nos conclusions.

RÉSULTATS

Notre guide d'entretien est axé autour de quatre rubriques thématiques :

- La présentation du profil de l'interviewé
- Les produits à bases d'argane de la coopérative « Achifaayne » et les tendances de consommation
- Les institutions gouvernementales en relation avec la coopérative
- Impacts et enjeux auxquels fait face la coopérative

Nos interviewés sont deux hommes, Ismail et Achraf, âgées respectivement de 28 et 27 ans, et ils prennent en charge la gestion de la succursale Bernoussi de la coopérative Achifaayne. Ils ne sont pas originaires de la ville de Casablanca, mais plutôt d'Essaouira et Agadir.

La coopérative présente un éventail de produits à base d'argane, à destination alimentaire et cosmétique. Les produits sont présentés sous plusieurs formats et tailles (250g, 500g, 1kg, etc.), les emballages utilisés comprennent des matériaux en plastique et en verre. L'emballage n'est pas assuré par la coopérative elle-même, mais plutôt par des partenaires commerciaux. La coopérative dispose également d'un site web et des comptes sur les réseaux sociaux et offre aussi le service de la livraison à domicile et le paiement à la livraison.

Selon les chiffres de vente de la coopérative, l'huile d'argane alimentaire et ses dérivés constituent un best-seller pour la coopérative, et ceci grâce à plusieurs facteurs détectés, dont l'originalité et la qualité des produits, le bouche à oreille positif suite à la consommation de ses produits et la satisfaction qui en résulte, les prix raisonnables par rapport aux grandes surfaces, ainsi que le facteur d'appartenance. Selon les informations obtenues, les personnes originaires de la région Souss-Massa et qui habitent dans les grandes villes sont les plus à commander de la coopérative, étant donné que cela leur rappelle leur région d'origine. La région de l'oriental constitue un portefeuille client important pour la coopérative qui les livre à domicile.

La coopérative a bénéficié de l'appui et soutien des institutions gouvernementales dont l'ADA, et les membres de la coopérative reçoivent périodiquement des formations leur permettant de s'épanouir dans leur métier.

Les gérants de la coopérative louent le rôle important que joue l'élément féminin au sein de la coopérative, et confirment que l'adhésion à la coopérative leur a permis d'améliorer leurs conditions financières et se sentir utiles pour la société. De même pour les jeunes hommes qui se trouvaient en situation de chômage ou de précarité. La coopérative constitue ainsi un moyen de soutien financier et de solidarité entre les différents membres. Cependant, il s'avère que la coopérative « Achifaayne » se plaint d'une concurrence accrue sur le marché que les gérants qualifient de « saturé », notamment après l'entrée d'entreprises internationales sur le marché. De plus, les réserves de l'argane ont diminué, suite aux plusieurs facteurs climatiques comme la sécheresse et la surexploitation afin de satisfaire la demande interne et externe.

DISCUSSION

Les résultats de notre étude démontrent l'importance que revêt l'adhésion aux coopératives pour valoriser et promouvoir la consommation des produits de terroir marocain, dans notre cas les produits à base d'argane. La coopérative Achifaayne bénéficie du savoir-faire des femmes de la région d'Agadir pour produire l'huile d'argane alimentaire et cosmétique, amlou et d'autres produits à base d'argane.

Les adhérents à la coopérative ont témoigné leur vie changer vers le meilleur, à travers l'obtention d'un revenu respectable et le sentiment d'agir utilement pour la société. La coopérative a également bénéficié d'aide et d'appui de la part d'institutions gouvernementales, notamment en termes d'aides financières et de formation.

Cependant, la coopérative fait face à une concurrence acharnée sur un marché saturé, mais avance à pas sûrs sur le marché interne en ouvrant des succursales, suite aux demandes accrues et la bonne qualité de ses produits. Néanmoins, la coopérative se plaint de la diminution des réserves de l'argane, suite à la surexploitation, le changement climatique et l'entrée d'acteurs internationaux.

CONCLUSIONS

L'économie sociale et solidaire est une forme d'économie qui place l'intérêt général et social au cœur de ses préoccupations. Elle encourage le partage et la solidarité à travers ses différents organismes, dont les coopératives. Dans le contexte de la valorisation et la promotion des produits de terroir, les coopératives jouent un rôle très important dans la production et la commercialisation de ces derniers. Dans ce sens, nous avons mené une étude de cas sur la coopérative Achifaayne, dont le siège est à Agadir, afin de cerner les impacts socioéconomiques et territoriaux que cette coopérative a pu avoir sur son environnement. La coopérative effectivement a permis la valorisation des produits d'argane et l'inclusion socioéconomique des jeunes et des femmes de la région d'Agadir, surtout suite à l'appui et accompagnement dont elle bénéficie de la part des institutions gouvernementales. Cependant, la coopérative n'a pas échappé à la concurrence acharnée sur le marché qu'elle qualifie de saturé, sans mentionner la surexploitation et le changement climatique qui ont fait que les réserves d'argane baissent et le prix de ses produits augmentent remarquablement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Defourny, J., & Monzon Campos, J. L. (1992). Économie sociale. Entre économie capitaliste et économie publique. De Boeck

Gghghgh.

2. Chadli, N., & Aoujil, F. (2023). L'économie sociale et solidaire à l'ère du COVID-19: acteur incontournable du développement socio-économique. Revue Internationale du Chercheur, 4(3)

3. Hiez, D. (2021). Guide pour la rédaction d'un droit de l'économie Sociale et Solidaire. ESS Forum International, Les Rencontres du Mont-Blanc

4. Defalvard, H., Isla, A., Lamarche, T., Petrella, F., Puissant, E., & Richez-Battesti, N. (2023). Chapitre 5. L'économie sociale et solidaire. In Grand manuel d'économie politique (pp. 172-182). Dunod

5. Defourny, J. (2005). L'actualité de l'économie sociale: des repères historiques, conceptuels et prospectifs. Revue Interventions économiques. Papers in Political Economy, (32)

6. Defourny, J., & Nyssens, M. (2017). Économie sociale et solidaire: Socioéconomie du 3e secteur. De Boeck Supérieur

7. Hély, M. (2017). De l'économie sociale «historique» à «l'économie sociale et solidaire»: une nouvelle configuration des relations entre monde associatif et collectivités publiques. Revue française d'administration publique, (3), 543-556

8. Daugareilh, I., & Poorter, M. D. (2022). Introduction. L'internationalisation de l'économie sociale et solidaire. Revue de droit comparé du travail et de la sécurité sociale, (3), 6-25

9. Hiez, D. (2019). Quelle lecture de l'entreprise d'économie sociale et solidaire (ESS) en droit français?. RECMA, (3), 89-105

10. Margom, I., & Ben Amar, M. (2024). Le marketing d'influence: Facteur de promotion de l'économie sociale et solidaire. Revue Française d'Economie et de Gestion, 5(2)

11. Raif, M., Ait Heda, A., & Bribich, S. (2021). La labellisation des produits de terroir dans le cadre de l'ESS au Maroc : Le consommateur en est-il conscient ? Moroccan Journal of Business Studies Vol (2), No.(1)

12. Harbouze, R., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture au Maroc (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM)

13. Kobi, H., & Oukassi, M. (2019). La perception des consommateurs marocains vis-à-vis du commerce équitable des produits du terroir: cas des produits d'argane. Revue Internationale du Marketing et Management Stratégique, 1(3)

14. Rodet, D. (2019). L'économie sociale et solidaire: une réalité composite issue d'histoires plurielles. Informations sociales, 199(1), 14-25

15. Raif, M., Ait Heda, A., & Bribich, S. (2021). La labellisation des produits de terroir dans le cadre de l'ESS au Maroc : Le consommateur en est-il conscient ? Moroccan Journal of Business Studies Vol (2), No.(1)

16. Bahajji, S. (2024). La contribution de l'action coopérative dans l'inclusion socio-économique de la femme en milieu rural: Cas de l'UCFA. Alternatives Managériales Economiques, 6(1), 650-665

17. Dahmani, A., et Elkbir, E. L. (2022). Le plan Maroc vert en faveur des coopératives agricoles, une nouvelle stratégie, une gouvernance renouvelée, de nouveaux moyens. International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 3(3-1), 171-185

18. Saidi, A., Sadgui, R., & Bouhid, L. (2023). L'autosuffisance en produits agricoles stratégiques et la politique agricole au Maroc entre 2008 et 2018. Revue Française d'Economie et de Gestion, 4(5)

19. Goldberg, Z. A., Abbad, I., & Ouarghidi, A. (2023). La marchandisation de la pomiculture et son rôle dans le développement de l'usage des pesticides dans le Haut Atlas (Maroc). Alternatives rurales. Vol.9 No.1

20. Benbihi, L. (2024). La contribution de la certification «commerce équitable» à la participation des parties prenantes marginalisées dans la gouvernance des coopératives féminines d'argane au Maroc. Alternatives Managériales Economiques, 6(Spécial 1), 1-16

21. Cormier, A., & Gana, A. (2022). Les coopératives de production de l'huile d'argan: une valorisation des patrimoines amazigh au service des femmes rurales du Souss-Massa?. Asinag, (17), 131-148

22. Ahnach, A., & rachidi, L. (2020). L'économie sociale et solidaire, un levier de l'empowerment des femmes: étude exploratoire qualitative des adhérentes de la coopérative agricole féminine Tadmamte. Moroccan Journal of Entrepreneurship, Innovation and Management, 5(2), 60-75

23. Karim, N., Bengrich, M., & Oumlil, R. (2023). Évaluation de l'innovativité des organisations sociales marocaines: Cas des coopératives d'Argane de la région Souss Massa. International Journal of Accounting, Finance, Auditing, Management and Economics, 4(2-2), 1-21

24. Achadmi, N., & Talibi, M. (2023). Valorisation de l'huile d'argan et développement local dans le Haut Atlas Occidental. Espace Géographique et Société Marocaine, 1(75-76)

25. El Balbal K., & Omari S. (2022). CSR in the marketing dimension: How do companies use their CSR approach to strengthen their brand image?. African Scientific Journal, Vol 3(N° 13), 200. https://doi.org/10.5281/zenodo.7027796

26. Glaser, B. G., Strauss, A. L. (1967). The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research. Chicago, CA: Aldine

27. Evrard Y. Pras B., Roux E. (2009). Market - Fondements et méthodes des recherches en marketing. Édition DUNOD - 4ème édition

28. Garreau, L., & Romelaer, P. (2019). Méthodes de recherche qualitatives innovantes (No. hal-02303970)

Savoirs locaux ancestraux et Agdal fruitier actuel : brise de la conscience collective dans la RBA ?

Hajar Elyazidi[1*], Said Boujrouf [1].

[1] *Laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et Attractivité (LERMA), Faculté des lettres et sciences humaines, Université Cadi Ayyad. Marrakech, Maroc ;*

** hajarelyazidi2018@gmail.com ;*

RÉSUMÉ

Cet article est une contribution à un débat sur la relation entre les savoirs locaux ancestraux, l'Agdal fruitier et la consolidation ou la brise de la conscience collective. Cela veut dire que ces savoirs locaux ancestraux constituant le noyau d'exercer d'une responsabilité collective et déci-sionnelle sur les territoires des communautés rurales de la Réserve de Biosphère d'Arganeraie. La conscience collective constitue un ensemble de croyances et de valeurs partagées et mobilisées pour renforcer le sen-timent d'appartenance ainsi le système d'exploitation de la collectivité traditionnelle. Les risques de conflits et de tensions communautaires, l'émigration, la modernisation, des aspects rénovés de la vie locale…sont tous des facteurs contribuant à la destruction de cette conscience. Pour explorer, analyser et discuter cette tendance sociale, on a engagé la mé-thode inducto-déductive et en effectuant des sorties de terrains afin de choisir les Agdals représentatifs selon les critères de leur appartenance à différentes unités ethniques, géographiques et administratives au sein de la RBA.

Mots clés
Savoirs locaux, Agdal fruitier, Conscience collective

ABSTRACT

Indigenous Knowledge and Current Agdal Fruit Groves: Disruption of Collective Conscious-ness in the Argan Grove Biosphere Reserve (AGBR)?

This work debates the nature of the relationship between indigenous knowledge and the Agdal fruit groves' current management. Does this relationship a consolidation or a disruption of collective consciousness? Collective consciousness refers to a set of shared beliefs and values that are mobilized to strengthen the sense of belonging and the traditional community's management system. Despite the persistence of traditional management, a range of factors is contributing to the failure of this consciousness, such as : conflicts, community tensions, emigration, modernization, local life changes, decrease of tribe role. However, the Agdal could be a factor in the collective consciousness reconstructing through implementation of social innovations that lead to the involvement of young people and adapted regulation systems to the new frameworks of ecosystem services.

In order to explore, analyze, and discuss this social trend, this study adopts an inductive-deductive method by starting with hypotheses but also considering empirical evidence. Furthermore, fieldwork was conducted in order to select representative Agdals based on criteria related to their different ethnic belonging, geographic locations, and administrative units within the AGBR.

Keywords
Indigenous knowledge, Agdal fruit groves, Collective consciousness, Construction, Deconstruction, Social innovation, Ecosystem services.

INTRODUCTION

ETAT SUR LES SAVOIRS LOCAUX, AGDAL ET CONSCIENCE COLLECTIVE

Les savoirs locaux sont l'ensemble des acquis, des cultures appropriées à un territoire donné. La littérature définit les savoirs locaux comme des systèmes de savoirs spécifiques à chaque culture. Ces savoirs constituent le noyau d'exercer une responsabilité collective et décisionnelle sur les territoires des communautés rurales comme la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA). Elinor Ostrom [1] a bien montré l'importance stratégique de ces savoirs dans la gestion du bien commun, même-si ''le problème de la tragédie des biens communs" se pose actuellement sous l'effet des mutations des sociétés traditionnelles. Elinore a montré que des associations volontaires et des collectifs d'individus pouvaient gérer efficacement et de façon équitable les ressources communes de manière à répondre aux besoins des familles. Geneviève Michon [2] a distingué des types de savoirs locaux dont le savoir organisationnel (Agdal ou syndicat de défense) fait partis. Elle a montré que les pratiques liées à la gestion du risque climatique s'inscrivent dans le cadre d'une gestion du bien commun. C'est-à-dire qu'ils s'appuient sur des règles communautaires qui définissent l'appropriation et l'utilisation des ressources. Tandis que Laurent Auclair et Mohamed Alfriqui [3] s'intéressent aux règles communautaires du Haut Atlas, l'Agdal est un commun avec des savoirs locaux qui produisent un mode de gestion communautaire caractérisé par la mise en défens temporaire des ressources au sein d'un territoire pastoral ou forestier délimité. Agdal ou la mise en défense permet de faire face à l'insécurité liée à l'usage des ressources naturelles dans une économie agro-pastoral fortement dépendante des aléas climatiques. Cependant la conscience collective se rapporte aux croyances, comportement, savoir, et savoir-faire partagés par les membres d'une collectivité et mobilisée comme ressource pour faire face aux différents aléas. Emil Durkheim [4] est le fondateur du concept de la conscience collective. Elle est l'ensemble des croyances et des sentiments communs à des membres d'une même collectivité traditionnelle en formant un système déterminé qui a sa vie propre. A cet effet, on peut dire que les savoirs locaux et les pratiques de bien commun constituent un atout pour la population qui les détient sur place et une source d'inspiration identitaire d'un territoire donné. Ils apportent une réponse à des défis et aux préoccupations des populations locales pour la durabilité de leur habité. Mais la conscience collective qui renforce le sentiment d'appartenance ainsi que le système de régulation se trouve actuellement affronter à une destruction en cours du système de la collectivité traditionnelle. Les risques de conflits et de tensions communautaires, l'émigration, la modernisation des aspects de la vie locale… sont tous des facteurs contribuant à cette destruction.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

La méthode engagée dans cette étude est l'inducto-déductive. Nous avons effectué plusieurs sorties de terrain à caractère exploratoire individuel et collectifs, pour déterminer les Agdals représentatifs dans la Réserves de Biosphère d'Arganeraie sur la base des critères : ethniques, géographiques et administratifs. Les situations d'observation étaient, des visites des douars choisis, des discussions avec les ayants droits, des réunions au sein des communes et des associations, coopératives, des discussions et partage d'informations dans des focus groupe avec les Jmaa.

Tout cela nous a permis d'imprégner le contexte général du sujet, en nous faisant intégrer de manière discrète à proximité avec l'ensemble d'acteurs ayants droit et les personnes ressources qui s'intéressent à Agdal fruitier dans la RBA dans chaque douar sélectionné.

De ce fait, nous avons enquêté les membres des Jmaa ayants droit dans les Agdal, par échantillon aléatoire, au nombre de 77 appartenant à 7 douars. Les discussions ont concerné aussi les gardiens amchradou et les éleveurs.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. L'Agdal fruitier: un élément de reconstruction de la conscience collective ?

Dans le cadre de notre étude doctorale sur L'innovation territoriale et les savoirs locaux, on a mené une recherche sur la gestion des Agdals fruitiers dans la RBA. C'est une étude empirique reposant sur des données de terrain issues des enquêtes de terrains (guide d'entretien) et des observations menées auprès des ayants droit dans la forêt d'arganier. Leur traitement nous a permis d'analyser l'impact des savoirs locaux dans la gestion des territoires locaux au sein de la RBA et le rôle de la conscience collective dans cette gestion. Ces travaux ont été menés auprès de quelques acteurs, ayants droits, administratifs, société civile et populations locales qui contribuent à sa gestion. Le but est de savoir les points de convergences et de divergence entre sept territoires pratiquants encore l'Agdal. Les résultats des sorties de terrain effectuées à travers les différentes provinces comme le représente la carte ci-dessous.

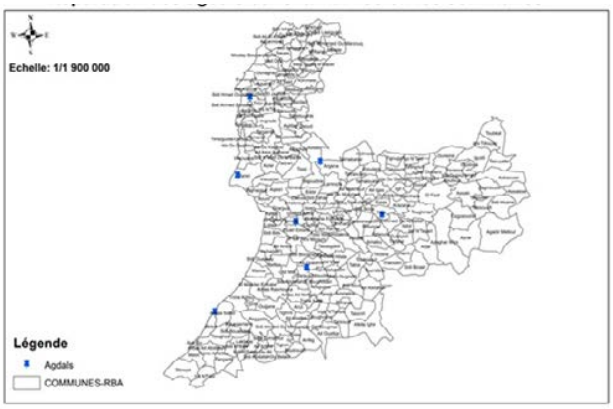


Figure 1. Répartition des Agdals dans la RBA selon les communes

3.2. Les Agdals fruitiers comme élément de reconstruction collective et de gestion moderne des territoires

La réserve de biosphère d'Arganeraie est célèbre par l'Agdal fruitier qui est un espace de défense collective des arbres fruitiers forestiers. Il représente pour la population d'après nos enquêtes ''un repos de la forêt'', ''Sécurité de la tribu'', ''c'est une pratique ancestrale qui pourrait garantir ''la qualité de l'huile d'argan''. Ces réponses renvoient à la notion de sécurité, à la capacité du groupe à exercer une responsabilité collective sur un territoire dans le cadre d'une volonté collective, à y empêcher les vols et l'exercice de la violence à l'appartenance et l'ancrage territorial. A cet effet, l'Agdal permet de faire face à l'insécurité liée à l'usage des ressources naturelles dans une économie agro-sylvo-pastoral, fortement dépendante des aléas climatiques.

Les règles de délimitation du territoire concerné, les dates d'ouverture et de fermeture, des mises en défens, les droits d'accès et les règles d'exploitation des ressources sont définis par l'assemblé coutumière de la communauté (Jmaa) qui détient les droits collectif d'exclusion et de gestion des ressources. La Jmaa se compose des personnes constituant les piliers du douar. Ces membres défendent l'intérêt commun et exprime la conscience collective du territoire auxquelles appartient. Ce sont des personnes volontaires et des collectifs d'individu capables de gérer efficacement et de façon équitable les ressources communes de l'Agdal. Ce collectif est définit l'engagement mutuel de la communauté à conserver et adapter, de faire évoluer les règles et d'augmenter le gain collectif, et de réduire la conscience individuelle face à celle collective qui prend place dans la société locale. Ce sont les fondateurs de la tribu, ils ont un grand pouvoir dans la prise de décision et l'application des pénalités pour les personnes qui ne respecte pas la tradition de défense-Orf Agdal. Mais la Jmaa voit ses prérogatives se réduit de plus en plus en laissant place à de nouveaux concepts exogènes, des institutions modernes et des modes de gestion pas toujours adaptées. S'ensuit par un manque de respect des règles coutumières par différents acteurs locaux...

Le pouvoir de la tribu ''Jmaa'' devient, de plus en plus, dans certains douars marginalisés au profit d'une association. Agdal est géré par trois personnes clé à statut innovant :

Chef de l'Agdal ;

Amchardo : le gardien ;

Berrah : l'annonceur de l'Agdal.

Ces trois personnalités sont les fondateurs du système ancien de défense des ressources d'Agdal dans la tribu, et qui ont un grand pouvoir dans la prise de décision et l'application surtout des pénalités au manque de respect des coutumes-l'Orf de l'Agdal.

Dans la RBA, la gestion d'Agdal fruitier, dans le cadre de la gestion collective (Commun) a pour objectif de répondre principalement à la conscience collective basée sur l'intérêt commun d'assurer le fruit et la durabilité de l'arbre dans un environnement de la paix sociale.

Pour l'Agdal forestier dans la RBA, le droit de récolte des arbres d'arganiers et potentiellement le droit de labour, sont détenus en commun et c'est la récolte après la cueillette des noix d'argan est partagée en fonction des parts des héritiers. Cela engendre des conflits d'intérêts importants dans l'Agdal parce que son accès est principalement lié à l'héritage du droit de l'exploitation de la forêt. L'acquisition de l'appropriation pourrait se faire aussi par le mariage, surtout les parts des femmes, ou l'achat des droits… ce qui pourrait rendre les ménages détenteurs de l'Agdal à l'extérieur de leur clan d'origine.

Les résultats des enquêtes effectuées à travers les différents sorties de terrain aux provinces d'Essaouira, Tiznit, Chtouka-Ait Baha ,Taroudant, et Agadir Ida ou Tanan ont permis de dégager des résultats relatives à la pratique de l'Agdal et ses coutumes spécifiques selon chaque région.

L'Agdal dans la RBA constitue aujourd'hui une structure communautaire qui permet d'assurer une certaine cohésion d'exploitation communautaire traditionnelle d'où le besoin de la renforcer et la réhabiliter. C'est une gestion ancestrale responsable de la durabilité des ressources naturelles et l'assurance de la protection de la production annuelle. L'Agdal est un système de gestion transmissible de génération en génération et aussi un système de conservation des ressources à l'aide d'une entité sociale (Jmaa) qui se compose par des personnes âgées du douar ou une association rassemblant des jeunes qui ne cessent de perdre, de génération en génération, le sens de ces pratiques. Avec la diversité des provinces visitées et enquêtées,

la gestion de l'Agdal diffère d'une région à l'autre et d'un douar à un autre, surtout ceux influencés par l'étalement urbain, comme le cas de la forêt d'Admine comparés à ceux situés en montagne, comme le cas d'Argana et Imintlit.

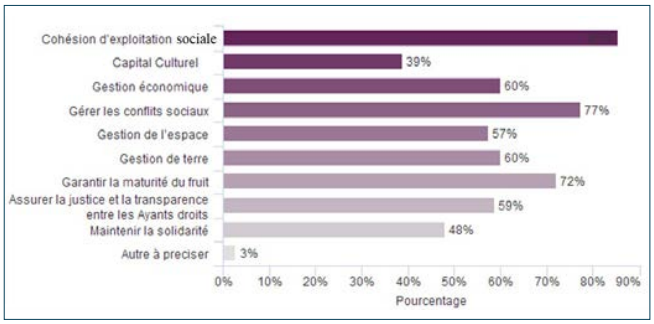


Figure 2. Croisement : Fonctions et rôles de l'Agdal selon la population enquêtée dans la RBA.

Une bonne partie des personnes enquêtées qui représentent la Jmaa de chaque Douar en répondant à un questionnaire (85% des enquêtés) ont vu l'Agdal comme un capital culturel du fait qu'il présente un mode de gestion traditionnelle, constitue une forme originale de la cohésion de l'exploitation sociale de la ressource naturelle et de conservation des peuplements d'arganier. L'Agdal assure aussi un mode de gestion efficace des conflits sociaux, déclaré par 77% des enquêtés, surtout que les dates d'ouverture et de fermeture peuvent être fixe ou négocier chaque année par un crieur dans les souks et les mosquées ; les dates sont décidées par la Jmaa. La communauté respecte donc ces échéances à défaut les sanctions sont mises en application par la Jmaa. Les sanctions sont généralement reconnues et appliquées par les individus ou les familles concernées.

Ce système est vu à hauteur de 59% des enquêtés assurant la justice et la transparence entre les ayants droit ; cela veut dire qu'il s'agit d'une pratique avec l'accord de tout le monde à interdire l'accès aux parcelles de la forêt. C'est une forme originale de gestion de l'espace multi-usage et une technique à consensus social permettant une bonne gestion des produits de terroir.

Cette pratique a comme fonction principale d'assurer, à la fin, une meilleure qualité de l'huile d'argan du fait qu'il garde les fruits dans l'arbre jusqu'à leur maturité.

Cette gestion efficace et efficiente rend l'arbre une source principale de revenus et d'emplois pour les ayants droit et la gestion rationnelle consolide la solidarité communautaire.

Table 1. Rôle et fonctions des Agdals : une diversité de situation.

	Tidzi	Sidi Abdellah Bouchouari	Tellou	Tiyout	Tamri	Forêt Admine	Argana
Cohésion d'exploitation sociale	40%	40%	20%	20%	0%	20%	20%
Capital Culturel	67%	33%	33%	0%	0%	33%	33%
Gestion économique	20%	20%	40%	20%	20%	20%	20%
Gérer les conflits sociaux	67%	67%	0%	0%	0%	0%	0%
Gestion de l'espace	40%	20%	40%	20%	20%	20%	20%
Gestion de terre	40%	40%	40%	0%	20%	20%	20%
Assurer la justice et la transparence entre les Ayants droits	50%	50%	0%	25%	0%	0%	0%
Maintenir la solidarité	20%	20%	40%	20%	20%	20%	20%
Garantir la maturité du fruit	33%	0%	33%	33%	0%	33%	33%
TOTAL en nombre et %	12	18	9	8	5	8	17
	15,58%	23,37%	11,68%	10,38%	6,49%	10,38%	22,12%

Ce tableau montre que l'Agdal est une organisation pour gérer les conflits : A sidi Abdellah Bouchouari et Tidzi les enquêtés (les constituants de la Jmaa dans chaque Douar) affirment à Hauteur de 60% que l'Agdal est fait pour gérer les conflits et cela signifie que ce sont des régions qui souffrent des conflits avec les éleveurs nomades venant des provinces du Sud. Pour ces éleveurs l'arganeraie est une ressource fruitière dont le seul propriétaire est Dieu et devrait être partagée par tout le monde. Un éleveur affirme que le fait d'être citoyen marocain et sahraoui lui donne le droit d'exploiter les ressources de la forêt et personne n'a le droit de les interdire malgré les décrets sortis chaque année par les autorités locales pour y interdire l'accès. Tandis que Tellou, Tiyout et Tamri sont des territoires de passage de ces éleveurs nomades et non réceptif. De ce fait, il y a moins de conflits. L'Agdal devient objet de conflit surtout pendant la période de récolte des fruits de l'arganier avec le boom économique de la valorisation d'argan.

Tous les douars ont affirmé à 33% des enquêtés que l'Agdal garanti la maturité. Il a comme fonction principale d'assurer la protection de l'arbre contre le bétail, de permettre un repos biologique pour la forêt et de permettre la collecte des fruits dans de bonnes conditions. Il joue donc un rôle important dans la conservation et la régénération de la forêt.

Assurer la justice et la transparence entre les ayants droit se présente pour Tidzi et Sidi Abdellah Bouchaouari avec 50%, ce qui confirme que ce sont des territoires connus par les conflits internes spécifiques à leurs communautés locales. L'Agdal maintient aussi la solidarité collective à hauteur de 20% des enquêtés de tous les douars, ce qui montre que l'Agdal est une source qui vise principalement la préservation du mode et du niveau de vie des ayants droits.

3.3. L'Agdal entre reconstruction et déconstruction de la conscience collective

Bien que l'Agdal participe à la construction et l'entretien de la conscience collective des collectivités locales traditionnelles dans certaines régions enquêtées au sein de la RBA, il est important de souligner que le développement d'un certain nombre de phénomènes impactent le statut de l'Agdal et de là la conscience collective. Il s'agit de l'Exode rural, les changements climatiques, la modernisation rurale, l'invasion des troupeaux nomade surtout à Ait Baha. Il important de signaler aussi la disparition en cours de la Jmaa qui mobilise la conscience collective pour consolider le groupe social ainsi l'épanouissement de la conscience individuelle et la mise en place des coopératives à intérêt lucratif et des associations avec de nouveaux intérêts éloignés de la sphère traditionnelle. L'abondons de cette pratique d'Agdal dans plusieurs régions de la RBA a aggravé la pression anthropique sur l'écosystème arganier tout en favorisant des phénomènes néfastes : gaulage, coupe excessive et vol de la matière première "Afiach". Aussi des dépassements et infractions commis par les non propriétaires d'arganeraie et ayants droit émigrés en ville qui veulent récolter rapidement leur noix même s'elles ne sont pas encore mures. Ce phénomène est largement lié à la proximité des centres urbains.

L'Agdal, produit de la conscience collective, a un rôle pertinent et une importance stratégique de gestion des biens communs.

CONCLUSIONS

Si l'Agdal est une institution sociale importante dans la construction de la conscience collective, il est en même temps une pratique ancestrale faite entre autre pour le repos de la forêt. Il assure la reconstitution des stocks des ressources et la pérennisation de leur usage. Dans la RBA la mise en défend de l'Agdal permet aux arbres d'arganier d'accomplir leurs cycles de reproduction avant l'ouverture de l'Agdal, surtout que l'arganier produit les noix de l'année actuel et des bourgeons qui deviendront floraux l'année suivante.

On retient que l'abandon en cours de la pratique de l'Agdal est fortement lié à l'urbanisation, à la forte ouverture sur la modernisation et à la dégradation du système social traditionnel ainsi que la destruction en cours de la conscience collective.

L'Agdal Dans la RBA constitue un patrimoine important qui doit être reconnu à l'échelle locale, nationale et internationale d'où le besoin de le renforcer et le réhabiliter. C'est l'unique pratique culturelle qui permet d'assurer une certaine cohésion d'exploitation communautaire traditionnelle on défendant la conscience collective. C'est un patrimoine ancestral responsable des ressources humaines naturelles. Cette Orf est un patrimoine à potentiel économique de survie d'une bonne partie de la population locale. C'est une gestion qui devait être transmissible de génération en génération à l'aide de la Jmaa. Mais le grand souci reste à trouver la réponse à comment faire revivifier la conscience collective qui pourrait être le dynamo du processus de la gestion sociale des biens communs et mener une plaidoyer pour intégrer le patrimoine de l'Agdal dans les nouveaux modes de gestion moderne de la RBA et de sa forêt ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Juan Camilo Cardenas & Rajiv Sethi, Elinor Ostrom : par-delà la tragédie des communs, 2016, in: https://laviedesidees.fr/Elinor-Ostrom-par-dela-la-tragedie-des-communs

2. Geneviève Michon et All. Les savoirs locaux peuvent-ils inspirer des solutions adaptatives dans les arrière-pays du Maroc ? In Ali Benmakhlouf (sous-direction), l'humanité face aux défis climatiques et environnementaux : approches multidisciplinaires, Edition Fondation du Abdulaziz, Casablanca, pp. 87-109, 2017.

3. Laurent Auclair et Mohamed Alfriqui, Agdal, patrimoine socio-écologique de l'Atlas marocain, Institut Royal de la Culture Amazighe et Institut de Recherche pour le Développement (IRD), : Colloques et séminaires n° 29, 2012, 649 p.

4. Emile Durkheim, cité par Mark Kirby, Sociology in Perspective, Heinemann, 2000, 831 p. (ISBN 978-0-435-33160-3), in https://fr.wikipedia.org/wiki/Conscience_collective#:~:text=L'id%C3%A9e%20est%20reprise%20quelques,soci%C3%A9t%C3%A9%20dans%20laquelle%20il%20habite.

Vers une gouvernance créatrice de valeurs : l'apport de l'approche socio-écologique dans l'empowerment des acteurs

Hala Idrassen[1*], Salma El Ghiouan[1] , Said Boujouf[1].

[1] *Laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilité et Attractivité (LERMA), Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Cadi Ayyad. Marrakech, Maroc;*

** idrassen.hala1@gmail.com;*

RÉSUMÉ

Située dans le Centre-Ouest du Maroc, la Réserve de Biosphère d'Arganeraie (RBA) en tant qu'entité territoriale favorise la conservation, l'éducation et la gestion durable des ressources naturelles et culturelles spécifiques, ainsi que le développement socio-économique des populations rurales. De par sa position biogéographique, la RBA est créatrice d'innovation due au renforcement du tissu économique au détriment de la vulnérabilité des ressources et du climat. La pression sur les ressources naturelles induit des externalités négatives imprégnantes dans le contexte national marocain. Ce constat alarmant interpelle le positionnement territorial des acteurs de la RBA et la gestion durable et intégrée des ressources humaines et naturelles de la réserve. En tant que modèle de promotion du développement durable, la RBA favorise l'application des approches de la résilience permettant l'empowerment des acteurs et la consolidation du système de gouvernance au sein de la réserve. Quel est donc l'apport de l'approche socio-écologique dans l'empowerment des acteurs pour promouvoir un tel modèle de développement durable ?

L'adoption du modèle de Bronfenbrenner (1979) a permis de ressortir des éléments clés (coordination horizontale, l'intégration des savoirs locaux, le dialogue interacteur, la participation citoyenne, la planification spatiale intégrée, la sensibilisation et l'éducation à l'environnement) pour le bon fonctionnement du système de gouvernance et voir son importance dans le domaine du changement climatique.

Le modèle écologique offre un schéma utile pour intégrer plusieurs facteurs influençant la RBA. En particulier, ceux qui mettent l'accent sur le rôle des acteurs locaux, les schémas d'interaction et les liens directs entre ces acteurs et son environnement proche (ex. Commune/Population locale, Commune/Coopératives…etc.), le stress social et les valeurs culturelles (ex. conflits locaux). La division de l'espace écologique de la RBA en quatre couches imbriquées, offre un mécanisme pour considérer simultanément ce qui se passe dans le contexte de l'environnement interne ou/et immédiat de la RBA (microsystème), les forces à l'œuvre dans les systèmes sociaux plus larges dans lesquels la RBA est intégré (exo-système), et les croyances et valeurs culturelles, les politiques et stratégies qui influencent les microsystèmes et les exo-systèmes (macro système). Ce modèle intervient à reconstituer les rapports entre les acteurs et la réserve dans une perspective durable et intégrée.

Mots clés
développement durable, approche socio-écologique, empowerment, changement climatique, Réserve de Biosphère d'Arganeraie

ABSTRACT

Towards value-added governance : the contribution of the social-ecological approach to stakeholder empowerment

Located in central western part of Morocco, the Argan Grove Biosphere Reserve (AGBR) is a territorial entity that promotes the conservation, education and

sustainable management of specific natural and cultural resources, as well as the socio-economic development of rural communities. Because of its biogeographical position, the AGBR helps to create innovations by strengthening the economic framework at the expense of resources and climate vulnerability.

The pressure on natural resources leads to negative externalities that permeate the Moroccan national context. This alarming fact calls into question the territorial position of the AGBR's stakeholders and the sustainable and integrated management of the reserve's human and natural resources.

As a model for promoting sustainable development, the AGBR advocates the use of resilience approaches to empower stakeholders and consolidate the governance system within the reserve. So, what can the social-ecological approach contribute to the empowerment of stakeholders and the promotion of this type of sustainable development model?

This study adopted the Bronfenbrenner's model (1979). This model highlights the key factors (horizontal coordination, local knowledge integration, interactor dialogue, citizen participation, integrated spatial planning, environmental awareness and education) for the proper functioning of the governance system and to see its importance in the field of climate change.

The ecological model provides a useful framework for integrating multiple factors that influence AGBR.

In particular, those that focus on the role of local stakeholders, the patterns of interaction and the direct links between these stakeholders and their environment (e.g. Local administration/local community, Local administration /Cooperatives, etc.), social stress and cultural values (e.g. local conflicts).

The division of the social-ecological space of the AGBR into four interrelated systems provides a mechanism for simultaneously considering what is happening in the context of the AGBR's internal or/and immediate environment (microsystem), the forces at work in the wider social systems in which the AGBR is embedded (exo-system), and the cultural beliefs and values, policies and strategies that influence the microsystems and exo-systems (macro-system). The objective of this model is to reconstruct the interrelationships between stakeholders and the reserve, with a view to achieving sustainability and integrated management.

Keywords
sustainable development, socio-ecological approach, empowerment, climate change, Argan Grove Biosphere Reserve

INTRODUCTION

Le changement climatique reste parmi les défis socio-environnementaux auxquels sont confrontées les communautés mondiales [1]. Il a été initié par le plan d'action de Madrid (2008-2013) et la Déclaration de Dresde (2017) sur les réserves de biosphères pour débattre ses effets néfastes sur les écosystèmes et promouvoir la capacité d'adaptation et d'atténuation de ses effets.

La Réserve de Biosphère d'Arganeraie est au cœur de ces préoccupations et l'impact du changement climatique est profond du fait de sa valeur attachée à l'espace (lieux historiques, patrimoines culturels matériels, valeurs ethniques et anthropologiques) [2]. La capacité d'adaptation de la RBA au changement climatique nécessite l'articulation entre les différents projets d'acteurs de la RBA pour mettre en place des méthodes et des pratiques de gestion adaptées pour atténuer les externalités négatives (la raréfaction des eaux souterraines et de surface, la dégradation de la biodiversité et des habitats, l'érosion des sols et la désertification…etc.) pour faire face au changement climatique.

La RBA est reconnue comme modèle opérationnel de mise en place des objectifs du développement durable [3] par la création de projets et d'initiatives permettant la conservation de la biodiversité et la mise en place d'actions de protection et de valorisation des ressources territoriales. Ces initiatives soutenues par les parties prenantes permettent de renforcer les services écosystémiques, l'usage rationnel et durable des ressources [4]. De ce fait, la RBA favorise des approches innovantes de la résilience centrées sur le système des acteurs. L'approche socio-écologique constitue une approche innovante permettant ainsi l'analyse de l'empowerment des acteurs dans la mesure

où les interactions entre les acteurs se développent et les uns influencent les autres et s'adaptent à fur et à mesure. L'importance de cette approche est de mesurer les facteurs environnementaux ce qui est sujet d'une pensée complexe [5]. Dans ce sens, la consolidation du système de gouvernance au sein de la réserve doit être réactive pour la lutte contre le changement climatique. Alors, quel est donc l'apport de l'approche socio-écologique dans l'empowerment des acteurs pour promouvoir un tel modèle de développement durable?

Cet article va éclairer le système de gouvernance au sein de la réserve par l'apport théorique de l'approche socio-écologique favorisant ainsi la gestion durable des ressources et la prise en compte à la fois des enjeux sociaux et environnementaux. L'accent est mis ainsi sur les spécificités de la RBA et la mobilisation d'une pensée territoriale sous l'angle de renforcement des capacités des acteurs pour répondre à notre problématique.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'approche socio-écologique est une théorie qui met en lumière les différents relations envisagées ou envisageables entre l'acteur ou un ensemble d'acteurs et leur environnement (physique, psycho-social, sociologique, territorial …etc.). Pour assimiler l'approche socio-écologique et son importance dans notre analyse, il est fondamental de comprendre les bases de la pensée complexe (Figure 1). Ces bases reconnaissent les liens entre les différents acteurs dont chaque acteur doit être conscient de ces principes pour le bon fonctionnement du système.

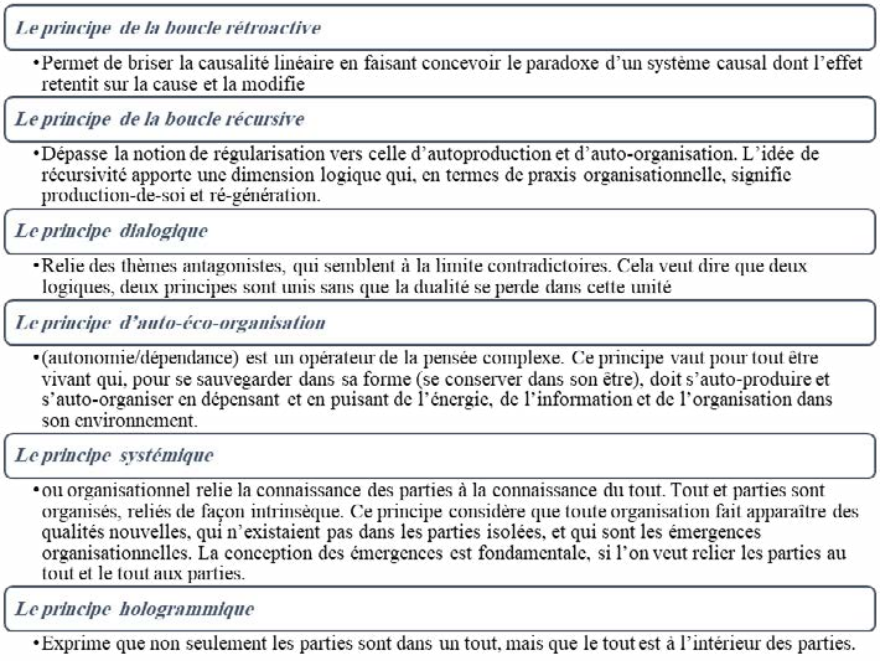


Figure 1 : Les bases de la pensée complexe selon Morin Edgar[5]

Afin d'assurer la gestion efficace et durable au sein de la RBA, la boucle rétroactive permet de réguler et contrôler le système de gouvernance. Sa mise en application peut se faire par l'établissement des systèmes de surveillance (collecte des données, évaluation de l'impact des actions anthropiques sur chaque variable (eau, sol, Biodiversité…etc.), Planification de la communication interacteurs, Evaluation des politiques…etc.). En dépassant la dimension simple de régulation, le deuxième principe souligne l'interdépendance entre les actions individuelles et les structures sociales ; Chaque acteur mène des actions qui engendrent des effets sur la structure dont il appartient et à leur tour les structures influencent les comportements individuels (la structuration de Giddens (règles et normes à suivre)).

En mettant l'accent sur le dialogue, le troisième principe s'étend à expliquer le rôle crucial du dialogue dans l'unification du sens des décisions. À quel point peut-on regrouper un ensemble des décisions qui demeurent contradictoires prises par les acteurs pour ressortir un nombre limité de décisions intersectorielles qui se penchent vers l'intérêt commun ?

Le système d'acteurs est un système complexe dont le principe d'auto-éco-organisation fait référence à la capacité d'un tel système à s'organiser de manière ordonnée et d'auto-éco-régulation sans intervention externe. Il s'agit de la capacité d'adaptation du système acteurs face aux différents contextes de perturbation (renforcement de l'autonomie des groupes, la participation citoyenne, la prise de

décision collective…etc.). Ce système d'acteurs forme un tout cohérant où chaque acteur dans le système influence les autres et il est de même influencé par les autres. De ce fait, le principe systémique met en avant l'interconnectivité entre l'ensemble des acteurs dont les interactions sont prises en compte pour concevoir des solutions holistiques. Le dernier principe met en lumière la manière dont il est conçu le système dans sa globalité. Il s'agit de comprendre les systèmes comme des entités interconnectées où chaque élément du système est en relation avec le tout.

L'approche socio-écologique est construite sous forme de « systèmes sociaux » d'emboîtements hiérarchisés où l'acteur est au centre et autour de celui-ci existe une série d'environnement, classée du plus proche au plus éloigné de l'individu à la communauté d'individu.

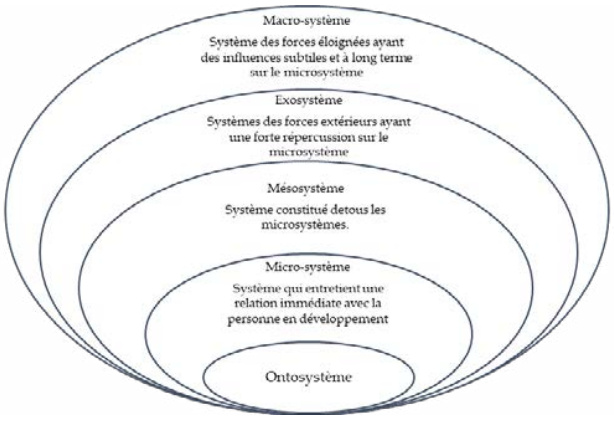


Figure 2 :Modèle socio-écologique de Bronfenbrenner 1979[6]

Il s'agit du modèle de Bronfenbrenner avec ses cinq niveaux (Figure 2). Les différents systèmes (micro-, méso-, exo- et macro-système) reflètent une dynamique réciproque et interdépendante, exprimée par l'interaction entre l'acteur (Onto-système) et les autres systèmes (l'environnement de l'acteur).

RÉSULTATS

L'adaptation de l'onto-système dans la RBA consiste à ajuster les caractéristiques liées aux compétences, aux vulnérabilités et aux déficits de la ressource d'une part et à la population locale d'autre part. Cela signifie la nécessité de tenir compte de la capacité de la population locale à interagir avec l'environnement, gérer ses émotions en considérant la biodiversité, favoriser une compréhension intellectuelle des processus écologiques spécifiques, adopter des comportements respectueux de l'environnement, et identifier et atténuer les vulnérabilités individuelles. En somme, il s'agit d'une approche complète visant à assurer une coexistence équilibrée entre l'homme et l'environnement unique de l'arganeraie.

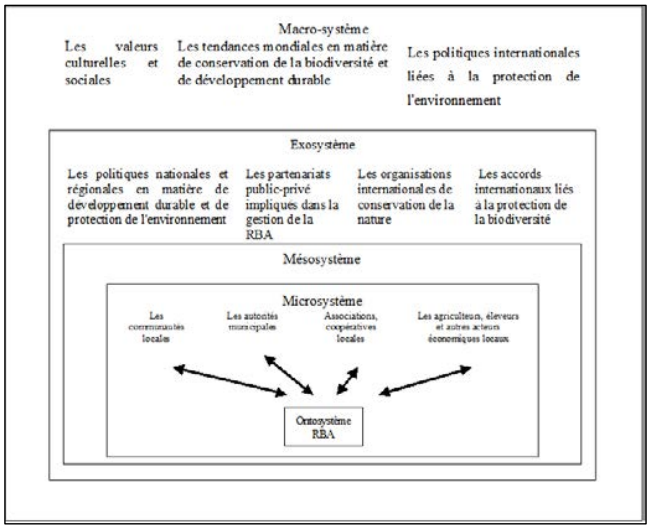


Figure 3 : Système de gouvernance de la RBA basé sur le modèle socio-écologique de Bronfenbrenner[7]

En appliquant le modèle de Bronfenbrenner, les décideurs et les gestionnaires peuvent mieux comprendre les dynamiques complexes qui influent la gouvernance de la RBA à concevoir des stratégies plus efficaces pour promouvoir la durabilité et la conservation des ressources de la réserve.

Au niveau de l'onto-système, on retrouve la RBA qui est au centre des intérêts de l'ensemble des acteurs. Le microsystème se compose des communautés locales, des autorités locales, des associations et coopératives, des agriculteurs, des éleveurs, et autres acteurs qui ont des liens directs avec l'onto-système et que leurs actions influencent de manière directe la RBA. Au niveau du mésosystème, il s'agit des interactions entre les microsystèmes à savoir : les différentes relations qui s'entretiennent au niveau local et qui ont un impact direct sur la RBA. L'exosystème regroupe les directives et les schémas régionaux et nationaux qui tracent le chemin des différentes politiques en matière de développement durable. Ainsi que les partenariats public-privé et les accords internationaux liés à la protection de l'environnement. En fin, les tendances mondiales, les politiques internationales et les valeurs culturelles et sociales qui influencent la gestion des ressources naturelles se trouve au niveau macro-système car ils influencent sur le long terme le microsystème.

La figure ci-dessous affiche les éléments clés du système de gouvernance de la RBA. En parallèle avec les principes de la pensée complexe, on trouve des éléments qui peuvent accompagner dans la complémentarité ces éléments de la pensée complexe.

Renforcement des capacités institutionnelles	Promotion de la participation citoyenne	Application des approches participatives	Mise en place d'une planification spatiale intégrée
• Autorités locales (conseils régionaux, communes) • Ministères concernés (ministère de l'Environnement, ministère de l'Agriculture…) • Organisations internationales et ONG travaillant dans le domaine de la conservation et du développement durable • Universités et centres de recherche	• Communautés locales et populations autochtones • La société civile (associations environnementales, structures locales de développement local) • Autorités locales • Médias locaux et nationaux	• Communautés locales et populations autochtones • Autorités locales et régionales • Organisations de la société civile et groupes de défense des droits • Représentants des jeunes, des femmes et des groupes marginalisés	• Autorités locales et régionales • Experts en urbanisme et en planification territoriale • Organisations de conservation de la nature • Groupes de développement économique local
Renforcement de la coordination horizontale	**Intégration des connaissances et savoir-faire locaux**	**Promotion du dialogue interacteurs**	**Sensibilisation et éducation environnementale**
• Ministères et départements gouvernementaux impliqués dans le développement territorial, l'environnement, l'agriculture, le tourisme, etc. • Autorités locales et régionales • Organisations de développement économique et social • Secteur privé (entreprises locales, industries)	• Communautés locales et populations autochtones • Organisations de développement local • Experts en anthropologie et en études culturelles • Autorités locales et régionales •	• Autorités locales et régionales • Organisations de la société civile et ONG • Secteur privé (entreprises, chambres de commerce) • Représentants des populations locales et autochtones	• Éducateurs environnementaux et spécialistes de la communication • Autorités locales et régionales • Écoles et institutions éducatives • Organisations de la société civile et médias

Figure 4 : Les éléments clés du système de gouvernance de la RBA [7]

Le bon fonctionnement du système de gouvernance de la RBA a besoin d'un renforcement des capacités institutionnelles par la mise en place d'instance d'articulation et de coordination horizontale. Les acteurs participent et collaborent au même niveau, ce qui renforce leur compétitivité et leur créativité pour le développement durable et le bien-être de tout l'écosystème. Il est primordial de bien croiser la décentralisation et la déconcentration au niveau local de la RBA. Ainsi la consolidation d'approches participatives va permettre le renforcement du rôle du local. En outre, l'implication de la population locale dans la prise de décision permet de valoriser et respecter les spécificités locales. En effet, la participation citoyenne favorise l'efficacité dans l'application locale des politiques publiques et gagne de légitimité [8]. Les savoirs-locaux sont une construction et appropriation collective [9] des ressources de la RBA dont l'intégration de ses savoirs et connaissances traditionnelles permet de renforcer le rôle de ses territoires vers leur autonomie. Celle-ci est conditionnée par l'activation écosystémique des ressources dont disposent les collectivités territoriales [10]. Le dialogue interacteurs est un processus qui conduit à valoriser le niveau relationnel [11] pour accroitre l'intérêt commun. Ce processus contribue à développer une vision commune entre les différents acteurs. Et pour mettre en place une planification spatiale intégrée, il est important de regrouper les actions, les politiques et les projets associant les différents acteurs publics et privés [12]. C'est une manière de mettre en cohérence l'ensemble des actions des acteurs territoriaux favorisant l'intersectorialité. Pour accompagner la durabilité, ces actions devraient être accompagnées par des campagnes de sensibilisation de protection de l'environnement ou dans une perspective de la citoyenneté planétaire [13].

DISCUSSION

Le changement climatique dans ses différentes dimensions nécessite l'établissement et le développement d'une politique fondamentale basée sur la résilience et l'adaptation au changement climatique et la tentative d'atténuer ses effets sur la RBA. Cela peut être fait à travers une approche socio-écologique qui favorise la connexion entre les différents niveaux micro, méso, exo et macro et prennent en compte les potentiels écologiques, socio-économiques, politiques ou culturels des zones de la RBA. Elles vont au-delà des vues sectorielles et renforcent les intérêts divergents.

Cette approche représente un chantier très vaste de stratégies, de décisions, voire d'actions. Elle est composée de différents systèmes qui sont le construit d'une diversité d'élites de pouvoir, de parties prenantes ou encore d'acteurs territoriaux. Le développement territorial durable de la RBA passe par le positionnement de ces acteurs en tant que leaders qui mobilise leur perception (mindset) et les mécanismes de concertation et d'implication des autres parties prenantes à résoudre les conflits d'usages et les conflits institutionnels. Ces systèmes encouragent les pratiques respectueuses de l'environnement et socialement responsable et développent l'intersectorialité des actions pour résister aux mutations. Les acteurs permettent ainsi de renforcer leurs capacités vis-à-vis de l'échange et du dialogue au profit du bien-être de

la communauté de la RBA. Le changement climatique est concentré sur la flexibilité et l'adaptabilité, en tant qu'éléments clés de la résilience qui peuvent aider les individus et les organisations à faire face à des situations de perturbations d'une situation initiale caractérisée par la stabilité. La flexibilité permet aux individus et aux organisations (les acteurs) de s'ajuster rapidement aux changements inattendus. Cela peut inclure des ajustements de stratégie, de priorités ou même de structures organisationnelles. Quant à l'adaptabilité, elle signifie que les acteurs sont capables d'apprendre rapidement de nouvelles informations et de s'adapter à de nouvelles circonstances de la gouvernance. De ce fait, l'approche socio-écologique permet une réponse rapide et efficace aux défis de perturbations de changement climatique.

CONCLUSIONS

L'émergence de nouveaux acteurs du développement, leur augmentation et leur multiplicité au sein de la RBA, nécessitent la création d'approches innovantes et résilientes tel que le modèle écologique. Ce modèle avec sa constitution imbriquée permet l'intégration efficace du changement climatique dans les différents niveaux (micro-, méso-, exo- et macro-système). L'imbrication reflète une dynamique réciproque et interdépendante, exprimée par l'interaction entre la RBA (Onto-système) et les autres systèmes. Ce qui est devenu une exigence urgente à réaliser pour relever les défis de l'épuisement des ressources de la RBA, label Mab de l'UNESCO.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Reed, J., Van Vianen, J., Deakin, E. L., Barlow, J., & Sunderland, T. (2016). Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future. Global change biology, 22(7), 2540-2554.

2 .Welling, L., Rockman, M., Watson, J., Mackey, B., Potts, A. (2015). Le rôle du patrimoine mondial face au changement climatique. In. Revue du patrimoine mondial, 77, p. 4-13, illus. Publishing for Development Ltd. ISSN : 1020-4520. Londres, Royaume-Uni.

3. Conseil international de coordination du Programme sur l'Homme et la biosphère, 28th, Lima, 2016, UNESCO

4. La Stratégie MAB 2015-2025

5. El Hage, F., Reynaud, C. "L'approche écologique dans les théories de l'apprentissage : une perspective de recherche concernant le « sujet-apprenant »", Éducation et socialisation [Online], 36(2014). DOI:https://doi.org/10.4000/edso.1048

6. Bronfenbrenner U, Evans GW. Development Science in the 21st century: Emerging questions, theoretical models, research designs and empirical findings. Social Development 2000; 9(1): 115-125.

7. Construction by the authors, 2024

8. (2022). La participation citoyenne : définitions, méthodologies et état des lieux. Action publique. Recherche et pratiques, 13, 6-14. https://doi.org/10.3917/aprp.013.0006

9. Linck, T. 2019. Chapitre 3 - La mise en spectacle des savoirs locaux, levier de l'intégration des « arrière-pays » marocains ?. In Verdeaux, F., Hall, I., &Moizo, B. (Eds.), Savoirs locaux en situation : Retour sur une notion plurielle et dynamique. Éditions Quæ. Tiré de http://books.openedition.org/quae/26283

10. Aubelle, V. & Kerrouche, É. (2021). Quelle autonomie territoriale ?. Dans : , V. Aubelle &É. Kerrouche (Dir), Parlons décentralisation: en 30 questions (pp. 32-33). Paris: La Documentation française.

11. Guntzburger, Y., Lecourt, V. &Pauchant, T. (2014). Le dialogue au service du changement, de l'apprentissage et de l'éthique dans les organisations. Gestion, 39, 114-121. https://doi.org/10.3917/riges.394.0114

12. Demazière, C. (2016). Réformes de la planification spatiale et gestion « durable » des grandes agglomérations: Les cas de l'Angleterre et de la France. Revue d'ÉconomieRégionale&Urbaine, , 81-100. https://doi.org/10.3917/reru.161.0081

13. Elamé, E. 2010. Chapitre 6. Actions pour une éducation environnementale interculturelle construite autour des contes. In La Branche, S., &Milot, N. (Eds.), Enseigner les sciences sociales de l'environnement : Un manuel multidisciplinaire. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion. doi :10.4000/books.septentrion.15361.

Les projets de développement local face aux défis des comportements des acteurs dans la Réserve de Biosphère de l'Argeneraie

KASSOU Souhir[1]*, BENHSAIN Wafaa[1], BOUJROUF Said[2] .

[1] *Doctorantes au Laboratoire des Etudes sur les Ressources, Mobilités et Attractivité (LERMA), Faculté des lettres et sciences humaines, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.*

[2] *Professeur, Faculté des lettres et sciences humaines, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.*

* *kassou.souhir@gmail.com*

RÉSUMÉ

L'arganier fait face aux défis du changement climatique plus qu'avant, la sécheresse persistante d'un côté et les pratiques humaines non adéquates d'un autre coté ne font qu'empirer de plus en plus son état. En réponse à cette situation, plusieurs programmes et projets ont vu le jour pour lutter contre la dégradation de cet arbre précieux, ceci vise parallèlement le côté social et environnemental : à travers le renforcement des capacités des acteurs, la sensibilisation de la population locale à propos de l'état de l'arganier, la création des activités génératrices de revenu en faveur de cette population et aussi à travers le recours à la technique de régénération de l'arganier agricole. Le présent travail concerne l'étude de l'impact, les forces, les limites et les contraintes d'une approche par projet pour un développement local durable dans la RBA. Par cette même occasion, nous essaierons d'évoquer l'importance du côté relationnel et communicationnel entre les acteurs dans la réussite des projets du territoire. Cette étude s'appuie sur des conclusions tirées des sorties de terrain tenues en 2023 dans le cadre de notre recherche doctorale, à propos d'un projet d'arganiculture à Essaouira. Il ressort de ce travail de recherches, que le destin des projets destinés pour l'atténuation des effets du changement climatique au niveau de la RBA est variable selon l'adhésion, l'acceptation et l'aspect comportemental des populations locales.

Mots clés
Arganier, comportements des acteurs, projets, changement climatique, communication, développement local.

ABSTRACT

Local development projects facing the challenges of stakeholder behavior in the Argeneraie Biosphere Reserve

Morocco is currently experiencing a severe drought that is affecting all living environments, and the Argeneraie Biosphere Reserve (ABR) is not spared. Among the measures undertaken by the government to palliate this phenomenon, we initially cite programs and projects aimed at regenerating and preserving the argan tree. These include the establishment of good environment and social practices, through capacity building for the reserve's stakeholders, raising awareness among local populations regarding the principles of preservation and allow their economic integration, and finally resorting to the generation of the argan tree by planting. This work involves the study of impact, strengths, limits and constraints of a case study of the initiatives mentioned, based on a project approach.

At the same time, we highlight the important role that inter-actor communication has on the implementation of these interventions. Indeed, the proven importance of this work is based on conclusions drawn from fieldwork carried out in 2023 on a project of argan tree plantation located in the province of Essaouira. It merges that the success of projects in the ABR differs depending on the support, acceptance and behavior aspects of local population.

Keywords
Argeneraie Biosphere Reserve (ABR), stakeholder behavior, projects, climate change, communication, local development

INTRODUCTION

Le climat au Maroc est marqué par des sécheresses récurrentes ces dernières décennies. Les différentes évaluations de l'état actuel de l'espace arganier soulèvent la nécessité du renforcement des programmes et projets qui ont pour objectif sa régénération et sa préservation.

Le présent travail a pour objectif dans un premier temps, l'étude de l'impact, des forces, des limites et des contraintes d'une approche par projet pour un développement local durable dans la RBA. Le cas du projet de mise en place de l'arganiculture en environnement dégradé- DARED dans la province d'Essaouira, piloté par l'Agence Nationale des Zones Oasiennes et d'Arganier (ANDZOA). Ce dernier a pour ambition le renforcement de la résilience des communautés rurales et de la réserve de biosphère de l'arganier (RBA) face au changement climatique. Du coté social, économique et environnemental, il a pour aspiration l'amélioration des conditions de vie des populations locales en particulier des femmes, dans une optique de soulager la pression anthropique sur la forêt naturelle de l'arganier et améliorer la production et la productivité de cet arbre.

Dans un deuxième temps, nous essaierons d'évoquer l'importance du côté relationnel et communicationnel entre les acteurs dans la réussite des projets du territoire. Et plus précisément traiter le cas des comportements des acteurs locaux dans leur relation avec la gestion de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie. Si nous pouvons avancer des résultats à ce propos, on pourrait dire que la majorité des populations rurales sont conscientes de l'importance de l'arganiculture or que certains effets des comportements comme la méfiance, la responsabilité et les principes d'éthiques, vis-à-vis des programmes étatiques, produisent un blocage et une réticence de la part de certaines catégories de populations. Comment peut-on influencer positivement les comportements des acteurs pour atteindre les objectifs des projets de développement au sein de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie ? Et quels critères à prendre en considération pour réussir une approche par projet ?

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de répondre à cette problématique et en se référant aux objectifs posés, cette étude se base sur la recherche bibliographique en premier temps et aussi sur des conclusions issues à partir des discours, avec des acteurs administratifs et associatifs, effectués lors de nos visites de terrain dans la province d'Essaouira dans le cadre de notre travail de thèse en 2023. Cela comprends le Département Provincial d'Agriculture, l'Agence Nationale des Eaux et Forêts, l'Agence Nationale des Zones Oasiennes et d'Arganier, la Province d'Essaouira et les bénéficiaires du projet DARED au niveau de la Commune Ezzaouite, province d'Essaouira.

Les interfaces effectives d'un projet, ouvrent une multiple réflexion sous différents angles : autour du projet, au-delà du projet, dans le projet et par le projet. Sous lesquels va se faire une interprétation de nos résultats, combinés entre théorie et pratique (le cas du projet d'arganiculture dans la RBA). Cette différenciation des approches par projet a été utilisée notamment dans le domaine des recherches en architecture[1]. S'ajoutant à ça une interprétation par les comportements des acteurs dans leur relation avec leur environnement local.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1.L'arganiculture : une vue sociale d'un projet d'espoir

La recherche autour du projet vise à expliquer et appréhender le contexte historique du territoire, notamment : les politiques existantes, l'économie de base et la culture de la population étudiée. Dans notre territoire d'étude, le cas du projet DARED a favorisé l'organisation de plusieurs campagnes de sensibilisation au profit des populations cibles afin d'expliquer les attentes du projet et les convaincre à exprimer leur adhésion. Le caractère volontaire de cette approche donne le choix d'accepter ou de refuser librement l'exécution du projet, ce qui exprime l'innovation dans la mise en œuvre des projets de développement dans la RBA. Dans d'autres recherches c'est une innovation dans la gestion de la réserve par le changement des taches traditionnelles de son organe de gestion[2]. Dans le cas d'un accord, un diagnostic territorial participatif se fait au préalable avec la population locale ciblée. Au niveau de cette interface du projet, les défis rencontrés font objet de certaines résistances de la part des populations locales, du fait que celles-ci détiennent toujours la peur vis-à-vis des approches non participatives des programmes étatiques adoptés auparavant. Cependant, l'écho de la réussite de la première expérience de ce projet d'arganiculture, le cas de la commune de Bizdad dans la province d'Essaouira, a permis l'influence positive de l'avis des autres populations, à compter 12 communes territoriales achevés au niveau de la même province. Dans l'optique d'une approche participative, chaque territoire doit disposer de son propre jeu du territoire «territory game »[3], c'est un système qui favorise l'apprentissage collaboratif et la création d'un nouveau modèle de gouvernance territoriale, ainsi son évaluation se repose sur : la création d'une plateforme de dialogue, la constitution d'une vision partagée du territoire et le renforcement de la capacité de responsabilisation des acteurs.

La recherche au-delà du projet, est une approche

qui permet d'anticiper les effets non programmés extérieures au processus de réalisation du projet. Dans ce contexte, les défis de la sécheresse et du changement climatique que font face plusieurs communes de la Reserve de Biosphère de l'Arganeraie se manifestent. L'exemple des populations bénéficiaires du même projet au niveau de la commune *Ezzaouite* (Province Essaouira), réclament la contrainte du manque des ressources en eaux pour irriguer les parcelles plantées de l'arganier suite aux effets de la sécheresse, et par conséquence leur incapacité d'assurer financièrement les frais d'irrigation après la fin de sa prise en charge par le projet durant les trois premières années par le biais d'une entreprise privée. En conséquence, on assiste à un double déséquilibre non programmé : sur le plan paysager ou environnemental, les parcelles plantées des bénéficiaires qui disposent des moyens financiers surmontent la crise de la sécheresse, par contre ceux qui n'en disposent pas leurs parcelles risquent de se dégrader. Ensuite sur le plan social, les participants peuvent se sentir démotiver et puis exprimer un désengagement face à cette situation. Comment peut-on donc surmonter les effets du changement climatique pour assurer la continuité des projets environnementaux ?

Quant à la recherche dans le projet, celle-ci permet dans notre cas de construire une réflexion sur les réseaux provoqués par le projet au niveau local, et soulever le rôle des différents acteurs intervenants dans le processus de sa réalisation. Parmi les retombés positifs sociaux et organisationnels du projet au niveau des communes territoriales adhérentes, les acteurs locaux se sont structurés dans un cadre légal organisé sous une forme d'organisation professionnelle-OP qui permettra de renforcer leurs liens de communication, d'échanger sur les problématiques de leur territoire et aussi de favoriser la communication entre la société civile et les administrations provinciales. Le projet de territoire est bien le projet des acteurs concernés qui s'engagent à le mener à bien[4]. Dans l'étude engagée par l'ANDZOA il a été confirmé nécessaire la structuration territoriale de l'aire géographique de l'Arganeraie [5] par la création des associations, coopératives et GIE.

En fin, cette combinaison entre la théorie qui se base sur les recherches scientifiques universitaires et les situations dans la réalité qui sont les sorties de terrain des agents administratifs chargés du projet, est celle qui permet de construire une approche par le projet.

3.2.Les défis des comportements des acteurs face aux projets de la RBA

Dans cette partie, notre réflexion part du fait qu'il est possible que la source des contraintes du développement territorial puisse être un aspect humain de base comportementale. Cependant la question qui se pose est comment influencer les populations afin de provoquer des changements positifs pour un développement responsable et durable de l'Arganeraie. Face à l'ancien modèle d'implantation des projets que nous avons déjà mentionné ci-dessus et en réponse à cette question, il nous apparait opportun d'apporter dans cette partie l'apport de l'approche de communication pour les changements sociaux dans le développement local et la préservation de l'Arganeraie. Notre constat par du fait que les aspects des populations locales de l'Arganeraie tels que leurs connaissances, attitudes, normes, croyances, et comportements, influencent la conduite des projets de développement et puis le futur de la réserve. Ce qui interpelle la nécessité d'ouvrir un dialogue persistant entre les acteurs institutionnels et les acteurs locaux afin d'assurer la durabilité de leurs pratiques.

L'évaluation des indicateurs d'influence sur les comportements des acteurs :

La confiance, la responsabilité et les principes d'éthiques sont trois indicateurs influençant les comportements des acteurs dans la RBA. Le manque d'échange et de communication entre les intervenants d'un projet à destination des populations locales provoque un sentiment de méfiance entre ceux-ci, ce qui influence négativement leurs comportements et puis l'atteinte des objectifs des projets. Par conséquence les principes de transparence et de gouvernance de la réserve sont alors mis en question. Le cas contraire de l'effet positif que peut provoquer la confiance entre les acteurs gestionnaires du projet d'un côté et les bénéficiaires de l'autre côté. De même, des études confirment que toute institution qui ne communique pas leurs activités ni pourquoi ou comment elles sont traitées, provoque désintérêt, soupçons et méfiance[7].

Au niveau de la RBA, la responsabilité des acteurs envers le maintien de l'écosystème à arganier est un comportement qui doit être précieusement « éduqué », du fait qu'il peut influencer positivement ou négativement les décisions, l'engagement, la réussite des projets et les actes de préservation. On en distingue trois catégories d'acteurs : la première a une vision économique elle devient responsable puisque son revenu se voit menacé par son action, l'autre est responsable par principe d'appartenance au territoire et d'héritage immatériel existant, puis la troisième catégorie est celle qui demande plus d'accompagnement du fait qu'elle ne présente aucun des critères précédents et cherche le profit sans pour autant préserver.

Par rapport à l'influence provoquée par les principes d'éthiques, les pratiques traditionnelles qui caractérisent la société de l'RBA tendent à disparaitre, prenons l'exemple des anciens modes d'exploitations et les formes de solidarité et d'entraide dans les communes rurales, comme le travail de khammès et

le rbâa, la twiza et aussi la Jmâa qui s'est remplacée actuellement par une nouvelle organisation sociale principalement une association ou coopérative ou encore GIE. Ces savoirs locaux et ces modes d'organisation sont ceux qui ont forgé des sociétés unies avec pour objectif un développement réfléchi et durable, or qu'aujourd'hui les populations locales de la majorité des territoires de la RBA se voient se libérer de ces traditions et s'intègrent à des organisations plutôt à caractère économique, ce qui évoque le changement de leur mentalité et puis de leur comportements. Cette situation a accentuée la dégradation de l'arganier perçu en tant qu'arbre productif de la valeur économique plutôt que forêt durablement habitable. Par ailleurs, la prise en conscience de l'importance des pratiques ancestrales dans la conservation de l'Arganeraie, par les organes étatiques, a permis de protéger quelques-unes de ces pratiques, par exemple le projet de loi émis pour réglementer la pratique de l'Agdal.

La bonne conduite de ces critères détaillés ci-dessus, permettra d'influencer positivement les comportements des acteurs, à l'encontre d'une mauvaise utilisation de leur influence peut se transformer négativement tout en formant une entrave du processus de développement local.

CONCLUSION

Il ressort de la présente étude, la nécessité de prendre en considération plusieurs dimensions d'un projet (autour, au-delà, dans et par le projet) dans sa réalisation, afin de favoriser les chances de sa réussite. Par ailleurs, il faut se méfier des impacts que pourrait avoir les critères de confiance, de responsabilité et des principes d'éthiques sociales sur les comportements des acteurs. Ainsi, il est nécessaire de favoriser une communication participative de développement « vers une maturité environnementale » dans les projets du territoire. La communication pour le développement est généralement saisie comme l'utilisation rationnelle, structurée, organisée des moyens de communication médiatiques et non médiatiques pour encourager le développement en stimulant la participation active et responsable des acteurs et bénéficiaires[10]. Elle suppose un rapport de partenariat et de réciprocité permettant l'adéquation des messages à la réalité du territoire. Les contenus, les formes, les méthodes et les moyens de la communication doivent correspondre aux besoins, aspirations et systèmes des valeurs des acteurs.

Dans sa nouvelle stratégie de développement, l'Etat marocain se voit fournir des efforts permettant le changement du mode traditionnel de gestion des projets de développement, à travers le recours aux approches participatives avec les acteurs locaux. Pour atteindre cet objectif il se voit important de renforcer les ateliers de sensibilisation avec les populations locales afin de re-constituer une nouvelle image sur les projets de territoire, qui permettra par la suite à re-gagner leur confiance et puis de changer leur comportements vis-à-vis de la préservation de l'arganeraie. « Tous les éléments convergent pour souligner le rôle central d'une plateforme de dialogue, d'un soutien politique et de la qualité de la coordination menée au niveau local afin de réussir à façonner un projet territorial viable. »[2].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Mazel I, Tomasi L. Approche du projet dans la recherche doctorale en architecture n.d.

[2] Benhsain W, Boujrouf S. INNOVER PAR LE LABEL MAB-UNESCO: OPPORTUNITÉS DE DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL ET DURABLE DE LA RÉSERVE DE BIOSPHÈRE D'ARGANERAIE ? 2022.

[3] Angeon V, Lardon S. Participation and governance in territorial development projects: the "territory game" as a local project leadership system. International Journal of Sustainable Development 2009.

[4] Courlet C, Kadiri NE, Fejjal A, Jennan L. Le projet de territoire comme construit d'acteurs et processus de révélation des ressources : l'exemple marocain. GéoDév.ma 2013;1. https://doi.org/10.48343/IMIST.PRSM/geodev-v1.612.

[5] RAPPORT DU PROJET « MISE EN PLACE DE L'ARGANICULTURE EN ENVIRONNEMENT DEGRADE » DARED n.d.

[6] Bahi A. Anthropo-logiques de la communication. Pour une approche anthropologique de la communication et des changements sociaux. Langaa 2016.

[7] Mégard D. Sur les chemins de la communication publique: Les Cahiers Dynamiques 2005;n° 35:26–30. https://doi.org/10.3917/lcd.035.0026.

[8]Lauriol J. Le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine. Revue française de gestion 2004;152:137–50. https://doi.org/10.3166/rfg.152.137-150.

[9] Faouzi H. L'arganeraie marocaine, un système traditionnel face aux mutations récentes : le cas du territoire des Haha, Haut Atlas occidental. Norois 2017;242:57–81. https://doi.org/10.4000/norois.6048.

[10] Bahi AA. Élaboration des messages en communication pour la santé et problématique du changement de comportement n.d.

[11] Angeon V, Lardon S. Participation and governance in territorial development projects: the "territory game" as a local project leadership system. International Journal of Sustainable Development 2008;11:262–81. https://doi.org/10.1504/IJSD.2008.026505.

Analyse des préférences et des consentements à payer des consommateurs japonais pour les produits cosmétiques à base d'huile d'argan

Taha Lahrech [1*], Yuki Maruyama [2], Kenichi Kashiwagi [3] , Noureddine Ibnezzyn [4] .

[1] *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II ;*

[2] *Policy Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan ;*

[3] *University of Tsukuba, Japan ;*

[4] *Agence Nationale de développement des zones oasiennes et de l'arganier ;*

** lahrech.med.taha@gmail.com*

Mots clés
Huile d'argan cosmétique, préférences des consommateurs, best worst scaling, logit mixte multinomial.

RÉSUMÉ

L'huile d'argan suscite un intérêt fort sur le marché mondial, notamment celui des produits cosmétiques. Pour contribuer à mieux répondre au besoin des consommateurs étrangers, nous nous intéressons dans ce travail aux préférences des consommateurs japonais vis-à-vis des principaux attributs des produits à base d'huile d'argan, à savoir le type de labels, les prix, la catégorie de produit et la teneur en huile d'argan. Pour répondre à cet objectif, la méthode best worst scaling (BWS) multi-profile a été employée. Un questionnaire organisé en dispositif de blocs incomplets équilibrés a été diffusé en mars 2022, en ligne, où 640 consommateurs japonais ont répondu, et dont les données ont été analysées à travers un modèle logit multinomial. Il en est ressorti une certaine appétence des consommateurs pour la catégorie shampoing en particulier (consentement à payer (CAP) additionnel de +920 Yens), pour la teneur élevée en huile d'argan (+2222 Yens), et pour les certificats de commerce équitable (+738 Yens) et de label écologique (+648 Yens). Les résultats obtenus ont permis d'évaluer l'impact des attributs étudiés sur la valorisation des produits à base d'argan. Ils devraient être complétés par des recherches complémentaires pour alimenter en perspective une politique de commercialisation à l'étranger qui soit percutante.

Keywords
Argan oil cosmetics, consumer preferences, best-worst scaling, mixed multinomial logit

ABSTRACT

Analysis of Preferences and Willingness to Pay of Japanese Consumers for Argan Oil-Based Cosmetic Products

Argan oil is attracting significant interest in the global market, particularly in the cosmetics sector. To better meet the needs of foreign consumers, this work focuses on the preferences of Japanese consumers regarding the main attributes of argan oil-based products, namely the type of labels, prices, product category, and argan oil content. To achieve this objective, the multi-profile best-worst scaling (BWS) method was employed. An online questionnaire, organized in a balanced incomplete block design, was distributed in March 2022, with 640 Japanese consumers responding. The data was analyzed using a multinomial logit model. The results indicated a notable preference among consumers for the shampoo category in particular (willingness to pay (WTP) an additional 920 Yen), for high argan oil content (an additional 2222 Yen), and for fair trade certificates (an additional 738 Yen) and eco-labels (an additional 648 Yen). The results allowed for the evaluation of the impact of the studied attributes on the valuation of argan oil-based products. These findings should be supplemented by further research to contribute to a compelling foreign marketing strategy.

INTRODUCTION

L'huile d'argan suscite un intérêt fort sur le marché mondial, en particulier celui des produits cosmétiques. Afin de favoriser une meilleure commercialisation et valorisation de l'huile d'argan à l'étranger, il importe de connaitre, au préalable, les préférences et le positionnement des consommateurs étrangers que l'on vise par rapport aux attributs des produits à base d'huile d'argan. Cette démarche s'inscrit dans la vision de développer la filière argan à travers la haute valorisation, dans une conjoncture où la croissance par la production pâtit de turbulences climatiques désormais structurelles.

Le marché japonais en l'occurrence, objet de notre étude, et troisième marché mondial des cosmétiques par ailleurs, est large, rémunérateur et dynamique. L'observation in situ de ce marché et les entretiens préalables avec des experts ont confirmé que les consommateurs japonais sont disposés à payer des prix élevés lorsque le produit répond à leurs exigences en termes de qualité et d'attributs.

Nous nous intéresserons spécifiquement dans ce travail aux préférences des japonais vis-à-vis de trois (grandes) catégories de produits cosmétiques à base d'huile d'argan que sont le shampoing, le traitement pour cheveux et la crème hydratante, en analysant les labels, la teneur en huile et le consentement maximal à payer. Nous pouvons ainsi décliner cet objectif global en objectifs spécifiques comme suit:

- Connaitre le/les produits cosmétiques et niveaux d'attributs préférée des consommateurs japonais ;
- Calculer la Propension marginale à payer des consommateurs pour le produit préféré et les niveaux d'attributs du produit.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Nous avons employé la méthode Best-Worst Scaling (BWS) multi-profile, qui est une approche d'expérience de choix hypothétiques, utilisée en recherche marketing pour mesurer les préférences des répondants en simulant des combinaisons d'attributs. Les données ont été collectées via une enquête réalisée au Japon en mars 2022, en ligne, où 640 consommateurs japonais ont répondu en classant leurs préférences selon le modèle décrit ci-après.

Pour établir le plan d'expérimentation, nous avons établi une matrice factorielle fractionnaire (FFD), dans laquelle nous avons combiné tous les attributs, se rapportant en l'occurrence à la catégorie d'appartenance du produit (shampoing, traitement ou crème hydratante), sa teneur en huile d'argan (aucune, faible, élevée), un label (aucun, fair-trade, écolabel) et un niveau de prix (de 1 à 6, pour chacun des 3 produits). A l'issue de cette matrice, 216 combinaisons d'attributs ont été formées et numérotées. A titre d'exemple, celle-ci est une des 216 combinaisons obtenues: produit shampoing, niveau de prix N°3, label de commerce équitable, faible teneur en huile d'argan.

Tableau 1. Schématisation du bloc incomplet équilibré (BIBD).

Bloc	Questions	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
1	1	54	85	207
1	2	37	80	168
1	3	24	144	193
...	...	46	128	181
1	12	67	114	146
2	1	50	76	148
2	...	18	84	194
2	12	17	125	204
...	...	5	85	186
6	12	70	104	208

Par la suite, nous avons établi un dispositif de blocs incomplets équilibrés (BIBD), dans lequel nous avons réparti les répondants sur des blocs de question (6 blocs au total). Dans son bloc, le répondant devra répondre à 12 questions, où chacune consiste à classer 3 combinaisons de produits du meilleur au pire, selon leurs préférences (Cf. Table 1).

Les réponses ont été analysées via le logiciel R à travers un modèle logit multinomial (MNL), qui est un modèle probabiliste de choix discret basé sur la théorie de l'utilité aléatoire, donné par la formule suivante :

$$y_j = \beta_0 + \sum_{i=1}^{j} \beta_z Z_{ij} + \varepsilon_j \qquad (1)$$

Où Z est niveaux d'attribut caractéristiques aux alternatives telles que le type de produit cosmétique, la teneur en huile d'argan, le label et le prix ; Y est La variable de choix (1/O).

RÉSULTATS

3.1. Résultats du modèle de régression logit multinomial

Nous avons appliqué une régression logit multinomiale pour tenter d'expliquer la préférence des consommateurs à travers les prix, la teneur en huile (par rapport à zéro contenance), le type de label (par rapport l'absence de label), et la catégorie de produit shampoing ou crème hydratante (par rapport au soin capillaire). Les résultats sont donnés par le tableau suivant :

Table 2. Résultat du modèle de régression logit multinomial.

	Coefficient	Exp (Coef)	SE (Coef)	z	p	
Prix sham-pooing	-3,67E-04	1,00E+00	5,68E-05	-6,45	1,12E-10	***
Prix soin capillaire	-3,56E-04	1,00E+00	2,33E-05	-15,301	< 2e-16	***
Prix crème hydr.	-4,15E-04	1,00E+00	2,27E-05	-18,268	< 2e-16	***
Teneur faible	4,13E-01	1,51E+00	2,78E-02	14,844	< 2e-16	***
Teneur élevée	8,15E-01	2,26E+00	2,86E-02	28,505	< 2e-16	***
Label écologique	2,37E-01	1,27E+00	2,74E-02	8,679	< 2e-16	***
Label com-merce equt.	2,71E-01	1,31E+00	2,75E-02	9,831	< 2e-16	***
Produit shampooing	3,37E-01	1,40E+00	8,46E-02	3,986	6,71E-05	***
Produit Crème hydr.	1,18E-01	1,13E+00	6,74E-02	1,757	0,0788	

Tous les attributs considérés dans le modèle sont très hautement significatifs à 0,1%, à l'exception de la crème hydratante qui n'est pas significativement préférée à la base « soins capillaire ». La considération de la catégorie Shampoing, des labels, de la contenance à teneurs variables impactent tous positivement la préférence des consommateurs. Quant aux prix, leurs coefficients sont négatifs (cas des biens typiques), indiquant qu'ils impactent négativement le choix des produits concernés.

3.2. Les propensions additionnelles à payer (PAP)

Sur la base des résultats du tableau précédent, nous avons calculé l'élasticité prix de chaque attribut, qui reflète la propension additionnelle à payer (PAP) pour chaque attribut caractérisant le produit à base d'une huile d'argan.

Table 3. Propension additionnelle à payer (PAP) par attribut, pour la catégorie shampoing à base d'huile d'argan.

Attributs	CAP additionnel moyen (JPY)	Limite 2,5%	Limite 97,5%
Teneur faible	1126	834	1628
Teneur élevée	2222	1697	3186
Label écologique	648	453	962
Label commerce équit.	738	520	1101
Produit Shampoing	920	585	1215

En moyenne, dans le cas de la catégorie shampoing par exemple, les consommateurs japonais sont prêts à payer un supplément de 1126 JPY pour une teneur faible en huile d'argan, et 2222 JPY pour une teneur élevée, par rapport à une situation sans contenance en huile d'argan. Ils sont aussi prêts à payer un supplément de 648 JPY pour une référence au label écologique, ou 738 JPY pour le commerce équitable, par rapport à une situation sans label. Ils sont aussi prédisposés à payer un supplément de 920 JPY pour la catégorie sampoing par rapport à notre référence statistique traitement pour cheveux.

DISCUSSION

Les résultats obtenus confirment l'intérêt des consommateurs japonais pour des attributs tels que les labels, la teneur en huile et la catégorie du produit (une préférence remarquée pour la catégorie shampoing). Ils reflètent aussi un consentement à payer additionnel pour l'existence de ces attributs. Des études préalables [1] montrent que le consentement à payer des japonais dépend aussi d'autres variables telles que la connaissance de l'huile d'argan et son expérimentation. Ces résultats traitent de questions préliminaires, et devraient être complétées par des études plus poussés en termes d'origine, de packaging, de marque et de test des produits, pour permettre aux coopératives nationales de gagner des parts de marché dans le segment des produits raffinés ou semi-raffinés.

Ces études devraient être considérées dans une politique de commercialisation plus percutante, qui s'étend au-delà du renforcement des capacités des coopératives et qui prospecte les grands marchés étrangers à la manière d'un business privé, à l'image notamment de l'OCP dans certains pays partenaires. Cette pénétration a été remarquée au Japon dans le cas de l'huile d'olive par les italiens qui ont organisé des campagnes de dégustation, de test, et des expérimentations réelles à partir des feedbacks des consommateurs japonais, et qui ont pris de l'avance sur les producteurs grecs et tunisiens.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Louviere, J., Flynn, T., & Marley, A., Best–Worst Scaling: Theory, Methods and Applications. Cambridge, UK, 2015: Cambridge University Press.

2. Lahrech, M.T.; Nahri, H., Maruyama, Y., Kashiwagi, K ., Maatala, N., Isoda, H., Benabdellah, M., Interval regression analysis of the Japanese consumer's preference for cosmetic argan oil, 2022, Volume 32, Issue S, Pages 283-287.

دور المعارف المحلية والممارسات الثقافية في استدامة غابة الأركان بمناطق الأطلس الصغير الغربي

محمد ابلا[1،*] ، محمد سلمي [2]

[1]طالب باحث في سلك الدكتوراه، مختبر "الإنسان المجتمعات والقيم"، جامعة ابن طفيل – القنيطرة.

[2]أستاذ باحث في علم الاجتماع، مختبر "الإنسان المجتمعات والقيم"، جامعة ابن طفيل – القنيطرة.

[*]mohamed.oubella@uit.ac.ma

ملخص

تهدف هذه المساهمة إلى إبراز الخصوصية الثقافية والاجتماعية لغابة الأركان ببعض مناطق الأطلس الصغير الغربي، وذلك من خلال مجموعة من الأشكال الثقافية والاجتماعية، التي لعبت فيها معارف المجموعات البشرية المحلية وممارساتها الثقافية ومعتقداتها، دورا ملفتا للاهتمام في عملية استدامة الغابة وحفظ تنوعها الإيكولوجي.

كما سنهتم في هذا الإطار بتبيان الكيفية التي تعمل بها معارف السكان المحليين وأنشطتهم الثقافية والدينية، على استدامة النظام الإيكولوجي لغابة الأركان، على النحو الذي جعل من المجال الحيوي للغابة، مكانا يحظى بأهمية ثقافية وسط السكان.

الكلمات المفتاحية

غابة الأركان، المعارف المحلية، الثقافة، الاستدامة، الأطلس الصغير الغربي.

ABSTRACT

The Role of Local Knowledge and Cultural Practices in the Sustainability of the Argan Forest in the Western Anti-Atlas Areas

This contribution aims to highlight the cultural and social particularity of the Argan forest in some areas of the Western Anti-Atlas. In this regard, considers a set of cultural and social patterns, where knowledge, cultural practices, and beliefs of local human groups have played a remarkable role in the process of sustaining the forest and preserving its ecological diversity.

Within this framework, we will also focus on demonstrating how knowledge, cultural, and religious behaviors of the local population fosters sustainability of the Argan forest ecosys-tem. This has made the forest's biosphere a place of cultural importance for the population.

Keywords

Argan Forest, Local knowledge, Culture, Sustainability, Western Anti-Atlas.

مقدمة

تنفرد مناطق الأطلس الصغير الغربي عن غيرها من مناطق بلاد الأركان، بانتشار غابة الأركان في شكل جزر غابوية على طول الحدود التي تفصل بين المجموعات القبلية للمنطقة (حالة أيت باعمران وأيت السيحل)، وأيضا بين المجموعات البشرية المشكلة للقبيلتين. وتعرف هذه المجالات الغابوية الحدودية كثافة مهمة لأشجار الأركان، ويعزى ذلك إلى عوامل إيكولوجية واجتماعية، جعلت مجتمعة من هذه الحدود أماكن إيكولوجية ذات أهمية ثقافية وسط السكان، نظير كونها ملاذا للعديد من المزارات وأضرحة الأولياء، مما جعلها تتسم بخصوصية مجالية وثقافية كتلك التي تظهر في بعض نماذج الغابات بالمنطقة (مثلا غابة إكي إيوريغ في النفوذ الترابي لجماعة أربعاء الساحل – إقليم تزنيت).

لقد طورت المجموعات البشرية بهذه المناطق، وعلى المدى الطويل من تاريخها المشترك مع أشجار الأركان ومن تجربتها الثقافية مع الغابة، مجموعة من المعارف التقنية المحلية والممارسات ونظم التدبير الاجتماعي والثقافي التي مكنتها، ليس فقط من التمتع بمنافع وخيرات الغابة (زيت الأركان، الأخشاب...)، ولكن على وجه التحديد، من توظيف أنماط إنتاجها ومعارفها وأساليب حياتها ومعتقداتها في استدامة الغابة وحفظ توازنها الإيكولوجي.

الاختيارات المنهجية

انطلق هذا العمل من إشكالية مدارها حول مطارحة النظر في الكيفية التي تعمل بها معارف السكان المحليين وممارساتهم الثقافية على استدامة غابة الأركان وحماية تنوعها الإيكولوجي، وذلك من خلال خبرة اجتماعية وثقافية تراكمت على مدار تاريخ استيطان هذه المجموعات البشرية للغابة، وأيضا على مدار تاريخ علاقتها بهذا المجال الحيوي المهم لديها.

شملت التحريات الميدانية في هذا الإطار، بعض المواقع بكل من الجماعة الترابية أربعاء الساحل بإقليم تزنيت، والجماعات الترابية لتيوغزة وميراللفت وتنكرفا بإقليم سيدي إفني. كما جرى الاشتغال بتقنيات الملاحظة بالمشاركة والملاحظة المباشرة وتحليل مضمون بعض الوثائق، وقد تم الاستناد كذلك إلى بيبليوغرافيا غنية تشمل جملة من الدراسات الميدانية التي أنجزت من طرف باحثين متخصصين في مجال الأركان، خاصة منها أعمال الباحث الفرنسي في الأنثروبولوجيا الإيكولوجية رومان سيمنيل.

نتائج وخلاصات العمل

يظم المجال المدروس العديد من المواقع الغابوية المتميزة بخصوصية مجالية وثقافية قل نظيرها، من حيث كونها كانت تحظى وسط السكان المحليين بأهمية ثقافية مثيرة للفضول والاهتمام، ونذكر من بينها على سبيل المثال:

– غابة إكي إيوريغ (Iggi-Iourigh)، التي تنتمي إلى تراب جماعة أربعاء الساحل، وتنتصب فوق مجال جبلي يدعى إكي إوريغ، يتوسطه مقام أحد أولياء المنطقة، وهو مجال غابوي محمي بنظام أكدال.

– غابة إكي أوكادير (Iggi ou-gadir)، تنتمي إلى تراب جماعة تيوغزة، وتقع على مجال جبلي مطل على دواري إد باها وأنامر، ويتوسطها مزار أحد أولياء المنطقة، ويدعى سيدي بو الرجا.

تظم معظم غابات الأركان بالمنطقة المدروسة مجموعة من الملامح والآثار الدالة على استيطان بشري قديم وسطها، ذلك أن أطلال البنيات الأساسية الخاصة بتهيئة وصيانة التربة؛ على غرار بقايا الجدران الحجرية (aghouni) وبقايا السدود الصغيرة المخصصة لجمع مياه الأمطار، وأسوار المساكن الطينية القديمة، تظل اليوم شاهدة تاريخيا وثقافيا على مسار عناية السكان بالغابة وأساليب تحويلها من حالة الحقل إلى حالة الغابة (Simenel,2011)، وهو ما تحقق بفضل مد جسور التفاعل بين حياة الناس الاجتماعية والثقافية وبين الحياة الطبيعية، من خلال ممارسات ومعارف مختلفة.

تزخر التجارب الاجتماعية المدروسة بالعديد من المعارف التقنية التي ساهمت بكيفيات مختلفة في عملية استدامة الغابة، منها: تقنيات وضع الحواجز الحجرية، وتقنيات جمع الماء في سدود صغيرة، وتقنيات التقليل من ميل المنحدرات، وتقويم الأودية وتدعيمها بالحجارة، التي تعمل مجتمعة على الحيلولة دون تآكل التربة وانجرافها.

بالرغم مما لحق غابة الأركان اليوم من تدهور إيكولوجي، إلا أنها مَدينة فيما وصلت إليه اليوم من نمو واستدامة، للأشكال التقليدية القديمة للتدبير الفلاحي وإلى تقنيات خلق الألفة مع شجرة الأركان، مثل تقنيات التقليم وإزالة الأغصان الميتة، وتقنيات الاعتناء ببراعم الأشجار وحفظها.

تعمل الأعراف المحلية والتقاليد الاجتماعية والثقافية على حماية التنوع الإيكولوجي للغابة، بحيث يعمل نظام الأكدال (agdal) على حظر مختلف أشكال المساس بحرمة الغابة وفق ممارسات ثقافية محددة. ويتميز الأكدال الغابوي بالمناطق المدروسة بتوسطه لمزار أحد أولياء المنطقة (حالة أكدال إكي إيوريغ مثلا)، ومن تم يتحول هذا الولي في تمثلات الناس إلى حارس لحرمة الغابة. وبذلك تتم حماية الأشجار من ممارسات الرعي الموسمي، ومن عملية الجني المخالفة للأعراف المحلية، التي تحدد في الفترة الممتدة من يونيو إلى شتنبر من كل سنة، وذلك لأجل حماية الثمار وتعزيز نضجها والحد من جنيها قبل حلول موسم الجني (Simenel, Auclaire, 2013).

تتميز غابة الأركان وشجرها في الثقافة المحلية بكونها موطنا للمقدس، بحيث "تحمل العديد من الأشجار أسماء الأولياء الذين زرعوها أو الذين عمروا ببساطة تحت ظلالها" (Ben Attou, 2010). وفي هذه الحالة تلبس الشجرة ثوب المقدس ومن تم تصبح محلّ تبرك واستشفاء، وبذلك اكتست توهجا رمزيا دفع بهذه الأشجار المتبرك بها نحو سلك المحظور والمحرم.

كما تتميز بعض الأشجار في التقليد المحلي بكونها موطنا للجن، إذ تزخر الميثولوجيا المحلية بالعديد من نماذج الأشجار المحاطة باللعنة والهالة. إن طابع القدسية الذي يميز هذه الأشجار المسكونة بالجن وفق المعتقدات المحلية، يمنع أي استغلال بشري مسيء للنظام الإيكولوجي للأركان، وفي ذات الحين يضع حدا لكل مساعي استغلالها، وهو ما يؤسس لوضع إيكولوجي خاص، وبدلالات ثقافية، يتحول نحو حماية الأركان.

تحوز ممارسات الفلاحين ومربي المواشي المحليين العديد من السلوكات البيئية التي تعكس مدى حفظ الناس وعنايتهم بالأركان، إذ تشكل معارفهم الإيكولوجية والتقنية والاجتماعية، وأشكال تنظيم استغلال الغابة، الصيغ الثقافية التي يتم بها العمل على استدامة الغابة. وذلك وفق نظام مركب من الممارسات والأعراف التي تنظم استغلال الغابة بحسب الفصول ونظام القرابة، ويتم ذلك وفق نمطين من المعارف السوسيو- تقنية:

• المعارف الرعوية والفلاحية: في هذه الحالة تعمل على إيجاد توازن بين أنشطة زراعة الحبوب وتربية المواشي وجني ثمار الأركان على مستوى الحقول والمجالات الفلاحية.

• المعارف العرفية: مهمتها ضبط العلاقات بين ممارسات الفلاحين وأنشطة الرعاة، ويتم ذلك من خلال نظام عرفي يسهر على حماية الاستغلاليات الفلاحية وأكدال الأركان، بحيث تتنقل قطعان المواشي على طول السنة بحرية عبر تراب المنطقة، ما عدا في موسم نضج الثمار وقابليتها للجني، الذي يمتد من شهر يونيو إلى شهر شتنبر من كل سنة. وفي هذه الفترة يصبح الوصول إلى المجالات المستغلة والمحمية (أكدال) محجوزا فقط لمن يملكون الحق في الجني، وبالتالي تكون القطعان ملزمة بالبقاء خارج الحقل والغابة المحمية انسجاما والأعراف المنظمة للأكدال (Michon, Genin 2017).

إن معارف الناس وممارستهم في تدبير وسطهم الإيكولوجي (الأركان في هذه الحالة) وفي حمايته وتنظيم أشكال الوصول إلى خيراته، سواء الاحتطاب والجني أو الرعي، تظهر هنا بمنزلة وعي إيكولوجي محلي وثرات ثقافي.

تحيل كل شجرة أركان على عمل بشري وعلى خبرات اجتماعية وايكولوجية تقنية عبر أجيال عدة، بدءا من أولئك الذين حرصوا على رعايتها وصونها، إلى أولئك الذين ضمنوا بقاءها، أو حتى الذين قطعوها في بعض الأحيان لتحديد حيز ملائم للفلاحة. وتبدو آثار الفعل البشري هنا في مصطلحات القرابة التي يطلقها السكان المحليون على أشجار الأركان، ويقال مثالًا بنات الشجرة أو حفيداتها (tayyawin).

خاتمة:

تعج التجربة الاجتماعية والثقافية للمجموعات البشرية بالأطلس الصغير الغربي في علاقتها مع غابة الأركان بمجموعة من المعارف التقنية والخطابات والطقوس والممارسات، التي تراكمت على مدار تاريخية هذه العلاقة الممتدة، مساهمة بذلك في استدامة النظام الإيكولوجي للغابة. ولذلك عملت هذه الأساليب والسلوكات الإيكو- ثقافية (أنماط الإنتاج، المعتقدات، التقنيات، الأعراف، المعارف الشعبية)، على توسيم الغابة ونقلها من مجال الطبيعة إلى المجال الاجتماعي والثقافي، ومن تم غدت معيشا أنثروبولوجيا وعالما ثقافيا وإيكولوجيا فائضا بالعلامات ونماذج التدبير.

لكن حينما نجد فضاءات هذه الغابة تأوي علامات المقدس، تستعمل اليوم كمجالات للرعي "الجائر"، فمن المفترض أن ذلك يحيل على تراجع السلوكات البيئية والإيكولوجية للسكان المحليين، وأيضا صلاتهم الثقافية بالغابة وأشجارها. إنها إذن وبصورة عامة، ملامح التحول الاجتماعي والتقني والاقتصادي التي تعرفها قرى المجال المدروس وأنماط إنتاج وتفكير مجموعتها البشرية.

البيبليوغرافيا:

1.Ben Attou, M. Les Ait Ba'amran de Sidi Ifni : construction d'une identité et d'un territoire. Revista Atlantida, 2010, Vol 2, pp. 213- 231.

2. Michon. G.; Genin. D.; et autres. Autour de l'arganier : jusqu'ou peut-on « faire son marché » dans les savoirs locaux ?. In, « Autrepart » Presses de Sciences Po, 2017, n° 81, pp. 75- 90.

3. Simenel. R.; Auclair. L. Quand le forestier endosse les habits du saint… la gestion des frontières communautaires dans le Haut Atlas et l'Arganeraie (Maroc). Revue For. Fr. LXV, dossier : Enjeux de la gestion des forêts au Maroc, 2013. pp. 341- 357.

4. Simenel. R. Comment domestiquer une forêt sans les hommes ? Une ethnoécologie historique des forêts d'arganiers du sud-ouest marocain, Techniques et Culture, 2011, vol 56, pp. 224- 247.

5. Simenel. R. L'origine est aux frontières : espace, histoire et jihad chez les Ait Ba'amran du Sud marocain.

Transcontinentales (en ligne), 3/ 2006, consulté le 08 septembre 2020.
6. Simenel. R. Un ethnologue dans l'Agdal, Une autre conception des sanctuaires écologiques en terre d'arganiers. in, Agdal : Patrimoine socio-économique de l'Atlas marocain, L. Auclaire., M. Alifriqui (dir), IRCAM- IRD (éd), 2012, pp. 283-297.

La Réserve de Biosphère de l'Arganeraie (RBA) : L'entrepreneuriat dans l'écotourisme opportunités et contraintes

Aaziz OULMOUDNE [1], Fatima BEN CHAKRE [2] .

[1] *LAREFMO, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales Agadir ;*

[2] *LAREFMO, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales Agadir ;*

* *a.oulmoudne@uiz.ac.ma ;*

RÉSUMÉ

L'objectif de cette communication est de déterminer le rôle que joue la dynamique entrepreneuriale touristique dans le développement durable des territoires de la RBA, principalement en milieu rural, à travers l'identification du processus entrepreneuriale et l'implication des spécificités de l'entrepreneuriat touristique rural ; soit les critères devant être opérationnalisés dans le cadre d'activités écotouristiques afin de favoriser un développement écoresponsable.

Après avoir évoqué les aspects théoriques et conceptuels relatifs à l'entrepreneuriat, l'écotourisme et l'espace RBA à l'aide d'une revue de littérature, un travail d'investigation, étude qualitative exploratoire, a été ensuite réalisé auprès des intervenants touristiques réparties sur la région Souss Massa, dans le territoire de l'Arganier.

Au terme de notre enquête, nous avons constaté que la filière de l'écotourisme reste peu développée au niveau de la RBA, et ne contribue que marginalement à l'économie locale. L'activité touristique engagée présente un dynamisme insuffisant pour propulser le développement du tourisme et un développement économique soutenable de la RBA. L'entrepreneuriat dans l'écotourisme offrirais des opportunités économiques tout en préservant l'environnement naturel et la richesse culturelle de la RBA.

Mots clés

RBA (Réserve de Biosphère de l'Arganier), Entrepreneuriat, Écotourisme, Développement durable.

ABSTRACT

The Argan Biosphere Reserve (RBA): Entrepreneurship in ecotourism opportunities and constraints

The objective of this communication is to determine the role played by entrepreneurial dynamics in tourism in the sustainable development of territories in the RBA, mainly in rural areas, through the identification of the entrepreneurial process and the involvement of the specificities of rural tourism entrepreneurship; namely the criteria that should be op-erationalized in the context of ecotourism activities to promote sus-tainable development.

After discussing the theoretical and conceptual aspects related to entre-preneurship, ecotourism, and the RBA area through a literature review, an exploratory qualitative investigation was conducted with tourism stakeholders in the Souss Massa region, in the territory of Arganier.

At the end of our survey, we found that the ecotourism sector remains underdeveloped in the RBA, and only marginally contributes to the local economy. The tourism activity undertaken shows insufficient dynamism to drive tourism development and sustainable economic development in the RBA. Entrepreneurship in ecotourism would offer economic op-portunities while preserving the natural environment and cultural richness of the RBA.

Keywords

ABR (Argan Biosphere Reserve), Entrepreneurship, Ecotourism, Sus-tainable Development.

INTRODUCTION

Le développement de l'entreprenariat en milieu rural constitue un créneau porteur en termes de création d'emplois, de génération de revenus, de fixation des populations, et de préservation de l'écosystème. L'exploitation (économiquement) optimale d'un stock naturel est celle qui maximisera la rente. Mais, les enjeux du développement durable tel qu'il est aujourd'hui affiché comme objectif de la décision publique, tant au niveau local que global, sont, par nature, multidimensionnels. Il faut en effet concilier enjeux économiques, environnementaux et sociaux. Dans le cas l'arganeraie, il s'agit de sauvegarder l'arganier, l'emploi, tout en garantissant des profits économiques. La seule approche économique n'est plus suffisante, et une approche interdisciplinaire et multicritère devient nécessaire.

En effet, la RBA abrite l'écosystème de l'arganeraie, caractérisé par la présence de l'arganier (*Argania spinosa*), une espèce d'arbre endémique du Maroc. L'arganier est considéré comme une espèce clé de cet écosystème, offrant de nombreux avantages économiques, sociaux et environnementaux. L'une des caractéristiques importantes de la réserve de biosphère est la promotion de l'utilisation durable des ressources naturelles, en particulier de l'arganier. Les produits dérivés de l'arganier, tels que l'huile d'argan, sont largement utilisés dans l'alimentation, la cosmétique et d'autres industries, offrant des opportunités économiques aux communautés locales tout en préservant l'écosystème. La RBA attire également les touristes intéressés par la nature et la culture locales. L'écotourisme mériterait à être encouragé dans la région, en offrant aux visiteurs l'occasion de découvrir la beauté naturelle de l'arganeraie, de rencontrer les habitants locaux et de participer à des activités éco-responsables. Dans cette perspective, nous tenterons de répondre à la question suivante, à savoir si « l'écotourisme peut-il être considéré comme un outil de gestion de l'écosystème ? Et dans quelle mesure l'écotourisme peut-il être un garant de la viabilité et de la pérennité de la RBA ?»

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Nous allons nous baser sur une recherche qualitative qui comme le signalent Blumberg, Cooper et Schindler [1], permet d'éclairer et de comprendre les caractères et la nature d'un phénomène. Notre étude qualitative est fondée sur des entretiens semi-directifs, à l'aide d'un guide d'entretien, auprès de certains acteurs et parties prenantes en relation avec l'écotourisme dans la région Souss Massa. Ces entretiens ont été menés en face à face, et par téléphone. Le choix de ces différentes organisations s'est principalement fondé sur des recherches effectuées sur internet. Un échantillon de convenance a été monté à partir des acteurs ayant accepté de répondre à nos questions. Au total, plus de 45 acteurs ont été approchés, mais seulement 15 ont été réactifs.

RÉSULTATS

I- L'entrepreneuriat durable

Le développement durable est aujourd'hui un objectif explicite de toutes les politiques. Il vise à concilier enjeux économiques, environnementaux et sociaux, dans un souci d'équité intergénérationnelle. L'approche par la « viabilité » cherche à prendre en compte un ensemble d'enjeux de durabilité dans un cadre multicritère et dynamique. Cette démarche, complémentaire des approches classiques basées sur l'optimisation d'un seul critère (par exemple, économique), permet de définir les configurations d'exploitation durable d'un système écologique et économique et d'explorer les décisions susceptibles d'éviter ou de sortir d'une crise de surexploitation [2].

A partir de 2007, les chercheurs se sont rendu compte de l'importance des opportunités d'affaire dans le domaine durable. Ils commencent ainsi à faire le lien entre les défaillances du marché, les préoccupations sociales et environnementales et l'opportunité entrepreneuriale [3].

A- La durabilité

Pour reprendre les termes du rapport de la commission Brundtland (1987) [4], « un développement durable doit permettre de satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins ». Les décisions présentes doivent donc viser des objectifs variés, et parfois contradictoires, dans un contexte d'équité intergénérationnelle.

L'exploitation des ressources naturelles résulte de l'interaction de la dynamique naturelle de la ressource exploitée et de la dynamique économique du secteur d'exploitation. Si l'exploitation de ressource dépasse la capacité de régénération de manière prolongée, la ressource peut vite se trouver surexploitée, et faire face à un risque d'extinction. C'est le cas de l'arganier et de la gestion de la RBA. La durabilité de l'exploitation est donc devenue une question centrale. Les objectifs principaux de la gestion de l'arganier sont :

- la durabilité de l'exploitation de la ressource, afin de préserver les stocks et le fonctionnement des écosystèmes,
- la rentabilité économique de l'exploitation, qui doit valoriser la rente tirée de l'usage des ressources,
- la préservation des emplois dans le secteur, et le maintien des communautés ou modes de vie qui y sont associés.

Ces objectifs sont multidimensionnels, et la durabilité reposera sur la réalisation de tous ces objectifs au

cours du temps, en prenant en compte dynamiques écologiques et économiques.

B- L'approche de viabilité

L'approche de viabilité permet d'aborder les problématiques de développement durable en représentant les objectifs de durabilité par un ensemble de contraintes comme, par exemple, l'exigence qu'un certain nombre d'indicateurs soient au-dessus de certains seuils : minima de stock, d'emploi, de profits... Si certains de ces objectifs ne sont pas satisfaits, le territoire fait face à une crise, qui pourra être biologique, économique ou sociale. Cherchant à définir comment respecter dans le temps l'ensemble des contraintes de viabilité, pour atteindre l'ensemble des objectifs de durabilité, l'approche de viabilité ne définit plus une utilisation optimale des ressources (optimale par rapport à un critère), mais l'ensemble des utilisations viables de la ressource, la viabilité étant définie par le respect de tous les objectifs, quelle que soit leur dimension (économique, écologique ou sociale). Le second point clé de l'approche est que la viabilité ne vise pas à atteindre les objectifs à un instant donné, mais de manière dynamique.

C- l'éco-entrepreneuriat

Avant 2000, la prise en compte de l'environnement par les entreprises était presque absente, elle se limitait au respect de la législation. En 1997, Boiral [5] avance que l'engagement environnemental est resté pendant longtemps réactif et motivé par le développement des législations constituant la principale contrainte pouvant compromettre la pérennité et la légitimité sociale de leurs activités. La théorie des parties prenantes conçoit l'engagement environnemental comme une décision stratégique qui répond, dans un premier temps, à un objectif de morale [6] en s'intéressant à l'équilibre des intérêts des parties prenantes [7]. Cela signifie qu'une entreprise ne gérant pas ses relations avec ses parties prenantes de manière appropriée se verrait potentiellement soumise à différentes formes de conflits, de crises et de blocages, allant jusqu'à une remise en question de son droit à l'existence.

En ce sens, Dean et Mc Mullen [8] définissent l'entrepreneuriat durable en se basant sur la définition de l'entrepreneuriat classique de Shane et Venkataraman [9] et sur l'économie du bien-être. Ils avancent l'idée que les défaillances du marché à cause de la dégradation de l'environnement sont à l'origine du développement d'opportunités entrepreneuriales. De même, Cohen et Winn [10] ont expliqué l'entrepreneuriat durable en le comparant à l'entrepreneuriat classique. Ils fondent leurs travaux de recherche sur le lien entre les imperfections du marché et les opportunités d'affaires favorisant l'entrepreneuriat durable.

L'entrepreneuriat durable se situe alors à l'intersection des sphères de l'écologie, du social et de l'économie [11]. Les entrepreneurs durables ont des objectifs qui intègrent donc à la fois l'environnement, les aspects sociaux et la performance économique. Pour cela, ils s'appuient sur l'innovation durable qui est généralement radicale et orientée vers le marché de masse. Le succès des innovations durables provoque un changement de société, le développement de nouvelles tendances et la transformation des valeurs. Les entrepreneurs durables créent des dynamiques de marché qui vont dans le sens du progrès environnemental et social dans le but d'être équitable envers les générations futures [12].

II- L'écotourisme

Au fil des décennies, le tourisme a été en expansion continue et s'est de plus en plus diversifié, devenant l'un des secteurs économiques à plus forte croissance dans le monde. Le tourisme moderne est intimement lié au développement et regroupe de plus en plus de nouvelles destinations. Cette dynamique a fait du tourisme un moteur essentiel du progrès socioéconomique. Aujourd'hui, le volume d'activité du tourisme est équivalent, voire supérieur, à celui des exportations de pétrole, de l'industrie alimentaire ou de l'automobile. Le tourisme tient une large place dans le commerce international et c'est aussi l'une des sources principales de revenus de nombreux pays en développement.

L'écotourisme consiste en une forme de tourisme orientée normativement et qualitativement afin de faire la promotion de la conservation, de limiter les impacts sur l'environnement et de maximiser les retombées pour les communautés hôtes [13]. En effet, selon Fennell [14], les aires protégées sont un lieu de prédilection de l'écotourisme qui donnent accès à des milieux naturels de qualité, nécessaire à une expérience touristique basée sur l'appréciation contemplative, éducative ou autre de l'environnement. Il ajoute que l'écotourisme devrait être axé sur les enjeux locaux afin que les communautés locales gardent un contrôle sur son développement et ses bénéfices.

Dans ce contexte, le tourisme, en particulier sa déclinaison écotouristique est perçue comme une activité qui se base sur les avantages comparatifs (leur richesse en capital naturel), génère des revenus pour les communautés locales et les incite à conserver ce capital. Dans ce paradigme, grâce au tourisme, la biodiversité se prend en charge (biodiversity PAYS for itself). L'activité touristique est intensive en facteur travail et peut lutter contre le chômage dans les zones rurales, ralentir les phénomènes de migration et d'exode rural et réduire la pression sur les ressources naturelles [15].

Ainsi, les concepts d'écotourisme et de réserves de biosphère sont interreliés à plusieurs égards. Selon certains, bien que le tourisme est, et doit constituer, une activité importante dans les réserves de

biosphère le seul tourisme dans ces endroits devrait être le tourisme durable relevant d'une conscience écologique. L'écotourisme peut donner naissance à cette compréhension et à cet engagement, il peut aider les réserves de biosphère à remplir leur mandat de démontrer une relation équilibrée entre les êtres humains et la nature.

DISCUSSION

Suite aux interactions avec les différents interlocuteurs de notre étude, plusieurs axes de réflexions utiles ont émergé. Ainsi tous les organismes contactés était unanime que l'écotourisme mériterait à être encouragé dans la région, en offrant aux visiteurs l'occasion de découvrir la beauté naturelle de l'arganeraie, de rencontrer les habitants locaux et de participer à des activités éco-responsables.

Dans ce sens, et depuis 2001, dans le cadre de la vision 2010, une étude sur la stratégie de développement du tourisme rural a été effectuée en vue d'analyser l'offre et la demande touristiques en milieu rural marocain [16]. Ce qui a dévoilé une inadéquation entre une forte demande émanant tant des touristes étrangers que des touristes internes et une offre très riche et diversifiée mais quasiment inorganisée. D'où la nécessité de valoriser et structurer cette offre afin de l'adapter aux attentes des touristes. Certes, la valorisation et la structuration du produit rural est l'affaire de tous les acteurs ; mais elle doit être initiée par les acteurs locaux qui constituent le pivot de toute action en la matière. Pour ce faire, ladite étude a abouti au lancement du plan des « Pays d'Accueil Touristique » (PAT) qui avait pour objectif la fédération de tous les acteurs locaux appelés à conjuguer leurs efforts en vue de promouvoir le tourisme en milieu rural. C'est dans ce sens que le PAT Imouzer Idaoutane (PATI) a vu le jour en avril 2005, suite à la signature de convention de partenariat entre un ensemble d'organismes compétents dans le domaine. Toutefois, selon l'un de nos interlocuteurs, vingt ans après le lancement du PATI, les choses n'ont pas changées.

Toujours dans la perspective de mettre en avant le tourisme rural ainsi que la destination Souss-Massa, les acteurs du tourisme rural ont fondé, en 2011, le Réseau de Développement Touristique Rural (RDTR) grâce à l'appui du Conseil Régional de Souss Massa. L'objectif annoncé du RDTR est de procéder à la structuration et l'organisation du secteur du tourisme rural et à la valorisation de son potentiel. Un tourisme rural basé, indubitablement, sur un développement touristique durable. Le RDTR, aujourd'hui est un acteur fédérateur, et structurant de l'offre tourisme rural dans la région.

Du côté de la labélisation, des initiatives sont menées, au niveau national et régional, pour promouvoir l'écotourisme. En effet, dans le cadre de la coopération décentralisée entre le Conseil Régional de Souss Massa et le Conseil Général de l'Hérault, le Label Qualité et Environnement a été développé en partenariat avec Gîtes de France Hérault. Le Label s'appuie sur une grille d'évaluation qui constitue un cahier des charges précis et auquel les établissements doivent répondre. Par la suite, la structure auditée reçoit un rapport de remarques et recommandations qui permet de décerner le nombre de 1 à 4 fibules correspondant à son niveau.

Lancé par la Fondation pour l'éducation à l'environnement (FEE), Clef Verte est un label de stature internationale. Avec plus de 2.200 établissements labellisés dans une quarantaine de pays, il est le plus représenté au monde. Il est soutenu par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et par l'Organisation mondiale du tourisme (OMT). L'octroi de ce dernier est basé sur un référentiel international élaboré par la FEE et adapté au contexte national par la Fondation Mohammed VI. Ce référentiel couvre différents champs : gestion environnementale, implication du personnel, information des clients, gestion de l'eau, de l'énergie et des déchets, achats éco-responsables, valorisation des produits du terroir, sensibilisation des partenaires, et réalisation des activités vertes. C'est ainsi que plusieurs structures touristiques de la région du Souss-Massa ont été labélisées Clef Verte.

Du côté des perspective, la feuille de route touristique 2023-2030 envisagé par les pouvoirs publics vise, dans ce sens, l'amélioration de l'attractivité des territoires via un chantier prioritaire au cours des trois prochaines années. Pour ce faire, un budget de plus de 2 milliards de dirhams sera mobilisé d'ici 2026, financé à parité par la Société Marocaine d'Ingénierie Touristique (SMIT) et les régions, pour attirer les investissements dans 1.500 petites et moyennes entreprises (TPME) qui créeront des produits d'animation innovants, dans tout le territoire national. Plus particulièrement, la stratégie forets du Maroc 2020 2030 portée par l'agence nationale des eaux et forêts (ANEF), consiste à positionner les parcs nationaux autour d'une offer attractive et complémentaire pour atteindre un million d'écotouriste d'ici 2030. À ce titre l'ANEF mise sur la création d'une marque Parc national, le marketing des produits et services labellisés, le développement d'une infrastructure adequate et la mise en place de parcours naturels adaptés aux adeptes de la nature.

À l'instar du parc national d'Ifrane qui sera opérationnel avant 2026, la région Souss-Massa disposera au même horizon d'une zone vert qui offrira aux visiteurs plusieurs prestations qui s'inscriront dans le créneau du tourisme vert et durable. Ainsi, the blue safari proposera un circuit de près de 80 km reliant la ville d'agadir aux différents sites du parc. Le projet est porté par un programme de valorisation écotouristique

par la SMIT, en collaboration avec le département de l'agence des eaux et forêts.

Du côté de la société civile un exemple pionner au Maroc est donné par l'Association Marocaine pour l'Ecotourisme et la Protection de la Nature (AMEPN). L'AMEPN est en phase d'élaboration du premier concept de village de l'écotourisme. Une idée visant à concrétiser la définition de l'écotourisme et de la traduire sur le terrain. Actuellement deux idées de projet sont en cours de préparation en l'occurrence : le village de l'écotourisme du Parc National d'Ifrane : il s'agit de créer une offre écotouristique basée sur la conservation, la valorisation et l'aménagement adéquat, conciliant la préservation des écosystèmes naturels et la contribution au développement local.

CONCLUSIONS

L'écotourisme est une activité de niche qui reste encore à développer, puisque les différentes stratégies n'ont pas permis de développer ce tourisme, y compris l'actuelle feuille de route touristique. Selon l'Organisation mondiale du tourisme, l'écotourisme représente 25 % du marché touristique mondial et devrait croître de 10 à 15 % par an. L'écotourisme, via l'éco-entrepreneuriat, peut favoriser le développement de petites et moyennes entreprises (PME) qui fournissent des biens et services aux visiteurs, tels que l'hébergement, le transport, la nourriture, les guides, l'artisanat et les souvenirs. Ces PME peuvent créer des emplois, des revenus et des compétences pour la population locale, en particulier pour les femmes, les jeunes et les groupes autochtones. Il est donc vital de veiller à soutenir, sur les plans technique et financier les microentreprises et les petites et moyennes entreprises, qui sont au cœur de l'activité écotouristique, en vue de leur permettre de se constituer et de se développer de façon durable. Par le même biais, établir les infrastructures adéquates dans les zones qui offrent un potentiel à l'écotourisme afin de stimuler l'émergence d'entreprises locales.

Bien que les motivations qui animent l'écotourisme soient positives, des inconvénients peuvent également être associés à la pratique. Par exemple, bien que l'écotourisme contribue à fournir des emplois aux personnes vivant dans les zones touristiques choisies, bon nombre de ces emplois peuvent être de nature instable ou saisonnière, ce qui signifie qu'il peut y avoir des périodes de l'année sans travail. De Même, lorsque des mesures sont prises pour minimiser les dommages causés par le tourisme, il est probable que les émissions de carbone augmenteront dans la région à mesure que les touristes amèneront des véhicules. Les bénéfices générés par l'écotourisme peuvent ne pas être répartis de manière égale ou équitable, ce qui peut accroître les inégalités, alors que le sur-tourisme est toujours possible.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Blumberg, B., Cooper, D.R. and Schindler, P.S. (2005) Business Research Methods. McGraw Hill, Berkshire, 770.

2. Oulmoudne, A, 2021, L'intention entrepreneuriale et exode des jeunes ruraux au Maroc: Cas d'un échantillon d'étu-diants de l'Université Ibn Zohr, International Journal of Innovation and Applied Studies- volume 33, Numéro 4, Pages 625-636.

3. Shepherd, D. A. & Patzelt, H. (2011). The new field of sustainable entrepreneurship: Studying entrepreneurial action link-ing "what is to be sustained" with "what is to be developed". Entrepreneurship Theory and Practice, 35, 137-163.

4. CMED (Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement, 1989), Notre avenir à tous (Rapport Brund-tland, 1987), Montréal, Édition du Fleuve.

5. Boiral, O. (1997), « Protéger l'environnement naturel et la santé des travailleurs », Revue internationale de gestion, 22(4): 49-55.

6. Arnsperger C., Bourg D., 2016 . Vers une économie authentiquement circulaire. Réflexions sur les fondements d'un indi-cateur de circularité, Revue de l'OFCE, 145, 1, 91-125.

7. Goodpaster K. 1991 Business ethics and stakeholder analysis. Business Ethics Quarterly 1: 53-73

8. Dean, Thomas J. & McMullen, Jeffery S., 2007. "Toward a theory of sustainable entrepreneurship: Reducing environmen-tal degradation through entrepreneurial action," Journal of Business Venturing, Elsevier, vol. 22(1), pages 50-76, January.

9. Shane S. et Venkataraman S., "The Promise of Entrepreneurship as a Field of Research", Academy of Management Re-view, vol. 25, n° 1, 2000, p. 217-226.

10. Cohen, B., & Winn, M. I. (2007). Market imperfections, opportunity and sustainable entrepreneurship. Journal of Business Venturing, 22, 29-49.

11. Esteves, M., Moreira, P. S., Sousa, N., & Leite-Almeida, H. (2021). Assessing impulsivity in humans and rodents: Taking the translational road. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 15, Article 647922.

12. FONROUGE Cécile, PETZOLD Stéphanie, « Chapitre 16. L'entrepreneuriat durable. Nouvel eldorado ? », dans : Cathe-rine Léger-Jarniou éd., Le grand livre de l'entrepreneuriat. Paris, Dunod, « Hors collection », 2013, p. 307-320.

13. Ceballos-Lascurain, H. (1991 a). Tourism, Ecoturism, and ProteCted Areas. Dans J.A. Kuslcr, Ecotourism and Resource Conservation, A Collection of Papers, Vol, l, p. 24¬ 30. Madison: Omnipress.

14 . Fennell, D. A. (2000). Ecotourism : An introduction, London, Routledge.

15. OMT (2004), Le tourisme et la réduction de la pauvreté. Recommandations pour l'action, Madrid, Organisation mon-diale du tourisme.

16. LEROUX Erick, HMIOUI Aziz, « Stratégie de développement touristique du Maroc à l'horizon 2020 : analyse en termes d'apport à la lutte contre le déséquilibre régional », Maghreb - Machrek, 2019/1 (N° 239), p. 79-94.

Do 'rights of nature' and legal personhood status offer new trajectories for nature conservation of the argan woodlands in the face of climate change?

Bertram Turner[1].

[1] *Max Planck Institute for Social Anthropology, Department Law & An-thropology, Halle Germany*

**turner@eth.mpg.de*

Keywords
Rights of nature, legal personhood, legal pluralism, conservation

ABSTRACT

Continuous degradation of the argan forests despite a multi-layered legal framework for nature conservation and intense reforestation measures make the law's failure to effectively protect the environment evident. Here come into play new directions in legal discourse that are currently debated around the globe facing the challenges of the anthropocene. In view of the debate of concrete cases in which ecosystems such as forests have been granted legal personhood status the article inquires whether 'rights of nature' may offer an avenue toward an improvement of the situation in the argan woodlands. The rights of nature debate is informed by the analysis of ethnographic data reflecting local knowledge and wisdom on multispecies relationalities and more-than-human norma-tivity in the arganeraie. It is shown that in indigenous reflections a notion of shared personhood takes on a specific form that includes mutual ac-countability and taking care of one another.

Mots clés
Droits de la nature, personnalité juridique, pluralisme juridique, con-servation.

RÉSUMÉ:

Les « droits de la nature » et le statut de personne morale offrent-ils de nouvelles trajectoires pour la conservation de la nature des forêts d'arganeraies face au changement climatique ?

La dégradation continue des forêts d'arganiers malgré un cadre juridique à plusieurs niveaux pour la conservation de la nature et d'intenses mesures de reboisement rend évidente l'incapacité de la loi à protéger efficacement l'environnement. C'est ici qu'interviennent les nouvelles orientations du discours juridique qui sont actuellement débattues dans le monde entier face aux défis de l'anthropocène. Compte tenu du débat sur les cas concrets dans lesquels des écosystèmes tels que les forêts se sont vus accorder le statut de personne juridique, l'article se demande si les "droits de la nature" peuvent offrir une voie vers une amélioration de la situation dans les forêts d'arganiers. Le débat sur les droits de la nature est alimenté par l'analyse de données ethnographiques reflétant les connaissances et la sagesse locales sur les relations multi-espèces et la normativité plus qu'humaine dans l'arganeraie. Il est démontré que dans les réflexions indigènes, la notion de personne partagée prend une forme spécifique qui inclut une responsabilité mutuelle et le fait de prendre soin les uns des autres. Entrepreneurship in ecotourism would offer economic op-portunities while preserving the natural environment and cultural richness of the RBA.

INTRODUCTION

After having done 30 years of research in legal anthropology on the Moroccan argan woodlands, the question is self-imposing to what extend the existing legal framework was successful to protect the argan ecosystem effectively.

The development of the legal landscape is analysed to understand what effects the coproduction of the various legal repertoires constituting the plural legal regulation of the forest and its use have had in the everyday for the argan woodlands and for the people living with. Argan law and normativity appear embedded in a larger, transnational, legal assemblage constituting a form of supply chain legal pluralism (Turner 2016; 2023) which includes regulations issued by institutions of global governance regarding legal fields such as nature conservation, intangible and tangible cultural heritage, resource extraction, and 'access and benefit sharing models' such as the Nagoya Protocol.

One has to state that under this legal framework, degradation has continued, resource competition increased, and dispossession of the local people continued. At the same time, external actors have exerted legal influence and a good part of the profits made out of the forest are siphoned off elsewhere. From there the question results as to whether such development seems to demand a redirection, especially in the face of anthropocenic challenges such as climate crisis.

Here come into play new directions in legal discourse that are currently debated around the globe. Increasing legal complexity and scalar arrangements from local to global and planetary law have led to claims that law in the anthropocene has to de-center the human in law. In the situation of anthropocenic urgency, humanity has to come to radical legal reform given that the existing global legal order has failed to protect the planet from the ecological situation the law itself is co-responsible for. Such claim is often associated with the project of decolonizing the legal universe toward legal pluriversality.

METHODOLOGY AND OUTLINE

In the following, I briefly introduce into the rights of nature discourse claiming legal personhood status for ecosystems and in a next step contextualize this debate with eth-nographic data on local knowledge and wisdom on argan relationalities and resulting normativity. All of this is the place of legal experimentation and creativity driven by the encounter of various legal registers to come to a new planetary legal order.

Granting natural or other-than-human entities legal subjectivity away from anthropo-centricity in law, away from sustainability as protection of human lifeworlds, is especially associated with environmental protection based on the relationality of indigenous peoples with nature. Such relations may be considered as extended human rights or legal persons, or rights of nature (Turner and Wiber forthcoming).

RESULTS

3.1. Legal personhood and rights of nature

Without going into the specifics, one may emphasize that legal personhood has become a contentious topic in both legal theory and the social sciences. In the context of the debate around the role of law in the anthropocene, controversy has arisen over the 'natural person'-'legal person'-nexus, highlighting the rights of nature versus the rights of ex-tractive corporations. In particular, arguments have arisen over how far to extend or re-strict the legal boundaries of legal personhood, and over including or excluding additional non-human candidates.

A number of theorists criticize the concept as it is currently framed in legal scholarship and advocate its profound revision before any expansion could include rights of nature and further ascriptions of legal capacity and agency. These scholars argue that there are many different versions and understandings of the concept of the legal person out there, all on an equal footing, and that an ontologically committed abstraction that works across dif-ferent legal worlds would constitute a point of departure for all further reflections. Moreover, there is on the one hand an increasing acknowledgement of the personalization and normative power of matter, materiality, natural phenomena, technology, and spiritual entities, and their inclusion into legal reasoning because such personalization is legally effective out there (Turner and Wiber 2020; 2022). On the other hand, there is an increasing corporatization of legal personhood (Blanko and Grear 2019). From these arguments one may infer that how legal personhood is constituted is not solely a question of legal definition; it is also an empirical question that has to be examined for any given concrete case.

Entities such as rivers, forests and mountains have recently gained recognition as legal persons in such diverse places across the globe as Latin America, India and Aotearoa/New Zealand. The literature on legal personhood for nature in general and on more concrete cases of personhood status of natural sites, ecosystems or landscapes has exponentially proliferated (cf. Epstein et al 2023). These developments also contributed to the fact that ecosystems were no longer or at least not exclusively considered mere resources because of their entitlement to be protected and not damaged by extraction.

Different legal approaches to the regulation of human–

more-than-human respectively human-environment/nature relationalities are at stake. Extended human rights may start from the individual and include her relations or may be considered a form of collective rights.

Given the legal (in)distinction between natural and juridical legal persons, there is from a relational law perspective the suggestion to undo methodological boundedness of 'ar-tificial' personhood in order to come to spatiotemporal fluid notions of personhood within single legal regimes (i.e. across time, space and situatedness) and to inquire in what way such classification may overcome legal speciesism. In this context, I suggest to consider care and responsibility as normative manifestations of legal personhood that bind to-gether a multiplicity of related humans and apply them to the care obligations in hu-man-nonhuman relations.

Change in legal personhood thinking affects all scales in plural legal configurations from the grassroots to religious and national legal regimes and beyond. It must not weaken customary legal orders in a pluriverse of onto-legalities (Benda-Beckmann and Turner 2020); on the contrary as rights of nature entail the acknowledgement of indigenous or customary legal reasoning.

3.2. Ecosystem forest: its embeddedness in plural legal regimes, its legal agency and the personhood it embodies

The argan forest (arganeraie) in the Souss region in southwest Morocco constitutes an ecosystem that may qualify for an extended legal personhood. It is an unparalleled woodland area formed by the emblematic tree of the region (*Argania spinosa* (L.) Skeels), an endemic relic of the Tertiary period. The argan woodlands became internationally known because of the oil that is processed from the fruits of the tree. About 30 years ago there was almost no commercialization of this oil outside of Morocco, whereas currently it is available in cities throughout the industrialized world as a typical niche product and is the world's most expensive nutritional oil. At the same time, the area is also a 'Garden of Europe', i.e. the site of high-standard agrobusiness cash-crop production.

Since the economic interest in bioprospecting proliferated in the 1980s, many states co-operated with Multinational Enterprises (MNEs) in search of useful products derived from bioresources, usually involving the identification of unknown chemical compounds and the extraction of molecular and genetic properties to develop new commercial products. Pharmaceutical, cosmetic and food companies, for instance, are invading even the re-motest forested areas on the planet (Upadhyay and Singh 2021). In the case of Moroccan argan not only the oil became the focus of such attention; also genetic properties of the tree itself have been identified and patented.

Legal problems emerge when pharmaceutic and cosmetic industries investing in the development of new global commodities find consistent supply challenging, given that accessing raw material from forest areas has underlying complex legal regulations with local usufruct right holders exercising a certain control. Therefore, MNEs focused on the techno-scientific enhancement of the tree with experimentation in labs and tree nurseries spawning molecular optimized saplings. 'Reforestation' schemes are often supported by international funding, assuming that such new saplings are planted 'into the wild'. Such processes are promoted with links to the United Nations Development Programme (UNDP) 'Low Emission Capacity Building Programme' as the Moroccan 'Nationally Appropriate Mitigation Action' (http://www.climasouth.eu/en/node/210) and succeeds as a fund-raising machine. In fact, this translates 'forest' into 'plantation' in the long run, which among other things implies a transformation of a state domain into private property securing a calculable supply with raw material (Turner and Wiber 2022). Thus, in case of the arganeraie, everything has changed with the emergence of the argan oil boom in the 1990s (Turner 2014). It had an impact on forest law at national and local scale, on schemes of extraction, on local staple food, and much more in a way that a sell-off of the Moroccan cultural inventory and local wisdom was imminent.

While in recent times large parts of the forest in the plain of the Souss are integrated in an agrarian landscape the slopes of the mountains surrounding the plain remain less con-nected (and linkable) to the export-oriented cash crop production. These slopes are, to-gether with the argan areas in the Anti-Atlas and Haha regions, the main sources for the raw material for industrialized argan oil production for the world market (Turner 2016). The argan forest is thus in a competitive entanglement with high end cash crop production. The future of the argan forests also depends on whether the competition with water consuming industrial agriculture will continue or even increase in the current situation of water scarcity.

Amazigh people, the Tachlhit speaking indigenous population of the region, voice their claims to be inextricably linked to the land, the soil and the forest with all its material inventory and its inhabitants. Amazigh express in various ways their emotional and existential attachment to their land of origin as indispensable marker of identity, while at the same time mobility and migration within Morocco and beyond are part of peoples' livelihood strategies. In line with this, a local attitude of restraint toward external

impact inform the everyday lives of the Amazigh and voices in defence of vested rights have emerged.

3.3. Law and plural legal configuration

The plural legal configuration in which the claim of extended personhood is embedded comprises international law. The arganosphere has received three major UNESCO designations, two of which play a key role in shaping the legal framework for envi-ronmental care across all legal scales from customary and religious legal registers on the ground to domestic and transnational legal standards: first, it was recognized in 1998 as the 'Arganeraie Biosphere Reserve' in the 'Man and Biosphere' Programme (MAB), a format that combines aspects of nature conservation with sustainable resource man-agement; in 2014 it was inscribed in UNESCO's list of 'Intangible Cultural Heritage of Humanity' (ICHH), with the stated goal of protecting 'argan practices and know-how concerning the argan tree'. The biological diversity of argan is protected in accordance with the MAB designation with zones of untouched forest stands. But in fact, such un-touched forests serve more as gene pools preserved for further experimentation than places of care for biodiversity (Turner 2014). Local environmental caring practices are protected according to ICHH but at the same time pushed aside by 'reforestation' measures shifting the focus from prevention to damage containment.

The normative substance of such UNESCO templates combines with the legal agendas of (E)NGOs, development agencies and other agencies of global governance running 'projects' in the area and solidifies in highly diverse forms of 'project law' (Weilenmann 2009). In the shape of project law, hegemonic legal concepts like 'development' or 'sus-tainability' are called 'best practice' and applied to address environmental challenges or to support indigenous rights activism of local Amazigh people who claim exclusive access to and use rights in the woodlands.

All this comes on top of domestic forest regulation. In the course of time, the woodland's legal status changed from a local concept of commons in precolonial times, to its incor-poration into the state imposed by the French Protectorate in 1917. Since that date, the forest has been declared state domain where local inhabitants may enjoy usufruct rights. For the argan woodlands such rights have been extended since 1925 (Ait Lahcen and Kakas 2022). Legislative amendments and modifications in the last decades have not touched upon this basic plural legal arrangement (De Ponteves et al 1990; Aubert et al 2009) while the administrative and legal infrastructure charged with care and control of the woodlands has expanded with hardly any noticeable success in getting the various incompatible legal notions of caring balanced. Under state control, access rights are disputed and land grab is increasing while local residents gradually transform their usufruct rights into new claims to local ownership combined with practices of commoning in order to cope with increasing privatization by non-locals.

In addition, Islamic normativities, including the Malikiyya version of Islamic law, play an important role. Of specific importance in the everyday are the various versions of cus-tomary law. At local scale elaborate registers refer to the relationship between humans and argan.

In sum the argan tree and its oil are endowed with a sophisticated normative framework that includes, in addition to other regulations, environmental protection, reforestation measures, sustainable forms of resource extraction, restrictions of access and usufruct rights of local people if necessary and much more. None of these regulations remains undisputed. Thus the legal framework is divided into laws for humans, for the envi-ronment and so on with little attention to reforestation failure and its consequences for environmental care. Despite constant media reports on successful reforestation, the counting of the total population of trees shows continuous rates of forest degradation (Polain de Waroux and Lambin 2012) which has led to the mobilization of local and in-ternational activism (El Wahidi 2013; Sinsin et al 2020). The fact that natural regeneration of the woodlands is not occurring, and that reforestation with the modified tree only shows modest success, is attributed to external factors such as climate warming. In fact, when such new saplings are exclusively used for reforestation, they actually have a very modest survival rate. They are, admittedly, optimized and standardized in terms of yield, but reasons for their failure include neglect of site-dependency and the tree's mycorrhizal symbiosis (Ganoudi et al 2023), over-pumping of the region's water supply for cash crop agriculture and mismanagement in reforested areas among other problems (Sabiri et al 2023).

Indeed, excessive withdrawal of ground water and application of pesticides and fertilizers in hightech agriculture are among the main factors contributing to forest degradation. In addition, the encroachment of agriculture into areas legally defined as forests, together with huge infrastructure projects, have provoked the complete loss of some forested areas and a decrease in tree density in others.

While the guardians of nature conservation law, domestic and beyond, may want ex-planations for high rates of reforestation failure, dead saplings and disappearing com-panion species, these do not translate into any legal consequences for environmental damage and reduction of biodiversity but rather into more experimentation. Moreover, controversial

views on property relations emerged. While forestry authorities, in ac-cordance with forest regulation, claim property rights on any argan tree, whether in a forest as defined under state law or on private land, the originators of the new standard tree claim intellectual property rights on modified argan under applicable law. In other words, a flawed international law framework allows for the intrusion of plantation economy into protected forest areas, undermining environmental protection and biodi-versity standards in both national law and international regulation. One might even call such framework a mishmash of legal frameworks at multiple levels that allow corpora-tions to slip through the cracks.

While MNEs identified those woodlands as promising spaces for intensified resource harvesting, they left the production of raw material to local entrepreneurship. A new kind of farmers/harvesters is emerging, contractually bound to supply with raw material. Those who formerly held usufruct and/or access rights to the natural resources that the ecosystem was offering are excluded or reduced to paid workforce, a process that puts specifically the indigenous population in the region under attack while their expropria-tion takes place at more intense and various levels.

What come into play here is the normative power of technoscientific 'upgrade' of species, their natural spaces, and conventional practices (e.g. harvesting) resulting in loss of biodiversity (Turner and Wiber 2022). There is almost non-knowledge about what this technoscientific interference may entail for interspecies relationalities.

Legal structures of care for the environment are inevitably tied up in legal pluralism, including local law, national regulation, international corporate law, United Nations binding agreements, and other international law. Together these generate situational legal pluralism (and incoherence) at both the state and international levels. Incoherence comes into play here, as for example, when international or state environmental pro-tections come into conflict with corporate resource rights or local rights (indigenous claims, state leases, private property rights).

The data involving Moroccan argan woodlands are dealing with the inseparable tree-human-and more-than human relationship that include normative aspects such as property claims, inheritance regulation, gender issues, mutual assistance, among others. Forest spaces while differing in terms of legal ordering, experience regulative intensi-fication. State presence, as the only sovereign legal person, manifests itself in various degrees.

3. 4. Argan-human-and-more personhood and agency

The analysis of empirical data from the argan ecosystem exemplifies how different shapes of legal personhood relate to one another within plural legal configurations and in what ways care obligations inherent in human-nonhuman relationalities unfold.

A plurality of legal personhoods is involved: There is, first, the state while corporations act indirectly in the forest, usually as legal counterparts of the state. Also INGOs and the institutions of the global governance such as the UN with its subsidiary organizations are involved and exercise their legal agency as fictitious legal persons (see Alonso-Fradejas 2021).

In addition, acknowledgement of extended human legal personhoods is claimed in various configurations. Questions of legal status and agency are discussed in the context of protests/resistance against increasing commodification of nature. Such protest includes local people, indigenous communities, peasants and forest dwellers of sorts.

The Moroccan example illustrates emerging demands for recognition of the legal per-sonhood of more-than-human assemblages. Multiple species are sharing simultaneously and interdependently the same landscape composing a unique ecosystem. In so doing they combine humans' mobility with trees' loyalty to habitat. Trees live in mycorrhiza, that is in symbiosis with fungi (see, e.g., Sellal et al. 2016). Mycorrhiza translates into 'local rooting' that is being faithful to a habitat. The mushroom is locally understood as 'soil' or part of what is considered the tree's property to be bound to a specific habitat. Fungi as well as trees differ according to habitat to which they are adapted. Locals have intimate knowledge about the tree and its various forms of local adaption. Especially regeneration of the woodlands depends in some areas on human intervention. Moreover, humans have developed a repertoire of specific ecosystem tending technologies. Thus the variety of the trees' shape is a coproduction of human interaction with the tree and local habitat com-ponents. Together with plants, animals from ants and rats to goats and camels and humans and various other constitutive elements, they compose an assemblage with legal agency, corresponding to what is called a co-evolved human-tree ecosystem (McGregor et al 2009).

3.5. Ethnography: talking about an argan comic

Two main sources provided the data on which these paragraphs are based. There is, first, a comic, published in 2008, on the cosmogony of argan as a cultivar. The comic may be described as an attempt to translate the local cosmogonic argument about the more-than-human argan symbiosis into an implicit political message. The authors, Larbi and Mahfoud Babahadi, are apparently sympathizing with Amazigh claims and show an affinity to the intellectual and elitist urban branch of the Amazigh movement. The publication spread widely the concerns of local people. There is no explicit mention of law and legal personhood. Amazigh

interlocutors, however, 'read out' a legal content and see it as an account legitimizing their worldview of a multiple legal person.

Second, during fieldwork in the years 2011, 2014 and 2016, I showed the comic to many people across the area and engaged in deep conversations about its interpretation, the local understanding of it and what else people liked to explain. Most if not all of my interlocutors cannot read the speech bubbles written in French and only some few asked me about their content. What the images told them caught their attention.

3.6. The argan comic as resource and template

The comic narrates the story of the origin of the tree and makes the argument that the tree is in a way the result of human – more-than-human cooperation with a spiritual in-volvement ahead. In a remarkable way the cosmogonic act is associated with an imagined pre-Islamic spiritual universe in which man and woman seem more equal than in the present. Argan is a sacred gift from Amazigh ancestors to their descendants, supported by mythological figures from the Amazigh/ Mediterranean pantheon.

Caring for the starving community was the motivation that gave rise to the assemblage whose legal qualifications are addressed. Famine was known as a regularly recurring situation that puts people in crisis mode. The emergence of the multispecies assemblage is presented as the primeval initial impetus in coping with this challenge. All this unfolds in a conventional grand cosmogonic narrative with the mythical motif of the protagonists' (actually primeval time creatures) self-sacrifice and the transformation of their body into the cultivar argan.

Local people identified the storyline as part of their mythology while I encountered considerable variation in the ways, the nature-culture-human interface concept was ex-plained in complex processes of translation. It was not always the same story with the same personnel that people saw in the comic. The text was nevertheless consistently considered as evidence of the merits of their claims.

According to Amazigh voices, it substantiates the special relationship of Amazigh as indigenous people and argan forest as inextricably connected with each other. The narrative is that humans depend on the forest. But also that the tree has emanated out of humanity. It is all about forest-human-soil interaction. In the political debate in which the comic is embedded, the multispecies argument, not the comic, plays a role in the line of argumentation of indigenous rights movements and NGOs to promote indigenous rights and property claims. Such claims are also associated with a sustainable human-nature cooperation and its mutually supportive aspects. All this is presented as a historical development and a cosmogonic and anthropogonic myth that inevitably also finds ex-pression in the establishment of rights. Insofar it represents a classic etiological (explan-atory) derivation legitimating local understandings of justice and legal consciousness.

Some of my collaborators emphasized that the forest is not depicted as unaffected 'nature'. It is regarded as the supernatural creation of the main source for human livelihood. This seems far away from the image of untouched-nature that has shaped the biosphere narrative of a unique ecosystem to be preserved as part of world natural heritage. The latter narrative in a way supports the association with unbounded spaces waiting to be tamed for humanity. 'Control' and 'care' are part of the narrative's outcomes.

What people see here is a 'more-than-human' rights approach where civil rights and indigenous rights get together with legal personhood of the forest, and endomycorrhizal associations with fungi spores, in the comic represented by the soil. Also, the spiritual dimension, so prominent in the comic, found widest acceptance. Locals say to regard spirits (jnoun) as an essential component of the personhood assemblage. They see this in accordance with Islamic law, where spirits enjoy spiritual legal personhood anyway and their legal interaction with humans is subject to generally recognized rules. Thus, local people refer to spiritual ancestors and mythological figures in a language emphasizing the compatibility of local worldview with Islamic tradition.

Another aspect people liked to address is that the human impact on the joint personhood is according to the comic locally considered to be gendered, as women and men adopt different attitudes toward argan and have different obligations toward it. Some of those are considered complementary. So has the hero in the comic to learn that the solution to the problem of starvation at home is with his wife (of spiritual origin). Full legal agency (personhood), hence, presupposes male and female, i.e. controlling and caring properties.

DISCUSSION: EXTENDED LEGAL PERSONHOOD IN THE ARGANOSPHERE?

What kind of legal personhood Amazigh interlocutors ascribe to the argan tree? It looks like a typical example of interspecies personhood. The cosmovisional model shows an inextricable unit of the tree with other normatively accountable constituents and not its independent legal agency. The 'constituted person' appears 'porous', however, "such that ontological substances pass between them and the material and spiritual domains with which they interact" (McIntosh 2018:4). Moreover, the normative power of technologies (such as tree tending, pruning, oil

processing, etc.) is inscribed into the legal person's portfolio.

There is an additional aspect of such a composite form of personhood. The respective members/units of the corporate-like person enjoy different rights and obligations than the assemblage. In the assemblage, they reinforce each other's standing. The personhood composing species have different lifespans, the argan ahead with an expectancy of some hundred years. So, the fusion is intergenerational, goes across individual lifetime, and includes postmortem states.

Argan, so the argument, is constitutive of Amazigh culture. At the same time, argan legal personhood rights are not considered the extended rights of humans, rather the united co-constitutive rights of humans, trees and others and vice versa. Nevertheless, the form of personhood as described here does not exclude that the human-forest coexistence is considered highly ambivalent. The fact that forest cum companions are part of a shared personhood means constituting a common lifeworld but also includes fear, uncertainty, or struggle to survive.

Next to gender and identity, property is a notion closely associated with extended legal personhood. Extended legal personhood entails, so my outline of the explanations dis-cussed, the expression of a direct relationship between humans and things, technologies and materiality that is addressed as property and ownership. Amazigh claim property rights on argan (and vice versa), especially in response to the transnational extraction scheme that has transformed argan into a global commodity. Such property claims include Amazigh argan knowledge. While the provision of argan oil for the cosmetic and pharmaceutical industry depends on mechanized and industrialized production, the complete industrial sector, scientific argan research included, departs from the exploita-tion of local knowledge. This includes some steps in the oil processing that cannot be technologized as well as the identification of specific argan properties for commerciali-zation.

Such forms of interconnectedness may be described as ownership, creating a relationship of property claims based on practice, performances and material enactments. Such ac-counting of mutual claims and responsibilities, or care practices, may translate extended personhood into an internal regime of mutual ownership. Thus, the extended legal personhood is a challenge (or imposition) to the foundational model of individual private property when the relationship between humans, other species and things become blurred and reconfigured. Extended legal personhood goes together with a notion of commons. (Herrmann-Pillath 2023).

Extended legal personhood entails a combination of claims to land of local Amazigh people with their claim to recognition as the indigenous people of the area. A link of the 'Amazighité' with the land and the argan tree is established. They all together form an indissoluble whole.

Amazigh said that the comic explains the knowledge upon which mutual care relations are based. It is understood as a caring story. According to their point of view, recognizing the legal protection of the woodlands entails the recognition of Amazigh people as the legitimate use right holders and at the same time as the environmentalists and conser-vationists of the symbiotic lifeworld in southwest Morocco.

The argument is that one cannot protect the one without the other and that the more-than–human assemblage is resistant as a legal person even under the conditions of massive extractive interventionism in the region. Doing legal personhood, caring for the as-semblage, may bring hope into the argan business, as representatives of a village council argued. Nevertheless, ethical collisions may come to the fore: the duty of care toward the family may force people to act against their own environmental accountability and their all-important source of livelihood (see, e.g. Wiber and Turner 2010).

A central question remains: What happens to the argument in the wider legal fabric, in legal infrastructure of the argan supply chain? Or how does granting legal person status to non-human assemblages further entwine with notions of care? One may think of the rhetoric of the pharma and cosmetic industry, that they are saving the wild species and (yet) feeding the poor while the rhetoric of care and of the more-than-human assemblages actually criticizes extractivism.

CONCLUSION:

The debate in anthropology and Science and Technology Studies associates basic ana-lytical differentiations of humanness with the controversy over ontological distinctiveness and planetary thinking to cope with the challenges of the anthropocene. Ontological assumptions about the shape of lifeworlds and multifaceted notions of being in the world provide information on who and what is considered a person. All these considerations also constitute an ethical relationship that the human has to take into consideration vis a vis her more-than human associates. They also reference the emerging claim to the decoloniza-tion of the legal world order of which the 'legal person-recognition' discourse may be seen as one strand (Balaton-Chrimes and Stead 2017).

The legal person multiple may involve contradictive sets of rights and obligations for the individual. In the case study, Amazigh people in Morocco claim on the

one hand legal recognition of their indissoluble legal personality they co-constitute with the argan tree and the land. At the same time, these claims are embedded in a wider socio-political discourse. The legal rights and obligations that accrue from their status as Moroccan citizens may conflict with those they associate with their argan cum others legal per-sonality.

To conclude, the modern version of extended legal personhood seems to display a new arrangement that combines customary reflections of extended personhood with Islamic ideas of other than human legal personality and the Amazigh legal struggle for recog-nition as indigenous peoples. Fragmentations of legal personal autonomy as does the increasing ascription of responsibility to the individual in order to de-responsibilize corporations and other capitalist actors quite often initiate reconsiderations of the status of non-human legal persons both be they corporations on the one hand or models of ex-tended personhood that include natural phenomena, technologies and much more on the other. Therefore, we argue a shift from autonomy to relationality as the base of allocation of rights and obligations on the way to a meta-version of legal personhood across legal registers and judiciaries. Such legal tool may contribute to maintaining biodiversity of argan in order to preserve the capacity to optimal adaptation to challenging environments. Moreover, new nature conservation rules may have a positive impact on the argan supply chain and its legal framework.

REFERENCES

Ait Lahcen, O.A. and Kakas A. 2022. "La protection juridique de l'arganeraie en droit marocain", Actes du 6ème Congrès International de l'Arganier, Agadir, 467 -471.

Alonso-Fradejas, A. 2021 "The resource property question in climate stewardship and sustainability transitions", Land Use Policy 108: 105529.

Aubert, Pierre-Marie, Maya Leroy and Laurent Auclair. 2009. "Moroccan Forestry Policies and Local Forestry Management in the High Atlas: A Cross Analysis of Forestry Ad-ministration and Local Institutions." Small-scale Forestry 8: 175–191.

Babahadi L. and Babahadi M. 2008. Les racines d'Argania. Agadir: Auto édition.

Balaton-Chrimes, S. and V. Stead. 2017. "Recognition, power and coloniality", Postcolo-nial Studies 20,1: 1-17.

Benda-Beckmann, K. von, and B. Turner. 2020. "Anthropological Roots of Global Legal Pluralism." In The Oxford Handbook of Global Legal Pluralism, edited by P. Schiff Berman, 67-141. Oxford, UK: Oxford University Press.

Blanko, E. and A. Grear. 2019. "Personhood, jurisdiction and injustice: law, colonialities and the global order", Journal of Human Rights and the Environment 10,1: 86–117.

De Ponteves, E., A.Bourbouze, and H. Narjisse. 1990. « Occupation de l'espace, droit coutumier et législation forestière dans un territoire de l'arganeraie septentrionale au Maroc », Les Cahiers de la Recherche Développement 26 (Juin): 28-43.

El Wahidi, Farid. 2023. Dynamiques des dégradations de l'arganeraie et modélisation spatiale de l'évolution forestière : scénarios d'aménagement pour une gouvernance locale. Thèse : Université catholique de Louvain.

Epstein,Y., A.M. Ellison, H. Echeverría, and J.K. Abbott. 2023. "Science and the legal rights of nature." Science 380: 6646:704

Ganoudi, M., I. Ouallal, A. El Mekkaoui, M. Majid, M. Ibriz, and D. Iraqi. 2023. "Di-versity of Endomycorrhizal Fungi in Argan Forest Stands: Implications for the Success of Reforestation Programs." Forests 14, 1649.

Herrmann-Pillath, C. 2023. "The universal commons: An economic theory of ecosystem ownership", Ecological Economics 208: 1-11.

McGregor, Helen V., Lydie Dupont, Jan-Berend W. Stuut, and Holger Kuhlmann. 2009. "Vegetation change, goats, and religion: a 2000-year history of land use in southern Morocco." Quaternary Science Reviews 28: 1434–1448.

McIntosh, Janet. 2018. "Personhood, Self, and Individual", In The International Ency-clopedia of Anthropology, edited by Hilary Callan, 1-9. Chichester: Wiley.

Polain de Waroux, Yann de and Eric F. Lambin. 2012. "Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: The case of the argan woodlands (Morocco)", Ap-plied Geography 32: 777-786.

Sabiri, C.; B. Tazi, N. Maata, S. Rahim, H. Taki, A. Bennamara, L. Saad, and A. Derouiche. 2023. "Nutritional Assessment and Comparison of the Composition of Oil Extracted from Argan Nuts Collected from a Plantation and Two Natural Forest Stands of Argan Trees", Forests 14, 180.

Sellal Z., A. Ouazzani Touhami, M. Chliyeh, J. Dahmani, R. Benkirane and A.Douira 2016. "Arbuscular Mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Argania spinosa* (L.) Skeels in Morocco", Int. J. Pure App. Biosci. 4 (1): 82-99.

Sinsin, T.E, F. Mounir and A. El Aboudi. 2020. "Conservation, valuation and sustainable development issues of the Argan Tree Biosphere Reserve in Morocco". Environmental & Socio-economic Studies 8 (1): 28-35.

Turner, B. 2014. "Neoliberal Politics of Resource

Extraction: Moroccan Argan Oil." Forum for Development Studies 41 (2): 207-32.

Turner, B. 2016. "Supply-chain Legal Pluralism: Normativity as Constitutive of Chain Infrastructure in the Moroccan Argan Oil Supply Chain." Journal of Legal Pluralism 48 (3): 378-414.

Turner, B. 2023. "Legal Pluralism in Infrastructural Designs: Alternative Supply Chains in the Moroccan Argan Oil Export", Science, Technology, & Human Values 48 (3): 475-499.

Turner, B. and M.G. Wiber. 2022. "Law, Science, and Technologies." In The Oxford Handbook of Law and Anthropology, edited by M.-C. Foblets, M. Goodale, M. Sapignoli, and O. Zenker, 754-771. Oxford, UK: Oxford University Press.

Turner, B. and Wiber, M.G. 2023. "Legal Pluralism and Science and Technology Studies: Exploring Sources of the Legal Pluriverse." Science, Technology, & Human Values 48(3): 457–474.

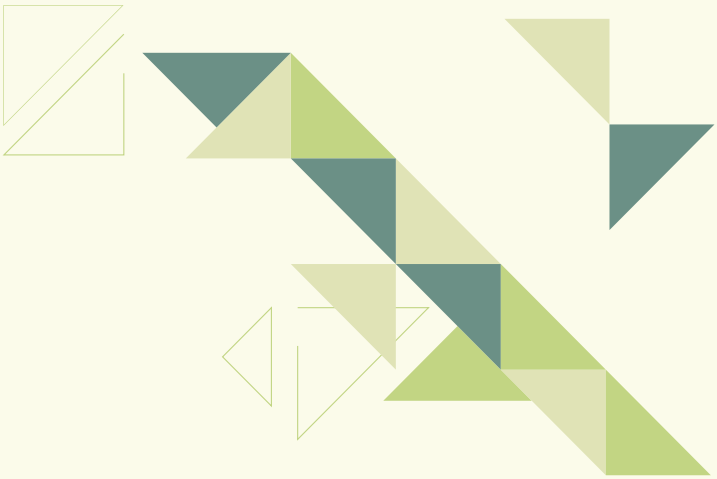
Turner, B. and Wiber, M.G. forthcoming. "Failure to Care Despite Legal Personhood for the Environment", Journal of Legal Pluralism.

Upadhyay, S.K. and S.P. Singh (eds.) 2021. Bioprospecting of Plant Biodiversity for In-dustrial Molecules. Hoboken, NJ: Wiley.

Wiber, M.G. and B. Turner. 2010. "Moral Talk: The Ontological Politics of Sustainable "Development', Max Planck Institute for Social Anthropology Working Papers No. 123 (36 pp.).

Weilenmann, M. 2009. "Project Law – a Legal Intermediary between Local and Global Communities. A Case Study from Senegal." Anthropologica, Journal of the Canadian Anthropology Society 51: 39–51.

AXE 1
Structure, gestion et conservation de l'écosystème arganeraie



COMMUNICATIONS AFFICHÉES

Evaluation de la vulnérabilité et des impacts du changement climatique sur la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie

Youssef DALLAHI [1*] et Youssef BOUSSALIM [1]

[1] *Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat*

* *youssef.dallahi@fsr.um5.ac.ma*

RÉSUMÉ

Les aléas climatiques associés aux facteurs anthropiques sont largement affectés l'Arganeraie marocaine. Ce travail vise à évaluer la vulnérabilité et les impacts du changement climatique conformément à la méthodologie du 6ème rapport du GIEC qui offrent des outils pertinents pour mieux comprendre les relations de cause à effet et de proposer des mesures d'adaptations pertinentes et adéquates pour assurer la durabilité de cet écosystème. Les résultats de l'évolution des aléas climatiques durant les 10 dernières années a révélé une tendance à la baisse des précipitations avec des fluctuations importantes, ainsi qu'une augmentation des températures et des périodes de sécheresse. Les projections futures des précipitations et de la température selon les scénarios SSP2 4.5 (optimiste) et SSP5 8.5 (pisimiste) de la RBA confirment ces tendances pour les décennies à venir. En plus de ces aléas climatiques, divers facteurs non climatiques exacerbent la dégradation de la RBA. Parmi ceux-ci figurent l'exploitation excessive du bois et le défrichage, le surpâturage, le labour et l'expansion des cultures. L'analyse des impacts de ces aléas climatiques et non climatiques a révélé des effets majeurs sur l'Arganeraie de la RBA, notamment le dépérissement des peuplements, la diminution de la couverture végétale et la déforestation. En effet, l'évolution moyenne de l'indice de végétation (NDVI) montre une tendance à la régression, ce qui accentue la désertification et entraîne un appauvrissement et une perte de la biodiversité. Par conséquent, il est crucial de tenir compte de l'analyse de la vulnérabilité et des impacts du changement climatique sur l'écosystème d'*Argania spinosa* afin de mettre en place d'indicateurs de suivi pour orienter une gestion adaptative à moyen et à long terme, visant à maintenir l'intégrité écologique de cet écosystème et d'accroître sa résilience.

Mots clés
Arganeraie ; vulnérabilité, impacts, changement climatique, 6 ème rapport du GIEC

ABSTRACT

Assessment of the vulnerability and impacts of climate change on the Arganeraie Biosphere Reserve

Climate hazards associated with anthropogenic factors have significantly affected the Moroccan Arganeraie. This work aims to assess the vulnerability and impacts of climate change in accordance with the methodology of the IPCC's Sixth Assessment Report, which provides relevant tools for better understanding cause-and-effect relationships and proposing appropriate and effective adaptation measures to ensure the sustainability of this ecosystem. The results of the evolution of climate haz-ards over the past 10 years have revealed a decreasing trend in precipitation with significant fluctuations, as well as an increase in temperatures and drought periods. Future projections for precipitation and temperature according to the SSP2-4.5 (optimistic) and SSP5-8.5 (pessimistic) sce-narios of the RBA confirm these trends for the coming decades. In addition to these climate hazards, various non-climatic factors exacerbate the degradation of the RBA. These include excessive logging and land clearing, overgrazing, plowing, and the expansion of crops. Analysis of

Keywords
Arganeraie; vulnerability; impacts; climate change; IPCC Six[th] Assess-ment Report

the impacts of these climatic and non-climatic factors has revealed signifi-cant effects on the RBA Argan Grove, such as declines in tree stands, reductions in vegetation cover, and deforestation. The average trend of the vegetation index (NDVI) indicates a regression, which exacerbates desertification and leads to the loss and impoverishment of biodiversity. Therefore, it is essential to analyze the vulnerability and impacts of climate change on the *Argania spinosa* ecosystem to establish monitoring indicators that will guide adaptive management strategies in the medium and long term, aiming to maintain the ecological integrity of this ecosystem and enhance its resilience.

INTRODUCTION

L'Arganeraie de la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie est un véritable trésor par ses multiples services écosystémiques. En effet, les écosystèmes organisés par l'*Argania spinosa* jouent un rôle social indéniable par ses multiples usages, ils procurent à la po-pulation riveraine les terres pour la culture vivrière, le bois qui peut être utilisé à des fins énergétiques ou bien pour la construction ou la fabrication des outils ménagers et agricole, les unités fourragères pour le bétail, mais aussi ses noix sont utilisées pour l'extraction d'une huile précieuse à grande valeur nutritive et cosmétique. D'un autre côté, cet écosystème constitue un véritable rempart contre la désertification.

Cependant, l'écosystème à arganier est confronté à des pressions multiples qui contrarient sa pérennité, en particulier en raison du changement climatique, notamment de la sé-cheresse qui sévit dans la Région. De plus, un déséquilibre entre l'offre et la demande croissante des populations rurales exerce une forte pression sur cet écosystème, dépassant largement ses capacités. Cette pression sur les peuplements d'arganiers découle de divers facteurs, notamment le surpâturage, la déforestation, l'urbanisation intense et anarchique, l'ensablement, l'épuisement des eaux souterraines et l'expansion des cultures intensives qui grignotent l'espace. Aussi, le non-respect des droits d'usage accordés aux usagers de la forêt par la législation spéciale de l'arganeraie (ramassage du bois mort, cueillette des fruits, parcours, labour, prélèvement de bois, de terre et de pierre) aggrave cette pression.

L'analyse de l'évolution des superficies de l'Arganeraie a montré que cet écosystème régresse en plaine avec un rythme annuel de 2,3% [5] et de 1 arbre/ha/an en montagne [3]. Ces chiffres anciens prennent une dimension plus significative lorsqu'on les considère sur des échelles temporelles plus étendues. Cette régression est le résultat d'une gestion inadéquate de ces ressources qui affaiblit leurs possibilités de conservation, des prises de décisions inappropriées et d'un manque de données suffisantes, structurées, fiables et actualisées.

Actuellement, et vu l'ampleur de la récurrence des sécheresses, la croissance démo-graphique dans la RBA, la sédentarisation des pasteurs, le prélèvement excessif du bois, le surpâturage, etc. ces écosystèmes subissent des impacts beaucoup plus importants, qui seront aggravés davantage dans les années à venir.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail qui vise à mettre à la disposition des décideurs, des planificateurs et des différents acteurs des outils efficaces pour comprendre la vulnérabilité et les impacts du changement climatique sur l'Arganeraie, afin d'avoir une vision claire sur les impacts potentiels, dans le but de mieux comprendre les relations de cause à effet et de proposer des mesures d'adaptations pertinentes et adéquates.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude concerne la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie, qui est considéré comme un patrimoine national et mondial déclaré par l'UNESCO depuis 1998, qui s'étend sur une superficie globale d'environ 2,5 Millions d'hectare, coiffant l'aire de sept provinces et préfectures (Agadir Ida Ou Tanane, Inezgane Ait Melloul, Chtouka Ait Baha, Tiznit, Taroudant, Sidi Ifni et Essaouira).

2.2. Méthodologie

Dans l'objectif d'évaluer la vulnérabilité et les impacts du changement climatique sur la Réserve de Biosphère de l'Arganeraie, la méthodologie du 6ème rapport du GIEC concernant la vulnérabilité et les impacts du changement climatique a été suivie. Cette méthodologie repose sur une approche scientifique rigoureuse et interdisciplinaire. Les principales étapes et méthodes utilisées sont les suivantes :

- Revue de la littérature scientifique ; en réalisant une revue exhaustive de la littérature scientifique disponible sur les impacts du changement climatique, en se basant sur des études publiées, des rapports et des publications académiques ;
- Collecte de données provenant de diverses sources, y compris des indices spectraux calculés par des images satellitaires, des modèles climatiques et des bases de données mondiales sur les impacts climatiques ;
- Évaluation des aléas climatiques et non climatiques,

des risques et de la vulnérabilité en se référant aux données collectées ;

• Réalisation de la chaine d'impact : cette chaine a été conçue en tenant compte de multiples risques et impacts clés sur l'Arganeraie, ainsi que les impacts en cascade d'un sous-système à un autre.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Les aléas climatiques

Les conditions climatiques de la RBA se caractérisent par une aridité prononcée. En effet, la zone enregistre une faible pluviométrie, oscillant entre 150 à 350 mm/an, ainsi que des températures maximales pouvant atteindre jusqu'à 50°C. L'analyse de l'évolution des paramètres climatiques durant les 10 dernières années a révélé une tendance à la baisse des précipitations avec des fluctuations importantes (Figure 1), ainsi qu'une augmentation des températures et des périodes de sécheresse.

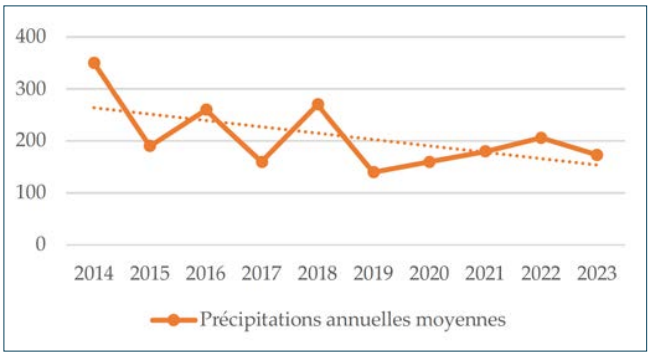


Figure 1. Evolution des précipitations moyennes annuelles de la RBA

Les projections futures des précipitations et de la température selon les scénarios SSP2 4.5 (optimiste) et SSP5 8.5 (pisimiste) de la RBA montrent une tendance vers l'augmentation des températures moyennes et une diminution des précipitations au cours des prochaines décennies (Figure 2 et 3).

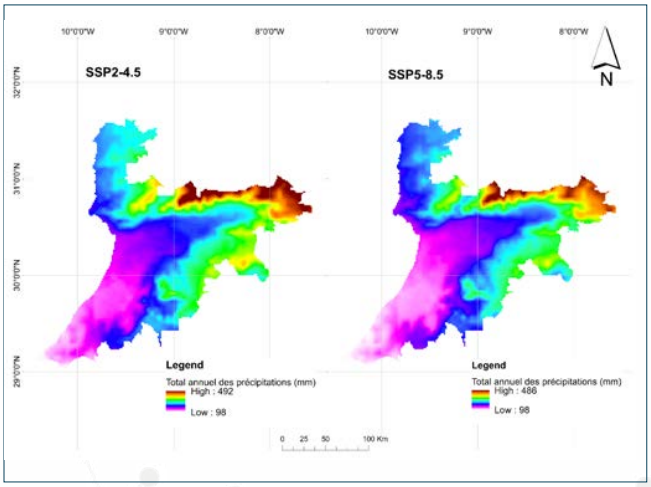


Figure 2. Projections futures des précipitations moyennes an-nuelles de la RBA à l'horizon 2050

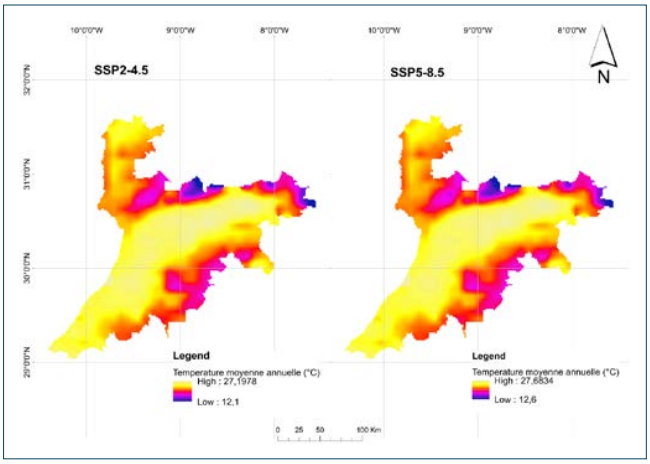


Figure 3. Projections futures des températures moyennes annuelles de la RBA à l'horizon 2050

3.2. Les aléas non climatiques

• ***Prélèvements excessifs du bois et défrichements***

La problématique des délits de coupe de bois constitue l'une des problématiques majeures de l'Arganeraie de la RBA. En effet, les prélèvements excessifs du bois de feu, les coupes d'écimage, d'émondage et de défrichement constituent une cause majeure du déséquilibre de cet écosystème. Ces délits de coupe de bois sont beaucoup plus intenses dans les zones de montagnes enclavées et caractérisées par une pauvreté assez marquée où les populations prélèvent le double de la possibilité que la forêt puisse leur donner [1].

• ***Surpâturage***

L'analyse des données sur les effectifs des troupeaux dans la région de RBA révèle des fluctuations importantes, largement influencées par les irrégularités climatiques, avec une tendance à la hausse. Cette augmentation des effectifs de bétail a conduit à une charge pastorale réelle estimée entre 2,5 et 4 UPB/ha, soit près de 3 fois la charge d'équilibre [2]. L'ensemble de ces cheptels sont fortement tributaires des arganiers et toutes es parties de l'arbre sont soumises au broutage des animaux [4]. Cette forte pression pastorale entraîne non seulement une altération de la biodiversité, mais également des processus d'érosion et de désertification, qui affectent déjà de vastes étendues montagneuses dénudées.

• ***Labour et développement des cultures***

Le labour et le développement des cultures sont parmi les facteurs les plus importants de la dégradation des espaces boisés à base d'arganier. Ce

phénomène prend des proportions différentes selon qu'on soit en montagne ou en plaine. En montagne, les parcelles de culture sont limitées par les fortes pentes, les broussailles et les minces couches arables. Par contre, au niveau de la plaine, presque toute l'arganeraie est concernée par les labours. La mécanisation et l'introduction de la culture industrielle entraîne le défrichement de grande surface d'arganier, la coupe des racines des arbres par le matériel de labour puissant, l'abaissement du niveau de la nappe phréatique et la salure des sols.

3.3. L'exposition de l'Arganeraie

Les composantes particulièrement exposées, également connues sous le terme de "hotspots d'exposition", désignent les zones hautement exposées aux aléas climatiques et non climatiques du changement climatique. Dans la RBA, d'après les projections climatiques futures, ces hotspots d'exposition concernent essentiellement la plaine de Souss et la Région de l'Anti-Atlas.

3.4. Analyse de la vulnérabilité

- ***Dépérissements***

Les analyses climatiques et bioclimatiques réalisées dans la RBA, montrent une tendance à l'augmentation des températures maximales et minimales, une baisse des précipitations, accompagnée d'une augmentation de la fréquence des années de sécheresse. Ce cumul du déficit hydrique conjugué à des actions anthropiques a affaibli l'écosystème à *Argania spinosa* qui est devenue plus sensible aux maladies et aux agents pathogènes, ce qui a favorisé des dépérissements plus ou moins intenses, sur plusieurs massifs. Ainsi, plusieurs déperissement ont été constatés dans plusieurs régions comme indiquée par la figure 4.

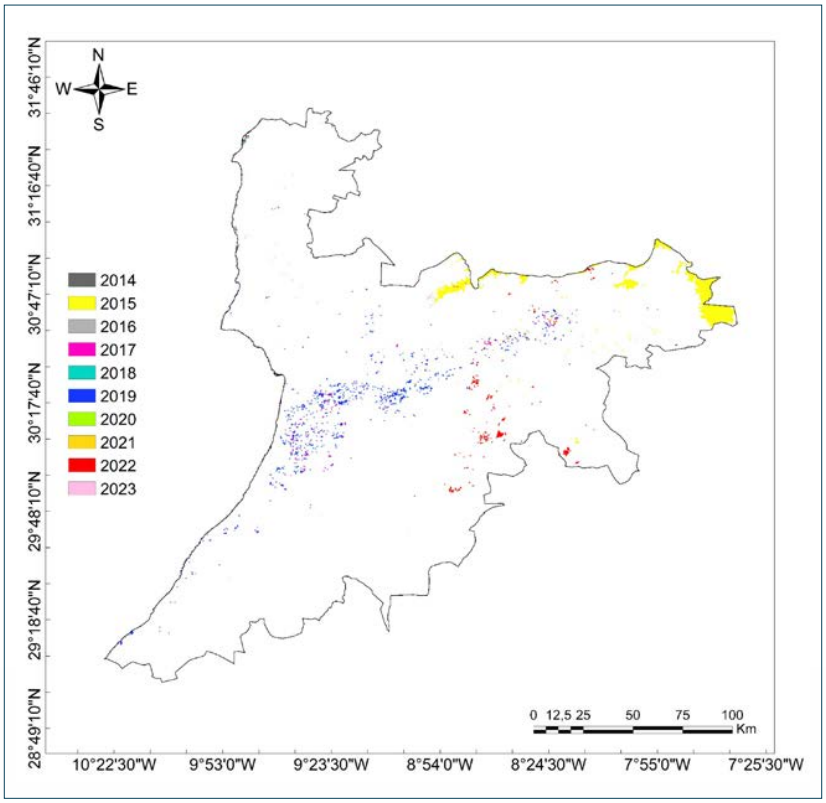


Figure 4. Carte montrant des zones qui montrent des signes de dépérissements

• ***Migration des espèces***

L'hypothèse largement acceptée concernant la réponse des espèces au changement climatique concerne les potentialités de migration selon le gradient altitudinal, associé au gradient thermique. La règle biogéographique conceptuelle associe à :

- Un niveau de réchauffement de 1,5°C à court terme (qui sera donc atteint dès 2030 quel que soit le scénario), soit un changement d'altitude de 300 m ;
- Un niveau de réchauffement de 2°C à moyen terme (soit l'équivalent du SSP2-4.5 à horizon 2050, ou SSP4-8.5 à horizon 2040), soit un changement d'altitude de 400 m ;
- Un niveau de réchauffement de 4°C à long terme, soit un changement d'altitude de 800 m ;

Les conséquences de ces changements incluraient la disparition des zones climatiques les plus froides et le déplacement linéaire de toutes les ceintures de végétation vers les sommets. Cela indique aussi, que les formations à *Argania spinosa* des milieux arides, seront menacées de disparition ; et que les Arganeraies d'altitudes ont tendance à s'infiltrer dans l'aire de répartition de thyua et des autres formations d'altitude.

3.5. Analyse des impacts potentiels

L'objectif de cette partie est de définir les impacts potentiels et projetés du changement climatique sur l'Arganeraie de la RBA. Parmi les principaux impacts du changement climatique sur l'Arganeraire de la RBA on cite :

• ***Réduction du couvert végétal et deforestation***

Suite au changement climatique les massifs à *Argania spinosa* ont perdu une superficie importante. Par exemple, l'arganeraie de la province de Taroudant a perdu une densité de 44,5% entre 1970 et 2007 ([6]. D'autre forêts ont perdu des superficies beacoup plus importantes comme la forêt d'Admine [5].

Par ailleurs, Cette tendance de réduction a continue durant les dix derniers années. En effet, suite aux différents aléas climatiques et non climatiques, on assiste à une réduction du couvert végétal d'une facon continue. L'analyse de l'évolution du NDVI moyen des de la végétation de la RBA montre une tendance vers la régression, notamment au cours des trois dernières années (Figure 5).

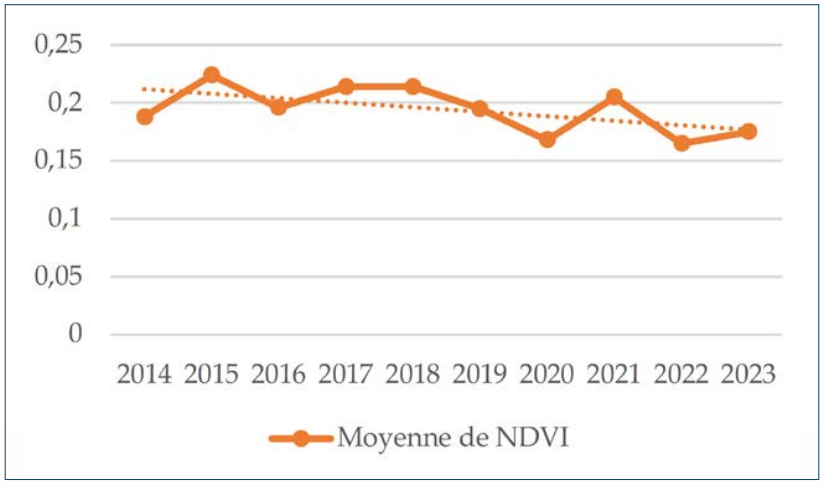


Figure 5. Evolution du couvert végétal à l'aide du NDVI de la RBA durant les dix derniers années

• ***Accentuation de la desertification***

La désertification correspond à la dégradation des terres des zones arides, résultat de l'action de divers facteurs dont les variations climatiques et les activités humaines. Cette désertification, suite à un scénario d'augmentation des températures de 1,5 degrés au-dessus des niveaux pré-industriels en 2050, 24% des terres pourraient être affectées par l'aridité et la désertification. Pour un réchauffement de 2 degrés d'ici 2050, ce chiffre passe à 32%.

• ***Appauvrissement et perte de la biodiversité***

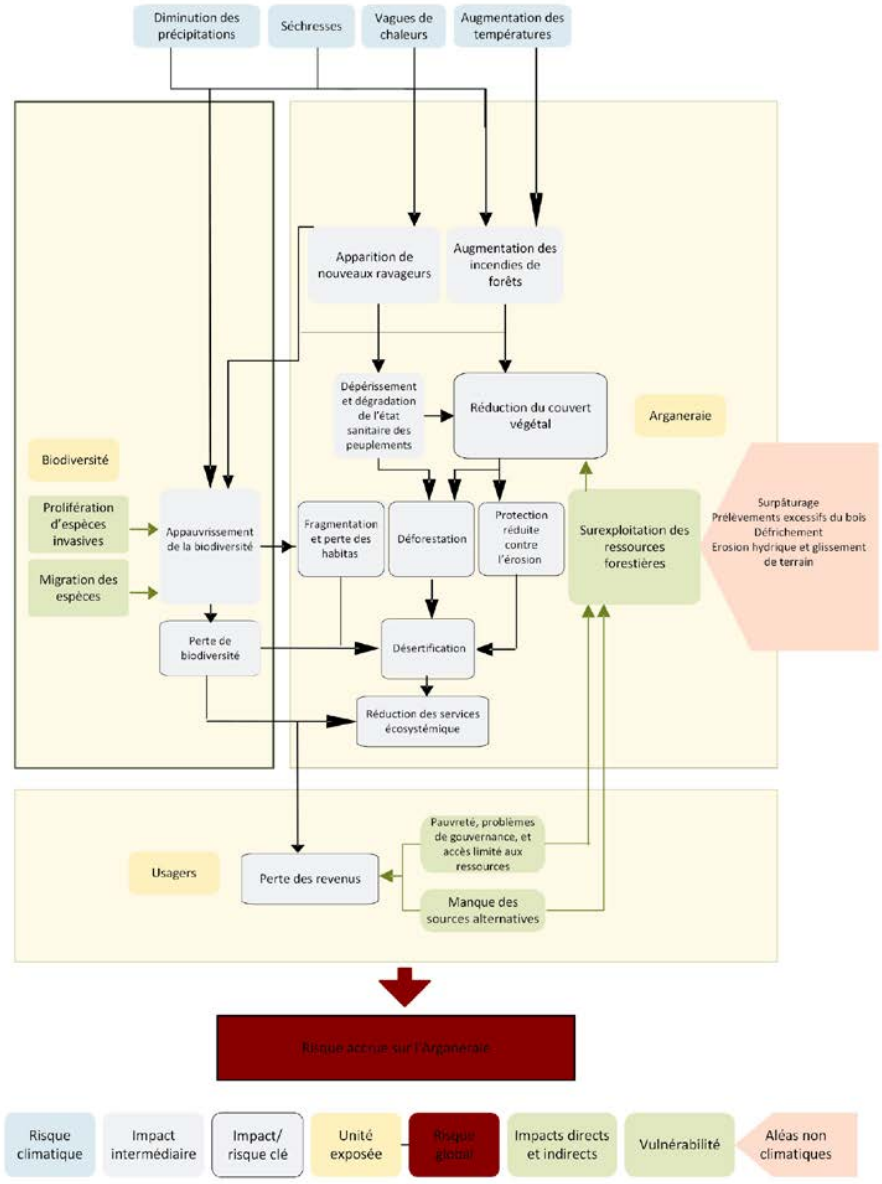
Selon les études bibliographiques disponibles, l'arganeraie abrite presque 1240 espèces et sous espèces [7], ce qui représente environ le quart de la

flore marocaine. Parmi ces espèces, plusieurs sont considérées comme endémiques, rares ou menacées, notamment celles qui font partie des éléments floristiques propres de l'écosystème à *Argania spionosa*. Parmi les espèces rares ou menacées, on peut citer : *Dracaena draco subsp .ajgal, Olea maroccana, Polygala balansae, Chamaecytisus albidus, Ephedra cossonii, Hesperolaburnum platycarpum, Globularia arabica*

CONCLUSION

L'analyse de la vulnérabilité et des impacts du changement climatique sur l'écosystème à *Argania spinosa* et le développement des mesures d'adaptations pour améliorer sa résilience s'avèrent nécessaires. Une telle étude est précieuse pour mettre en place des indicateurs de suivi qui vont orienter la gestion à court et à long terme afin de préserver cet écosystème.

Annexe : Chaine d'impact



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bougrine, M., Gajo M., Wauthelet, M., 1993. Etude bois-énergie dans la région du Souss-Massa, Analyses et perspectives. GTZ /CDER Programme Spécial Energie Maroc (PN 86.2298.7) ORMVA/SM Volet Biogaz, Agadir.

2. Bouzemouri B., 2007. Problématique de conservation et du développement de l'arganeraie. Colloque international, 27-28 Avril, rabat.

3. El Aboudi A, (1990) Typologie des agraneraies inframediterraneennes et ecophysiologie de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans le Sous (Maroc). Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble I, 123 p.

4. El Aich et al., 2005. L'élevage caprin dans l'arganeraie : l'utilisation conflictuelle d'un espace, Cahiers Agricultures, 14, (5), 447-453.

5. El Yousfi M., 1988. La dégradation forestière dans le sud marocain. Exemple de l'arganeraie d'admine (Souss) entre 1969 et1986. Mémoire de 3eme cycle I.A.V Hassan 2, Rabat, 117p.

6. Le Polain de Waroux Y, Lambin E. F., 2011. La dégradation de l'arganeraie et ses causes dans la province de Taroudant. Actes du Premier Congrès International de l'Arganier, Agadir 15 - 17 Décembre 2011.

7. Peltier J-P., 1982. La végétation du bassin versant de l'oued Souss, Maroc. Thèse de doctorat. Université de Grenoble. P 198.

Valorisation adaptative de l'arganier par des systèmes agroforestiers contre le changement climatique au Maroc

Khadija El-Moustaqim [1*], Jamal Mabrouki [2] , Driss Hmouni [1].

[1] *Improvement and Valuation of Plant Resources, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University—KENITRA-University Campus, Kenitra 14000, Morocco*

2 Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERN2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, AV IbnBattouta, Agdal, Rabat 10106, Morocco

** elmoustaqim.khadija@gmail.com*

RÉSUMÉ

Les débats entourant la gouvernance mondiale se trouvent de plus en plus façonnés par la menace grandissante du changement climatique. Ce phénomène met en péril les objectifs de développement durable, perturbe la santé publique, la gestion des ressources en eau et l'essor agricole, tout en affectant les relations internationales. De nos jours, la quête d'équité et de justice est devenue cruciale pour envisager une adaptation efficace de l'humanité aux bouleversements climatiques en cours. Face à ces défis, les agriculteurs marocains doivent adapter leurs pratiques de gestion des arganeraies pour préserver cette cultivation emblématique et résiliente, tout en s'efforçant de promouvoir la durabilité environnementale dans un contexte de changement climatique. La cultivation de l'arganier offre des avantages multiples en matière de lutte contre le changement climatique, allant de la séquestration du carbone à la préservation des sols et à la promotion de pratiques agricoles durables. En investissant dans la préservation et la promotion de cette cultivation emblématique, on peut contribuer de manière significative aux efforts mondiaux visant à atténuer les effets du changement climatique. Dans cet article on va aborder la notion de l'adaptation de la valorisation de l'arganier comme un utile essentiel dans la diminution du changement climatique.

Mots clés
l'arganier, changement climatique, l'agroforesterie, systèmes agricoles, Maroc

ABSTRACT

Adaptive development of the argan tree using agroforestry systems to combat climate change in Morocco

The growing threat of climate change is increasingly influencing discussions about global governance. Climate change threatens sustainable development goals, disrupts public health, water resource management, and agri-cultural development, and affects international relations. Today, the quest for equity and justice has become crucial if humanity is to adapt effectively to the climate upheavals underway. With these challenges in mind, Moroccan farmers need to adapt their argan-tree management practices to preserve this emblematic and resilient crop, while striving to promote environmental sustainability in climate change. Argan cultivation offers multi-ple benefits in the fight against climate change, ranging from carbon sequestration to soil preservation and promoting sustainable farming practices. By investing in the preservation and promotion of this iconic crop, we can make a significant contribution to global efforts to mitigate the effects of climate change. In this article, we will look at the concept of adapting the development of the argan tree as a key factor in mitigating climate change.

Keywords
the argan tree, climate change, agroforestry, farming systems, Morocco

INTRODUCTION

Les discussions sur la gouvernance internationale sont de plus en plus influencées par le spectre du changement climatique. Il met en danger les objectifs de développement du millénaire, bouleverse les conditions de la santé humaine, la gestion des eaux et le développement de l'agriculture, ainsi que les relations internationales. Le souci de l'équité et de la justice est de plus en plus considéré comme la clé d'une adaptation possible de l'humanité au changement climatique [1]. Le climat a été bien documenté depuis plusieurs centaines de milliers d'années. Il existe un grand nombre de projections climatiques qui sont modélisées pour prévoir divers scénarios de changement climatique. Un certain nombre de causes responsables de la variabilité climatique de notre planète ont été identifiées grâce à l'analyse du climat actuel et passé [2], [3]. En 2022, le Maroc a été le témoin d'une anomalie climatique significative, se classant parmi les années les plus chaudes jamais enregistrées. L'anomalie de la température moyenne annuelle s'est élevée à environ 1,63 °C par rapport à la normale climatologique, marquant ainsi une période exceptionnellement chaude dans tout le pays [4]. L'arganier, une espèce originaire du Royaume du Maroc, est un symbole de résilience dans les régions arides et semi-arides. Au cœur de l'arganeraie, cet arbre emblématique façonne un écosystème unique, abritant une abondance de plantes endémiques. Défiant les contraintes de la nature, il persiste là où l'eau se fait rare, où l'érosion menace, et où les sols sont souvent pauvres [5], [6]. Elle prospère dans des conditions arides et semi-arides, formant un écosystème forestier unique connu sous le nom d'arganeraie, qui abrite une flore endémique diversifiée. Il défie les environnements hostiles caractérisés par la rareté de l'eau, le risque d'érosion et la fertilité limitée des sols. Cette région particulière du Maroc, où l'arganier est cultivé depuis des siècles, allie une remarquable diversité agricole, une résilience écologique et un héritage culturel précieux [7], [8], [9]. Cependant, l'importance de l'arganier va au-delà de la production d'huile. Cet arbre joue un rôle important dans la promotion du développement durable pour les populations locales et dans l'atténuation des effets du changement climatique dans la région. Pendant des siècles, les agriculteurs du Maroc ont adopté des pratiques agroforestières ancestrales pour cultiver une variété de céréales telles que le blé, l'orge et les lentilles sous l'ombrage bienveillant des arganiers [10]. Cette approche traditionnelle ne se contente pas d'enrichir la fertilité des sols, mais elle joue également un rôle crucial dans la préservation contre l'érosion et la désertification [11]. Les racines profondément enracinées de l'arganier agissent comme des remparts naturels, stabilisant les sols et protégeant contre l'érosion éolienne, une mesure salvatrice dans les régions arides et semi-arides. Ainsi, le modèle agroforestier associé à l'arganier offre des solutions précieuses, non seulement localement, mais aussi en tant que contribution significative à l'échelle mondiale pour promouvoir le développement durable et atténuer les effets néfastes du changement climatique [12].

Selon ce travail, le but général est de mener une étude sur l'évaluation de l'adaptation de la valorisation de la culture de l'arganier comme un élément essentiel de la lutte contre le changement climatique. L'étude se concentre sur plusieurs points, notamment l'importance et les avantages socioéconomiques de la culture de l'arganier, puis sur l'adaptation des systèmes agricoles au changement climatique.

LA CULTIVATION DE L'ARGANIER: IMPORTANCE, AVANTAGES SOCIOÉCONOMIQUES

Il est crucial de mettre en avant l'importance des méthodes d'agroforesterie qui combinent agriculture et foresterie, en particulier en ce qui concerne l'arganier. Depuis de nombreuses années, les agriculteurs du Maroc utilisent ces méthodes pour cultiver des cultivations telles que le blé, l'orge et les lentilles sous l'ombre des arganiers [13]. Non seulement cette méthode augmente la fertilité des sols, mais elle prévient également l'érosion et la désertification. Les racines profondes de l'arganier stabilisent le sol et réduisent l'érosion éolienne, ce qui est crucial dans les régions arides et semi-arides. Par conséquent, le modèle d'agroforesterie associé à l'arganier peut contribuer au développement durable et à atténuer les effets négatifs du changement climatique [14].



(a) (b)

Figure 1. (A) : Un arganier dans un endroit aride à Tafraoute, au Maroc, (B) : La cultivation des arbres de l'arganier.

La culture de l'arganier se concentrent spécialement sur le développement socioécono-mique local, par l'importance de donner les moyens de jouer un rôle actif dans la gestion et la conservation de leurs ressources naturelles (Figure 1). Cette approche peut donner une valeur en considération d'appréciation de la valeur de l'écosystème de l'arganier, qui favorisent l'adoption

de la pratique durables en matière d'exploitation des terres et à la promotion des efforts de conservation menés par les communautés. Sa cultivation favorise l'utilisation durable des terres et la conservation de la biodiversité, ce qui en fait une ressource précieuse dans les zones arides et semi-arides. Cet arbre est une ressource importante pour les communautés locales et pour la communauté internationale en raison de ses propriétés et de ses contributions uniques [15].

ADAPTATION DES SYSTÈMES AGRICOLES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'analyse du fonctionnement écologique de certains écosystèmes forestiers a démontré que la fréquence adéquate des incendies est essentielle pour maintenir un niveau de productivité durable. Sans cela, il existe un risque que les populations forestières se détériorent en raison de ravageurs ou de sécheresse [26]. Remplacer les plantes sensibles aux changements climatiques par des plantes plus résistantes est une stratégie fréquemment utilisée pour faire face aux défis du changement climatique. En conséquence, de nombreuses études se concentrent sur le développement de variétés capables de résister aux pressions environnementales, qu'elles soient d'origine biotique ou abiotique, en utilisant des techniques telles que la sélection génétique ou le génie génétique [27].

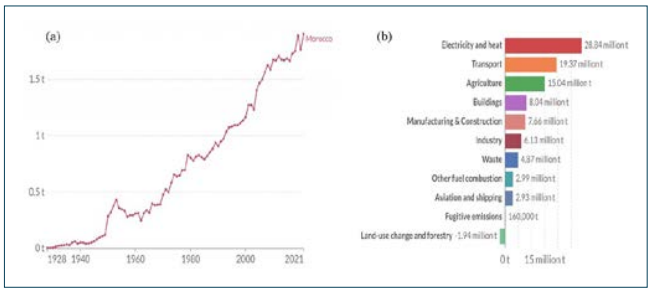


Figure 2. (a) : Quantité de dioxyde de carbone (CO2) émise par personne, issue de combustibles fossiles et des activités industrielles. (b) : Répartition des émissions de gaz à effet de serre par domaine au Maroc en 2019 en (CO2eq). [16]

La liaison entre l'agriculture et le changement climatique est fait selon plusieurs manière on trouve, l'agriculture s'occupe des terres qui contribuent au réchauffement climatique par ses émission de 18.4% des gaz à effet de serre [16], ce qui représentent un classement de 3ème secteur le plus émetteur au Maroc, ceci explique la continuité des émissions des gaz à effet de serre au Maroc qui ne cesse d'augmenter (Figure 2). La cultivation de l'arganier se révèle être un moyen efficace pour contrer les effets néfastes du changement climatique, notamment la désertification, grâce à sa capacité à stabiliser les sols et à prévenir l'érosion [17]. Adapté aux environnements arides et semi-arides, cet arbre re-présente une ressource inestimable pour promouvoir des pratiques durables en matière de gestion des terres dans ces régions. Sa résilience face à la sécheresse et à d'autres conditions environnementales extrêmes réduit également la nécessité d'irrigation et d'autres pratiques gourmandes en ressources [18]. L'arganier joue également un rôle essentiel dans la séquestration du carbone, contribuant ainsi à la réduction des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. En outre, son large feuillage dense offre une ombre rafraîchissante et favorise la conservation de l'humidité, créant ainsi un micro-climat propice à la croissance d'autres espèces végétales [19].

L'ARGANIER DANS L'AGROFORESTERIE COMME LEVIER D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Adaptant les systèmes agricoles au changement climatique implique l'élaboration d'un ensemble de stratégies visant à renforcer leur résilience, c'est-à-dire à maintenir leur capacité de production face à une augmentation de la fréquence des événements climatiques imprévisibles [20]. La conception des systèmes agricoles selon des principes agroécologiques, mettant l'accent sur la diversification des cultures et des paysages est donc perçue comme un moyen d'améliorer la résilience des systèmes face au changement climatique [21]. Les systèmes agricoles traditionnels à travers le monde, où les arbres sont étroitement liés aux activités de production, constituent la base des pratiques agroforestières. Cette approche, qui a été associée historiquement aux agriculteurs familiaux et aux petits exploitants, permet une diversification durable de la production agricole grâce à la présence d'arbres. La diversification améliore la gestion des imprévus de la production [22], [23]. Les rapports du GIEC font explicitement référence à l'agroforesterie comme une méthode pertinente pour réduire les effets du changement climatique. L'agroforesterie est mentionnée principalement pour les zones tropicales (Amérique Centrale et du Sud, Afrique Centrale et Asie du Sud-Est), puis pour les zones désertiques d'Afrique. Le deuxième rapport d'évaluation pour les régions arides du continent africain met en avant le rôle de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et l'adaptation à la sécheresse [24], [25].

CONCLUSIONS

L'arganier joue un rôle crucial dans la capture du carbone, contribuant ainsi à la réduction des niveaux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Grâce à sa canopée étendue et à son feuillage dense, cet arbre fournit de l'ombre et favorise la rétention de l'humidité, créant un microclimat propice à la croissance d'autres espèces végétales. Dans les systèmes agroforestiers méditerranéens bien établis,

cela représente une opportunité pour atténuer les effets néfastes des périodes de sécheresse sur la productivité des cultivations telles que les pois. Les systèmes agroforestiers, qui sont encore peu étudiés, sont des systèmes de cultivation complexes qui méritent plus d'attention en tant que stratégie d'adaptation pour les cultivations annuelles dans les zones où la menace du changement climatique augmente.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. G. Michon, M. Berriane, B. Romagny, et M. Al Ifriqui, « Agriculture de terroir et changement climatique dans les ar-rière-pays méditerranéens: les savoirs locaux peuvent-ils inspirer des solutions adaptatives? », Hespéris-Tamuda, vol. 52, no 1, p. 319-356, 2017.

2. M. B. ATTOU et A. JELLOUL, « Les mutations récentes d'un espace rural dans une zone urbaine de métropolité émer-gente (Grand-Agadir et le Souss): cas de l'agriculture périurbaine », Espace Géographique Société Marocaine, no 18, 2017.

3. G. Benoît, « L'adaptation au changement climatique: pour un nouveau paradigme du développement et une transition agroécologique à grande échelle », Hespéris-Tamuda, vol. 52, no 1, p. 285-302, 2017.

4. «Quelle relation entre Agriculture et Changement Climatique ? », énergie mines & carrières Magazine. Consulté le: 21 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://energiemines.ma/quelle-relation-entre-agriculture-et-changement-climatique/

5. H. Ghazal et al., « Argane Genetics and Genomics », 2021, p. 123-134. doi: 10.1007/978-3-030-70420-9_7.

6. P. Tzeela et al., « Comparing adventitious root-formation and graft-unification abilities in clones of *Argania spinosa* », Front. Plant Sci., vol. 13, 2022, Consulté le: 21 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1002703

7. R. A. Hammou, M. C. Harrouni, K. Cherifi, A. Hallouti, et S. Daoud, « Clonal selection of Argan trees (*Argania spinosa* L. Skeels) in the Admin forest, Agadir, Southwestern Morocco », J. Agric. Crop Res., vol. 6, no 1, p. 7-18, mai 2018.

8. G. Blanchet, « La résilience des systèmes agroforestiers face au changement climatique : analyse de la réponse de cultures annuelles face à la sécheresse dans un système à base de noyer sous climat méditerranéen », These de doctorat, Montpel-lier, SupAgro, 2021. Consulté le: 21 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.theses.fr/2021NSAM0051

9. M. S. Justamante, S. Ibáñez, J. Villanova, et J. M. Pérez-Pérez, « Vegetative propagation of argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) using in vitro germinated seeds and stem cuttings », Sci. Hortic., vol. 225, p. 81-87, nov. 2017, doi: 10.1016/j.scienta.2017.06.066.

10. F. Khallouki, M. Eddouks, A. Mourad, A. Breuer, et R. W. Owen, « Ethnobotanic, Ethnopharmacologic Aspects and New Phytochemical Insights into Moroccan Argan Fruits », Int. J. Mol. Sci., vol. 18, no 11, Art. no 11, nov. 2017, doi: 10.3390/ijms18112277.

11. M. A. Mazri, M. Koufan, S. Moussafir, A. Essatte, et I. Belkoura, « Recent advances in argan propagation: a review », Trees, vol. 36, no 5, p. 1455-1476, oct. 2022, doi: 10.1007/s00468-021-02262-0.

12. A. Lakehal et al., « A Molecular Framework for the Control of Adventitious Rooting by TIR1/AFB2-Aux/IAA-Dependent Auxin Signaling in Arabidopsis », Mol. Plant, vol. 12, no 11, p. 1499-1514, nov. 2019, doi: 10.1016/j.molp.2019.09.001.

13. «Le Maroc et l'ONU célèbrent à New York l'arganier, arbre endémique du Royaume », Maroc.ma. Consulté le: 23 fé-vrier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.maroc.ma/fr/actualites/le-maroc-et-lonu-celebrent-new-york-larganier-arbre-endemique-du-royaume

14. Z. Charrouf, « Valorisation de l'arganier: Résultats et perspectives », in 5e Colloque Produits Naturels d'origine végé-tale. Université du Québec, Québec, Canadá, 2002, p. 261-270.

15. R. Bellefontaine, A. Ferradous, M. Alifriqui, et O. Monteuuis, « Multiplication végétative de l'arganier, *Argania spinosa*, au Maroc: le projet John Goelet », Bois Forets Trop., vol. 304, p. 47-59, 2010.

16. A.-A. Bouramdane, « Quelle est la Relation entre l'Agriculture et le Changement Climatique? », 2023.

17. A.-A. Bouramdane, « Mix Électrique Marocain: Défis Face à l'Urgence Climatique ».

18. J. I. A. Gen-Suo, « New understanding of land-climate interactions from IPCC special report on climate change and land », Adv. Clim. Change Res., vol. 16, no 1, p. 9, 2020.

19. R. Harbouze, J.-P. Pellissier, J.-P. Rolland, et W. Khechimi, « Rapport de synthèse sur l'agriculture au Maroc », CIHEAM-IAMM, 2019.

20. C. B. Field et V. R. Barros, Climate change 2014–Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects. Cambridge University Press, 2014.

21. S. Souther, M. Loeser, T. E. Crews, et T. Sisk, « Drought exacerbates negative consequences of high-intensity cattle graz-ing in a semiarid grassland », Ecol. Appl., vol. 30, no 3, p. e02048, 2020, doi: 10.1002/eap.2048.

22. J. Song et al., « A meta-analysis of 1,119 manipulative experiments on terrestrial carbon-cycling responses to global change », Nat. Ecol. Evol., vol. 3, no 9, Art. no 9, sept. 2019, doi: 10.1038/s41559-019-0958-3.

23. L. L. R. Renwick, A. A. Kimaro, J. M. Hafner, T. S. Rosenstock, et A. C. M. Gaudin, « Maize-Pigeonpea

Intercropping Out-performs Monocultures Under Drought », Front. Sustain. Food Syst., vol. 4, 2020, Consulté le: 25 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.562663

24. K. Beauchêne et al., « Management and Characterization of Abiotic Stress via PhénoField®, a High-Throughput Field Phenotyping Platform », Front. Plant Sci., vol. 10, 2019, Consulté le: 25 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00904

25. M. G. Arenas-Corraliza, M. L. López-Díaz, et G. Moreno, « Winter cereal production in a Mediterranean silvoarable walnut system in the face of climate change », Agric. Ecosyst. Environ., vol. 264, p. 111-118, sept. 2018, doi: 10.1016/j.agee.2018.05.024.

26. S. A. Ofori, S. J. Cobbina, et S. Obiri, « Climate Change, Land, Water, and Food Security: Perspectives From Sub-Saharan Africa », Front. Sustain. Food Syst., vol. 5, 2021, Consulté le: 1 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.680924

27. K. R. Hope Sr., « Climate change and poverty in Africa », Int. J. Sustain. Dev. World Ecol., vol. 16, no 6, p. 451-461, déc. 2009, doi: 10.1080/13504500903354424.

Validation des tarifs de cubage pour les taillis d'arganier de la plaine du Souss

Tarik Belghazi, El hassan Chakib.

Centre Régional d'Innovation, Recherche et Formation, BP 12360, Poste Annakhil, Ain Itti, Marrakech, Maroc.

tarik0677@hotmail.com

RÉSUMÉ

La présente étude a été réalisée au niveau de deux jeunes taillis d'arganier situés au niveau du versant sud du Haut Atlas. Au sein de ces peuplements, un échantillon de 20 placettes circulaires de 314 m² de superficie, réparties d'une manière aléatoire, a été inventorié. Au total, 93 cépées ont été inventoriées au niveau de ces peuplements. L'objectif principal du travail vise à tester la validité des tarifs de cubage élaborés au niveau du plateau des Haha et d'estimer la production en volume du bois des rejets. Les résultats obtenus montrent que l'estimation des volumes en utilisant ces tarifs est satisfaisante. En effet, la moyenne relative des erreurs de cubage est relativement faible. Elle varie entre 9,7 et 11,6 %. Les valeurs négatives de cette moyenne indiquent une sous-estimation des volumes par le tarif. Par ailleurs, l'accroissement moyen en circonférence sur une période de 18 ans à partir de la coupe varie de 0,7 à 1,1 cm/an. Pour ce qui est de la hauteur, l'accroissement moyen varie de 17 à 22 cm/an. Enfin, pour le volume du bois, il varie de 5,51 à 9,22 m³/ha pour une densité moyenne qui varie de 117 à 128 cépées/ha.

Mots clés
Arganier, Souss, tarif, erreur, volume de bois.

ABSTRACT

Validation of cubage rates for argan coppices in the Souss plain

The present study was conducted in two young coppices of argan tree located on the southern slopes of the High Atlas. Within these stands, a sample of 20 randomly distributed circular plots, each measuring 314 m², was made. A total of 93 clumps were inventoried.

The main objective of this work is to test the validity of the volume tables developed for the plateau of Haha and to estimate the volume production of sprouts wood.

The results obtained show that estimating volumes using these tables is satisfying. In fact, the relative average of cubing errors is relatively low. It varies between 9.7% and 11.6%. Negative values indicate an underestimation of volumes by the table.

The average increase in circumference over an 18 years period from cutting varies from 0.7 to 1.1 cm/year. In terms of height, average growth varies from 17 to 22 cm/year. Lastly, timber volume ranges from 5.51 to 9.22 m³/ha, with an average density of 117 to 128 clumps/ha.

Keywords
Argan, Souss, table, error, timber volume.

INTRODUCTION

L'arganier, sapotacée endémique du centre-ouest marocain, est une essence qui s'étend sur une superficie de 868 034 hectares [1]. Son rôle socio-économique au niveau local, voire régional est d'une importance de premier plan. Emberger [2] l'avait considéré comme étant un arbre qui donne « tout » : du bois de chauffage d'un excellent pouvoir calorifique, des noix dont on extrait une huile prisée pour la consommation humaine, du feuillage considéré comme fourrage aérien pour les caprins et du tanin extrait de son écorce. Actuellement, la valorisation de l'huile d'argan,

comme produit cosmétique diététique confère à cette essence, une notoriété internationale.

Devant les multiples vertus de l'arganier, cette essence n'a pas fait l'objet d'études scientifiques qu'elle mérite. En particulier, les études relatives à la production des peuplements d'arganier sont très rares dans la bibliographie et se sont intéressées plutôt à des arbres de futaie. En effet, comme c'est le cas pour la plupart des essences forestières, les études de production ont peu concerné les taillis [3].

Pour étudier la production des peuplements d'arganier traités en taillis, l'utilisation des tarifs de cubage est incontournable. En effet, l'utilisation de ces tarifs fait partie du quotidien des aménagistes et gestionnaires forestiers. Toutefois, elle se fait généralement au mépris des conditions d'application (zone géographique, gamme de diamètres), ce qui peut engendrer des erreurs dans les estimations de volume.

Le présent travail se fixe comme objectifs :

- Caractériser des jeunes peuplements d'arganier à l'échelle de la plaine du Souss,

- Tester la validité des tarifs de cubage élaborés au niveau du plateau des Haha et, le cas échéant, proposer des tarifs adaptés pour la zone d'étude,

- Estimer la production en volume du bois des rejets pour les peuplements étudiés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

La campagne d'échantillonnage a concerné 2 taillis d'arganier d'âge différents et n'ayant subi aucune intervention sylvicole. Ces peuplements sont situés au niveau du versant sud du Haut Atlas, et plus précisément dans la région d'Ouled Taima. Il s'agit des peuplements de Lmnizla et de Talaayounine âgés respectivement de 16 et 18 ans. Au niveau de ces peuplements, un échantillon de 20 placettes circulaires de 314 m² de superficie (10 mètres de rayon), réparties d'une manière aléatoire à raison de 10 placettes/peuplement, a été inventorié. Au total, 93 cépées ont été inventoriées au niveau de ces peuplements.

Ces cépées ont fait l'objet de mesures de différentes variables dendrométriques à savoir le nombre de rejets par cépée, la taille de tour à 1,30 m du sol de la cépée, la circonférence à 1,30 m de tous les brins de la cépée et la hauteur totale de trois gros brins par souche.

Par ailleurs, et pour estimer le volume du bois des brins, un total de 60 brins échantillons régulièrement répartis sur toute la gamme de diamètres a été considéré. Au niveau de chaque brin échantillon, la hauteur totale et les circonférences à différents niveaux du sol (20 cm, 50 cm, 1 m, 1,30 m, 2 m, 2,5 m et 3 m) ont été mesurées.

Le volume des brins échantillons a été calculé par la méthode des billons successifs. La vérification des volumes estimés par le tarif [4] a été réalisée à partir du calcul des paramètres statistiques suivants [5] :

• la moyenne relative des erreurs de cubage :

$$em = (1 / n) \sum ei / Vm$$

• l'écart type relatif de la distribution des erreurs de cubage :

$$Se = (1 / n) \sum (ei - em)^2 / Vm$$

Où :

$$ei = Vi - Ve$$

Vi : volume mesuré,

Ve : volume estimé par le tarif,

Vm : volume moyen mesuré,

n : nombre de brins retenus pour la vérification.

Ces deux paramètres permettent ainsi de renseigner sur la précision du tarif. Plus ils sont faibles, plus le tarif est bon.

RÉSULTATS

3.1. Caractérisation des peuplements

Les principales caractéristiques dendrométriques au niveau de ces deux peuplements sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractérisation dendrométrique des peuplements étudiés

Peuplement	Age	Nombre cépées par ha	G	Valeurs moyennes Cépée				Valeurs moyennes Brin	
				Taille (m)	Nombre brins	G (dm²)	Hdom	Nombre par ha	C
Lmnizla	16	117	4,74	11,3	14	3,46	4,4	1847	17
Talaayounine	18	129	2,8	9,2	13	1,76	3,6	2229	12

G : surface terrière (m2/ha) ; Hdom : hauteur dominante (hauteur moyenne des 3 brins dominants de la cépée en mètre) ; C : circonférence à 1,30 m du sol (cm).

3.2. Vérification des volumes et analyse de la croissance et de la production des brins

3.2.1. Vérification des volumes estimés par les tarifs

Dans le but de vérifier la précision des tarifs disponibles, nous avons calculé la moyenne relative des erreurs de cubage et leurs écarts-type en se basant sur l'échantillon mesuré. Le résultat de ces calculs est résumé dans le tableau 2.

Tableau 2. Critères de précision du tarif de cubage

Peuplement	Age	em	Se
Lmnizla	16	-0,116	0,087
Talaayounine	18	-0,097	0,046

L'examen du tableau 2 montre que l'estimation des volumes en utilisant ces tarifs est satisfaisante. En effet, la moyenne relative des erreurs de cubage est relativement faible. Elle varie entre 11,6 % à Lmnizla et 9,7 % à Talaayounine. Les valeurs négatives de cette

moyenne indiquent une sous-estimation des volumes par le tarif.

3.2.2. Croissance des brins

La croissance des brins d'arganier au niveau des peuplements étudiés se fait d'une façon rapide et continue pendant les premières années. A partir de 10 ans, la hauteur totale parait stabilisée à un niveau proche à celui du peuplement recepé mais la croissance en diamètre des brins se poursuit. L'accroissement moyen en circonférence sur une période de 18 ans à partir de la coupe varie de 0,7 à 1,1 cm/an. Pour ce qui est de la hauteur, l'accroissement moyen varie de 17 à 22 cm/an.

3.2.3. Estimation du volume sur pied et des accroissements

Le volume du bois des peuplements à l'hectare a été estimé en appliquant les tarifs de cubage disponibles aux données de l'inventaire du peuplement.

Le calcul des volumes et des accroissements au niveau des deux peuplements étudiés est consigné dans le tableau 3.

Tableau 3. Volumes et accroissements en volume par peuplement

Peuplement	Age	Volume (m^3/ha)	Accroissement en volume (m^3/ha/an)
Lmnizla	16	9,22	0,58
Talaayounine	18	5,51	0,31

L'analyse du tableau 3 montre que le volume du bois sur pied des taillis d'arganier étudiés varie de 5,51 à 9,22 m^3/ha pour une densité moyenne qui varie de 117 à 129 cépées/ha.




Figure 1. Taillis d'arganier étudiés

DISCUSSION

La connaissance des milieux occupés par les peuplements d'arganier ainsi que la dynamique et la vitesse de croissance des jeunes recepages d'arganier permettent d'apporter des éléments pratiques quant à la gestion de ces peuplements (fixation de la durée de mise en défens des brins, intensité du dépressage à appliquer, date de début des premières éclaircies, …).

Par ailleurs, l'étude des potentialités de ces milieux à travers la quantification de la production en volume et biomasses permet d'élaborer un bilan énergétique et fourrager pour la population usagère de ces milieux. Ce bilan peut renseigner sur le degré de surexploitation de ces ressources et peut contribuer à l'établissement d'une réglementation de la récolte du bois et du parcours en forêt.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Inventaire Forestier National marocain, 1999. Rapport de synthèse, Direction de développement forestier, Rabat, 45 p.

2. Emberger L., 1939. Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/500000, Veröff. Geobot.Inst.Rübel in Zürich (14) et Mém. h.s. Soc. Sc. Nat. Maroc, 40-157 pp, ISC, Rabat.

3. Smith D. M., 1986. The practice of silviculture. 8th ed. New York : Wiley.

4. Belghazi T., 2013. Typologie de l'arganeraie et estimation de la biomasse aérienne des taillis d'arganier (Plateau des Ha-ha-Essaouira, Maroc). Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain (UCL), Belgique, 265 p.

5. Palm R., 1981. Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tables de cubage et d'assortiments. Thèse ès-Sciences agronomiques, Fac. Sci. Agro. Gembloux, 295 p.

Circadian rhythms of Medfly larva emergence and *Monomorium subopacum* ant foraging : an asset of Ceratite biocontrol by ants in the Argan forest

Abderrahim El Keroumi[1*], Ismail Outoukarte [1], Dihazi Abdelhi[1], Khalid Naamani [1] and Abdallah Dahbi [2].

[1] *Laboratory of Pharmacology, Neurobiology, Anthropobiology and Environment, Team of Protection and Val-orization of Vegetables, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech,*

[2] *ELMAR Laboratory, Cadi Ayyad University, Polydisciplinary Faculty, Safi;*

[*] *kabderahim@gmail.com*

Keywords
Pest management, Circadian rhythm, Argan forest, Mediteranieen fruitfly, Monomorium subopacum ant.

ABSTRACT

In this study, we assessed the daily rhythm of ant foraging and Medfly larva emergence from host fruits in the argan forest. M. *subopacum* foraging activity and *Ceratitis capitata* larvae emergence was monitored in the Essaouira argan forest during the fruiting season. Behavioral activities were quantified, and the circadian rhythms of the two species were determined. M. *subopacum* diel foraging was exhibited durnal bimodal rhythm with a principal morning peak and a secondary crepuscular one. Larvae's emergence showed unimodal rhythmicity with a single morning peak. The studied behaviors of the two species showed a clear synchronization during their principal activity peaks, which suggests the importance of circadian timing in the temporal partitioning, and the chance of encounters between the two species. Besides their adaptive and fundamental ecological values, the understanding of circadian rhythms that govern the time of behavioral interactions and predict encounter schedules between pests and their natural enemies may provide a novel efficient tool in sustainable pest management.

Mots clés
Gestion des ravageurs, rythme circadien, forêt d'arganier, mouche méditerranéenne des fruits, fourmi Monomorium subopacum

RÉSUMÉ

Rythmes circadiens de l'émergence des larves de mouche méditerranéenne et du fourrage-ment de la fourmi Monomorium subopacum : un atout pour la lutte biologique contre Cera-titis dans la forêt d'arganier

Dans cette étude, nous avons évalué le rythme quotidien du fourragement des fourmis et de l'émergence des larves de mouche méditerranéenne à partir des fruits hôtes dans la forêt d'arganier. L'activité de fourragement de M. subopacum et l'émergence des larves de Ceratitis capitata ont été surveillées dans la forêt d'arganier d'Essaouira pendant la saison des fruits. Les activités comportementales ont été quantifiées et les rythmes circadiens des deux espèces ont été déterminés. Le fourragement de M. subopacum a montré un rythme bimodal diurne avec un pic principal le matin et un pic secondaire au crépuscule. L'émergence des larves a montré une rythmicité unimodale avec un seul pic le matin. Les comportements étudiés des deux espèces ont révélé une synchronisation claire lors de leurs principaux pics d'activité, ce qui suggère l'importance du temps circadien dans le partage temporel et la probabilité de rencontres entre les deux espèces. En plus de leur valeur adaptative et écologique fondamentale, la compréhension des rythmes circadiens qui régissent le moment des interactions comportementales

et permettent de prévoir les moments de rencontre entre les ravageurs et leurs ennemis naturels peut fournir un nouvel outil efficace pour la gestion durable des ravageurs.The average increase in circumference over an 18 years period from cutting varies from 0.7 to 1.1 cm/year. In terms of height, average growth varies from 17 to 22 cm/year. Lastly, timber volume ranges from 5.51 to 9.22 m^3/ha, with an average density of 117 to 128 clumps/ha.

INTRODUCTION

The widespread use of pesticides in plant protection and pest control inflicts increasing damage to human and ecosystem health. However, in recent decades, a large consensus has been established for reducing the harmful effects of pesticides. With an excellent understanding of the physiological and behavioral mechanisms of pests and their natural enemies and the improvement in analytical techniques underlying species interactions, circadian timing can provide a powerful tool for behavioral manipulations and their applications in bio-control and man-agement approaches of pests in agricultural and forestry systems [1]. The identification of daily temporary or-ganisations may clarify our knowledge of species interactions and community functioning and provide essential data to understand species control and their sustainable management. Circadian rhythms can give more details on the schedule and prospect of encounters which could regulate various behavioral and physiological activities at indi-vidual and population levels [2]. Indeed, like spatial overlap, temporal synchrony is fundamental to characterizing the phenology of species, the appropriate time of target species, and the most appropriate time to act for the management of harmful species and populations [3]. The effectiveness of natural enemies in pest control depends on the composition and the system functioning of the surrounding conditions and interactions to adjust their activity and their behavior with the traits and availability of their hosts [4]. Our study focuses on the circadian rhythms of predatory ant M. subopacum foraging and Ceratite mature larvae emergence from argan fruits below argan trees. The objective is to assess the circadian rhythm of ant foraging and Medfly larva emergence from host fruits during the fruiting season in the Essaouira argan forest. Outcomes could provide essential data to improve the charac-terization and the understanding of the temporal partitioning in C. capitata larvae emergence and the foraging activity of its predator M. Subopacum, and their potential applications in behavioral manipulations to guide bio-control methods and sustainable techniques of pests' management and the protection of valued resources.

MATERIALS AND METHODS

2.1. Study site

The present investigation was conducted under field conditions below argan trees in the Boutazarte site of Essaouira arganeraie (31.37 N, – 9.73 W). The Boutazarte site is located almost 10 km from the Atlantic Ocean and approximately 20 km south of Essaouira city in the littoral band of Argan forest. The arganeraie in this area is qualified as an arganeraie forest, which presents an open canopy with 3 to 7 m tall trees growing on poor, clay, relatively compact, locally stony, and not tilled soil [5]. The region is characterised by a Mediterranean climate, with dry, hot summers and relatively cool winters. The annual precipitation does not exceed 300 mm, with the majority of precipitation occurring in the winter months.

Data collection

- M. subopacum foraging activity rhythm

M. subopacum foraging was monitored on three chosen colonies of ants for 2 consecutive days during 3 survey episodes during the argan fruiting season on June 02, June 28, and July 22. In each nest, ant activity was quantified by computing forager ants leaving or entering a quarter of a 100 cm diameter circle around the nest entrance. At every one-hour interval, we counted ant foragers for five minutes by a hand counter for 48 hours continuously.

- Ceratite larvae emergence rhythm

Argan fruits exposed to the Medfly attack were collected from the argan forest. Three mesh baskets with 2 kg of collected argan fruits equipped with holes sufficiently large to allow only the passage of the larvae that left the argan fruits were placed below trees. At every hour, the collected larvae were counted and eliminated. Data used to plot the circadian rhythm of larvae emergence were collected from 18 monitored tests (3 mesh baskets below trees (replications) x 3 monitoring episodes x 2 consecutive days).

- Circadian rhythm key factors entrainment

light-dark (L/D), and temperature cycles: Information on daily photoperiod was obtained in the Boutazarte region during our monitoring episodes by using sunrise and sunset times which are often available on the website: https://www.timeanddate.com/sun/@31.379104,-9.734573 (consulted on 2 October 2022).

All times are local time for the studied site and dates are based on the Gregorian calendar.

1.2. Data analysis

From raw data, the arithmetic mean of daily active ants was calculated per hour in a studied nest at the 3 monitoring episodes to plot the circadian foraging activity of M. subopacum ants. Using this plot, Medfly larva emergence and M. subopacum foraging perspective acrophase peaks (circadian amplitude) and median activity hours can be identified and highlighted with ambient temperatures and light/dark periods during the day.

RESULTS

3.1. Monomorium subopacum foraging rhythm

M. subopacum ant foraging is exclusively diurnal with a bimodal rhythm. Foraging activity rhythm shawed two unequal peaks along the day:

- an important morning peak from 5 a.m. to noon with (52.11 ± 7.12)% of total daily activity, reaching its acrophase between 8 and 9 a.m. with (9.55 ± 2.63)% of total diel activity.

- a secondary crepuscular peak from 5 to 10 p.m., with a foraging rate of (23.70 ± 4.81)% of the total daily activity.

During the period of high daytime temperatures (42.9 ± 2.4 °C). , Between noon and 4 p.m, M. subopacum showed a decreased activity with almost zero (Figure 1), and a resting period at night from 9 p.m. to 4 a.m. of the next day.

M. subopacum workers showed a durnal foraging activity with tow inequal foraging picks (bimodal rhythm), a reduced activity observed during the high temperatures at midday and, a resting time at the neight period.

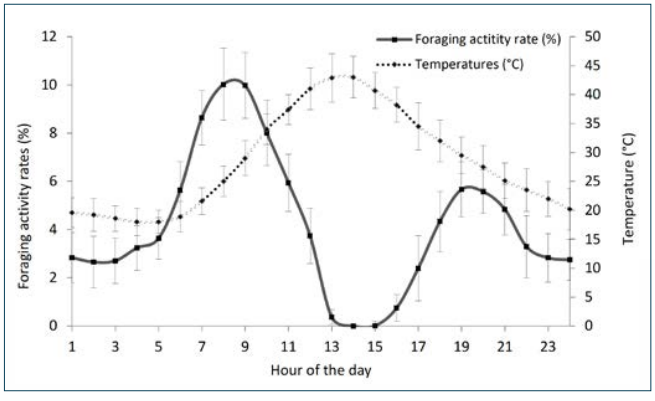


Figure 1. Circadian rhythm of M. subopacum foraging under ambient temperatures, and natural lighting in field conditions below argan trees of Essaouira argan forest. Bares represent SD.

3.2 Rhythm of Ceratitis capitata emergence from argan fruit

The rhythm of C. capitata larvae emergence is uni-modal with single progressive early morning peak. Most daily larvae emergences occurred from 4 to 11 a.m. Throughout this phase, almost all daily emergences were per-formed (86.42 ± 9.28% of total daily emergences). During the rest of the nycthemeron (from noon to 4 a.m. of the next day), only 13.58 ± 2.50% of emergence occurred (Figure 2).

Medfly larvae emergence occurs in a stable circadian rhythm of activity according to an uni-modal rhythm with a single peak. Mature larvae emergence started progressively from 4 to 11 a.m. with an accrophase between 6 and 7 a.m. with an activity rate of 25.34 ± 3.82%. During this peak, most daily larvae emergences occurred (86.42 ± 9.28%) outside this period emergence are almost nil (Figure 2).

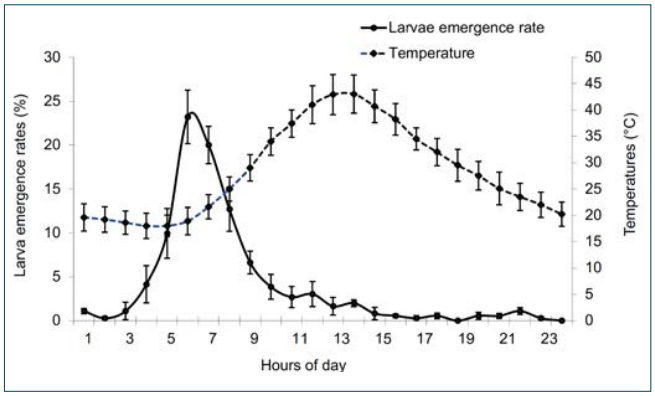


Figure 2: Circadian ryhtm of Ceratitis capitata larva emergence rate (%) from argan fruits by hours during the day and ambient temperatures under field conditions. Bares represent S.D.

3.2 Circadian rhythm comparison of M. subopacum foraging activity ceratitis larvae emergence from argan fruit (Figure 3)

The circadian rhythms comparison of the two species showed a clear synchronous peak of activity during the fruiting season. The larva emergence started an hour early before the ants exited their nests and reached their acrophase two hours before the acrophase of ants' foraging activity.

During the morning peak of the two circadian rhythms, the studied species showed clear circadian rhythmicity and a substantial temporal overlap marked by maximal rates of total activity registered in the day-time; 86.42% and 52.11% for larva emergences and ants foraging respectively (Figure 3). During this period, the hourly activity of ant workers was highly and positively correlated with the larva emergences from argan fruits. : the Pearson correlation coefficient is 0.71, which is significant with strength relationship between activity bahaviours of the two species.

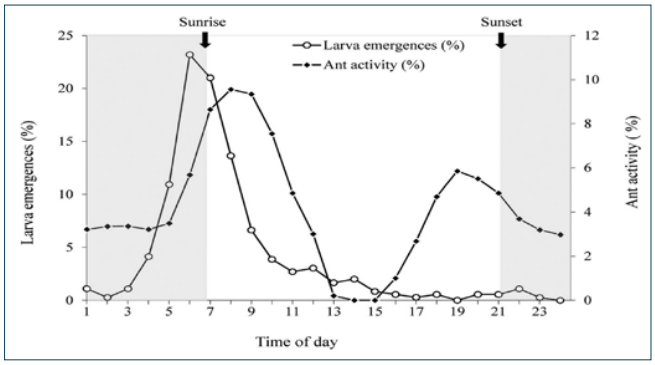


Figure 3. Circadian rhythms of M. subopacum foraging activity and the C. capitata larva emergence from argan fruit. Gray boxes correspond to the night period and clair background represents the daytime. The sunrise (6:39:31 ± 7 mn 19s) and sunset (20:41:33 ± 3 mn.

DISCUSSION

In insects, environnemental stimilu in addition to the physiological endogenous cues might be the most important factors that control the timing of circadian activity [6].

In the argan forest, The insight around the synchronization of the timing of the studied behavior among the M. *subopacum* ants foraging and Ceratite larvae shows the importance of temporal niches as a principal trait of the prey/predator association that explores the schedule of the encounter between the M. *subopacum* and the *C. capitata* populations below host argan trees. Temporal partitioning reveals

The tow studied behaviors highlights the importance of biological rhythms in adjusting encounters and by consequent the bio-control of *C. capitata* by M. *subopacum* ants in the argan forest. The characterization of the circadian rhythm of predator ants and medfly larva emergence from host fruit may provide an important benefit in the determination of appropriate day-time periods to target pests more effectively and to optimize their control to protect agricultural and valued resources.

CONCLUSIONS

Characterization of circadian rhythms of *M. subopacum* foraging and Ceratite larva emergence from host fruit provide essential data on temporal niches that govern the time of behavioral interactions and predict encounter schedules between Ceratite larva and predatory ant *M. subopacum.*

Advances in our understanding of mechanisms that govern circadian behaviors of phytophagous pest species and their natural ennemis provide powerful tools in pest management.

Acknowledgements : Authors thank our friends Abdellah Louali and Abdelali Habhoub for the logistical help during the fieldwork, and the local population at the Boutazarte site for their general support. This work was carried out with the authorization of the Directorate of Water and Forests of Essaouira Province.

REFERENCES

[1] Koukkari, W.L., and R. B. Sothern. 2006. "Introducing Biological Rhythm". Springer.

[2] Khyati, I.M., Seth, R.K., 2017. Insect clocks: implication in an effective pest management. Biol. Rhythm Res. 48 (5), 777e788. DOI: 10.1080/09291016.2017.1345460

[3] Saunders, D.S., Steel, C.G.H., Vafopoulou, X. and Lewis, R.D. 2002, Insect Clocks, third ed. Elsevier Science, Amsterdam.

[4] Perez-Alvarez, R., Nault, B. A., and K. Poveda, 2019. Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. Scientific Reports, 9(1). DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-45041-11.

[5] El Keroumi, A., K. Naamani, H. Soummane, and A. Dahbi. 2012. "Seasonal Dynamics of Ant Community Structure in the Mo-roccan Argan Forest." Journal of Insect Science (Online) 12: 94. DOI:10.1673/031.012.9401

[6] Liebhold A, Kamata N. 2000. Are population cycles and spatial synchrony universal characteristics of forest insect popula-tions? Popul. Ecol. 42:205–9

Mid infrared spectroscopy enable rapid differentiation of Moroccan extra virgin argan oils with respect to their geographic origin

Youssra EL Haddad[1,*], Abdelkarim Filali-Maltouf[1], Bouchra Belkadi[1], Abderrahim Ferradous[2], Romdhane Karoui[3], Hicham Zaroual[3,4].

[1] *Mohammed V University in Rabat, Faculty of Sciences, Microbiology and Molecular Biology laboratory, Rabat, Morocco*

[2]*Regional Center for Forestry Research, M-40000 Marrakech, Morocco*

[3]*Univ. Artois, EA 7394, Institut Charles VIOLLETTE, 62307 Lens, France*

[4]*Univ. Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sceinces et Techniques, Laboratoire de Chimie organique Appliquée, BP2202 30000 Fez, Morocco*

[*] *youssra.elhaddad2@gmail.com*

Keywords
Mid infrared, Extra virgin argan oil, Authentication, Quality, Chemom-etry

ABSTRACT

This study investigates the feasibility of using mid infrared (MIR) spec-troscopy to authenticate 100 extra virgin argan oil (EVAO) originating from five regions in Morocco (Chtouka, Essaouira, Sidi Ifni, Taroudant and Tiznit). By applying principal component analysis (PCA) and factorial discriminant analysis (FDA), a significant and excellent differentiation among the five groups based on their geographic origin was achieved, with a correct classification rate of 92.33%.

These results suggest that the MIR spectroscopy could serve as a poten-tially efficient tool for determining the geographical origin of EVAO, providing rich opportunities for characterization and authentication of EVAO at a very low cost.

Mots clés
Infrarouge moyen, Huile d'argan vierge extra, Authentification, Qualité, Chémométrie

RÉSUMÉ

La spectroscopie infrarouge moyen permet une différenciation rapide des huiles d'argan vierges extra marocaines en fonction de leur origine géographique.

Cette étude examine la faisabilité de l'utilisation de la spectroscopie in-frarouge moyen (MIR) pour authentifier 100 huiles d'argan vierges extra (EVAO) provenant de cinq régions du Maroc (Chtouka, Essaouira, Sidi Ifni, Taroudant et Tiznit). En appliquant l'analyse en composantes prin-cipales (ACP) et l'analyse factorielle discriminante (AFD), une différen-ciation significative et excellente entre les cinq groupes en fonction de leur origine géographique a été obtenue, avec un taux de classification correct de 92,33%.

Ces résultats suggèrent que la spectroscopie MIR pourrait être un outil potentiellement efficace pour déterminer l'origine géographique de l'EVAO, offrant de riches opportunités pour la caractérisation et l'au-thentification de l'EVAO à très faible coût.

INTRODUCTION

Argan oil, extracted from the fruits of the endemic Moroccan tree, is renowned for its numerous health benefits and is used both in foods and cosmetics [1]. However, the authenticity of this oil has become a major concern due to the potential rise of adulteration and counterfeit practices. In the current research context, several studies have been conducted to authenticate Moroccan extra virgin argan oil (EVAO), primarily using chemical and chromatographic techniques. Researchers have succeeded in identifying methods to assess the authenticity of argan oil, such as the analysis of chemical and chromatographic components [2]. However, these techniques have notable drawbacks,

including high cost, complexity, and the use of potentially polluting chemical solvents [3].

Therefore, growing research has attempted to develop new, rapid, environmentally friendly, cost-effective, quick-response, and low-cost techniques, such as spectroscopic ones [3]. Recently, spectral methods had shown their efficiency to determine the au-thenticity of different raw and transformed food products. Indeed, mid-infrared (MIR), ultraviolet–visible (UV–Vis), near-infrared (NIR) and fluorescence spectroscopies showed their efficiency to authenticate virgin olive oil [4], citrus fruit [5], fish filet [6], and tuna species [7], among others.

This study examines the feasibility of using MIR spectroscopy for the authentication of 100 EVAO samples provided from five different regions of Morocco (Chtouka Ait-Baha, Es-saouira, Sidi-Ifni, Taroudant, and Tiznit) according to their geographical origin by ap-plying principal component analysis (PCA) and factorial discriminant analysis (FDA).

In conclusion, this study aims to address a gap in research on argan oil authentication by exploring the potential of MIR spectroscopy as an alternative method. The findings of this research could have a significant impact on the argan oil industry by providing faster, more cost-effective, and environmentally friendly tools to ensure the authenticity and quality of this valuable product.

MATERIALS AND METHODS

Infrared spectra were recorded at room temperature (20 °C) between 4000 and 700 cm-1 at a resolution of 16 cm-1 on a Fourier transform spectrometer IRTracer-100 (Shimadzu, Duisburg, Germany) mounted with an attenuated total reflection (ATR) accessory (Pike Technologies, Inc. Madison, United States). The ATR cell was made of horizontal ZnSe crystal which presented an incidence angle of 45 ° and total reflection (n=10). Before each measurement, the spectrum of the ZnSe crystal was recorded and used as background. For each EVAO, 3 mL of EVAO was uniformly deposited on the crystal surface of ATR and measurements were performed in triplicate using different samples. After acquiring each spectrum, the ATR crystal was cleaned and rinsed with acetone. The MIR spectra were analyzed by Principal Component Analysis (PCA) and Factorial Discriminant Analysis (FDA).

RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Evolution of mid-infrared spectra

According to figure 1, the highest absorbances were observed ~ 2921, 2853, 1743, and 1157 cm-1 that could be ascribed to the functional groups of the fatty triglyceride esters as depicted by [8].

The 3100 – 2700 cm–1 region is dominated by C-H stretching bands of the methylene and methyl groups: CH2 and CH3 [13]; these bands are related to fatty acid chains of the triglycerides. A difference between EVAO is observed since the highest absorbance at 2853, 2921 and 3004 cm-1 were observed for EVAO originating from Tiznit. The lowest absorbance (~ 2854 and 2920 cm-1) was noticed for EVAO samples of Essaouira (Figure 1).

The peak observed ~ 1743 cm-1 corresponding to the triacylglycerol C=O ester group [9] presented the highest absorbance for EVAO samples originating from Tiznit region, while the samples from Essaouira region presented the lowest absorbance. These results could be explained by the difference in the level of triacylglycerol[10]. The peak observed at ~ 1651cm-1 was attributed to free fatty acids (RHC=CHR (cis)) [11].

The region between 1500 and 900 cm-1 is the fingerprint region [9]. Around 1459 cm-1, a band related to the bending vibration of the methylene group (–C–H) is observed, fol-lowed by another one ~ 1376 cm-1 that could be ascribed to symmetric bending vibration of methyl groups [9]. Between 1220 and 1000 cm-1, three bands can be distinguished at 1232 and 1157 cm-1 corresponding to the stretching vibrations of the –C–O and the bending vibration out-of-plane of the methylene group, and at 1099 cm-1 which is at-tributed to the stretching vibrations of the –C–O in esters [11]. The band appeared at 961 cm-1 corresponds to out-of-plane deformation with the corresponding absorption of con-jugated trans/trans and cis/trans dienes while the band ~ 721 cm-1 is linked to CH2 rocking vibration [12].

3.2.Discrimination of EVAO samples basing of MIR spectra

In the first step, PCA was applied to the MIR spectra. The similarity map defined by the first principal component (PC1) (60.8%) and the second one (PC2) (20.6%), accounting for 81.4% of the total variance, allowed to observe some misclassifications between the samples according to their geographical origin. Indeed, a clearly discriminated were observed between samples of Chtouka and Essaouira regions that exhibited positive and negative scores of PC2, respectively (Figure 2).

In the second step, FDA with leave-one-cross validation was applied to the first 5 PCs of the PCA performed on MIR spectra. The similarity map of the AFD showed that the EVAO originating from Chtouka presented negative scores according to DF1 and DF2 contrary to Taroudant samples (Figure 3).

The samples belonging to Essaouira region exhibited negative and positive values according to DF1 and DF2, correspondingly, while the samples ascribed to Tiznit and Sidi Ifni regions presented negative scores for DF2. This result was confirmed by the correct classification rate achieving 92.33% (Table 1).

3.3. Figure and Table

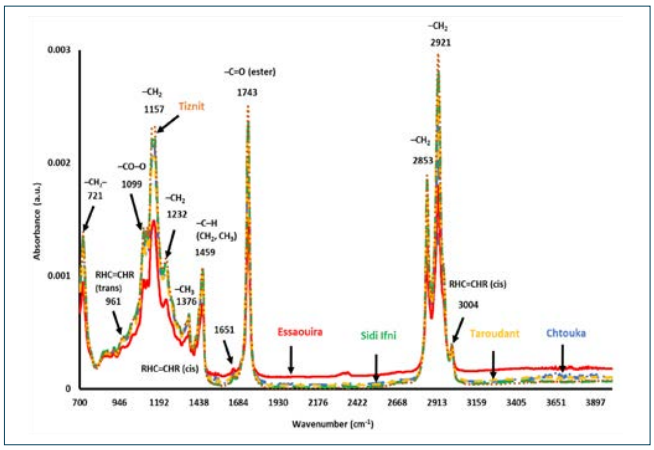


Figure 1. MIR spectra of EVAO samples originated from Chtouka (—), Sidi ifni (—), Essaouira (—), Taroudant (—) and Tiznit (—).

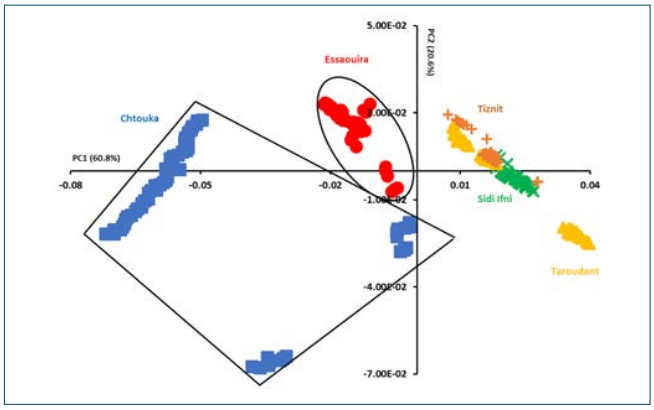


Figure 2. PCA similarity map defined by the PC1 and PC2 of: Sidi ifni (×), Tiznit (+), Taroudant (▲), Chtouka (▪) and Essaouira (•) EVAO samples.

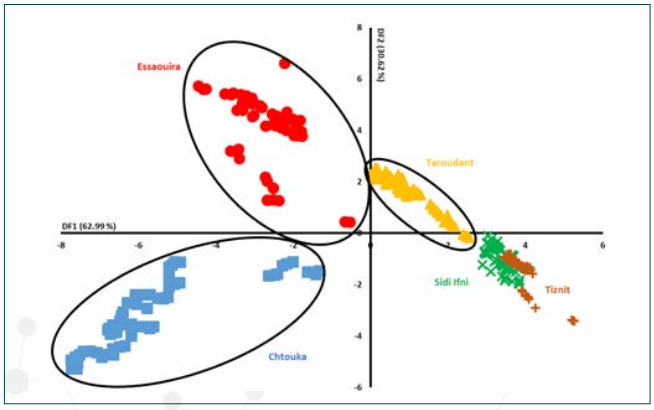


Figure 3. FDA similarity map defined by the DF1 and DF2.

Table 1. Classification table of FDA with leave-one-out cross validation EVAO samples according to their geographical origin.

Predicts \ observed	Chtouka	Essaouira	Sidi Ifni	Taroudant	Tiznit	Total	% correct classification
Chtouka	56	0	0	4	0	60	93.33%
Essaouira	0	50	1	9	0	60	83.33%
Sidi Ifni	0	0	57	3	0	60	95.00%
Taroudant	0	0	6	54	0	60	90.00%
Tiznit	0	0	0	0	60	60	100.00%
Total	56	50	64	70	60	300	**92.33%**

CONCLUSION

The potential of MIR spectroscopy used in this original work has been very successful at authenticating EVAO. This method combined with different chemometric tools, such as PCA and FDA, allowed to obtain 92.33% of correct classification of the EVAO samples according to their geographical origin.

It could be concluded that the spectra of MIR could be considered as a potential efficient tool for the determination of geographical origin of EVAO, offering rich opportunities for the characterisation and authentication of EVAO at a very low cost. In addition, the technique has the potential to dramatically reduce analytical time and cost compared to traditional chemical measurements.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Guillaume D, Charrouf Z (2011) Argan oil and other argan products: Use in dermocosmetology. Eur J Lipid Sci Technol 113:403–408. https://doi.org/10.1002/ejlt.201000417

2. Kharbach M, Kamal R, Bousrabat M, et al (2017) Characterization and classification of PGI Moroccan Argan oils based on their FTIR fingerprints and chemical composition. Chemom Intell Lab Syst 162:182–190. https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2017.02.003

3. Mohammed F, Guillaume D, Warland J, Abdulwali N (2021) Analytical methods to detect adulteration of argan oil : A critical review. Microchem J 168:106501. https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106501

4. Zaroual H, El Hadrami EM, Karoui R (2020) A preliminary study on the potential application of Fourier-transform mid infrared for the evaluation of overall quality and authenticity of Moroccan virgin olive oil. J Sci Food Agric jsfa.10922. https://doi.org/10.1002/jsfa.10922

5. Ncama K, Opara UL, Tesfay SZ, et al (2017) Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (Citrus sinensis) and 'Star Ruby' grapefruit (Citrus x paradisi Macfad). J Food Eng 193:86–94. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.08.015

6. Alamprese C, Casiraghi E (2015) Application of FT-NIR and FT-IR spectroscopy to fish fillet authentication. LWT - Food Sci Technol 63:720–725. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.021

7. Boughattas F, Vilkova D, Kondratenko E, Karoui R (2020) Targeted and untargeted techniques coupled with chemometric tools for the evaluation of sturgeon (Acipenser gueldenstaedtii) freshness during storage at 4 °C. Food Chem 312:126000. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126000

8. Kharbach M, Marmouzi I, Kamal R, et al (2021) Extra virgin Argan oils' shelf-life monitoring and prediction based on chemical properties or FTIR fingerprints and chemometrics. Food Control 121:107607. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107607

9. Tay A, Singh RK, Krishnan SS, Gore JP (2002) Authentication of olive oil adulterated with vegetable oils using Fourier transform infrared spectroscopy. LWT - Food Sci Technol 35:99–103. https://doi.org/10.1006/fstl.2001.0864

10. Uncu O, Ozen B (2015) Prediction of various chemical parameters of olive oils with Fourier transform infrared spectroscopy. LWT - Food Sci Technol 63:978–984. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.002

11. Uncu O, Ozen B (2019) A comparative study of mid-infrared, UV–Visible and fluorescence spectroscopy in combination with chemometrics for the detection of adulteration of fresh olive oils with old olive oils. Food Control 105:209–218. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.06.013

12. Navarra G, Cannas M, D'Amico M, et al (2011) Thermal oxidative process in extra-virgin olive oils studied by FTIR, rheology and time-resolved luminescence. Food Chem 126:1226–1231. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.12.010

In silico genome-wide identification and characterization of Superoxide dismutase (SOD) gene family in Argan tree (*Argania spinosa L.*)

Mina Chahidi [1], Abdelmoiz El Faqer [1], Karim Rabeh [1] and Bouchra Belkadi [1*].

[1] *Microbiology and Molecular Biology Team, Center of Plant and Microbial Biotechnologies, Biodiversity and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University , Rabat, Morocco*

* *b.belkadi@um5r.ac.ma*

ABSTRACT

The Argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) thrives in arid and semi-arid regions despite stressful climatic conditions. These stressors trigger physiological responses in plants, leading to an overproduction of reac-tive oxygen species (ROS) and subsequent oxidative stress. In response, plants activate antioxidant defense mechanisms, including enzymes like superoxide dismutase, to mitigate ROS accumulation and restore redox balance. While studies have demonstrated the production of antioxidants in stressed argan trees, the genetic regulation of these enzymes remains unexplored. Understanding their genetic basis is crucial for compre-hending the tree's defense mechanisms against oxidative stress. This study, utilizing in silico methods, aims to identify and characterize su-peroxide dismutase genes in the argan tree. Nine such genes were iden-tified, with conserved traits revealed through structural analysis. Exam-ination of promoters unveils stress-responsive cis-regulatory elements, affirming their involvement in stress tolerance. Specific primers have been developed for each gene, facilitating future molecular investiga-tions. However, experimental validation of their existence and function remains necessary.

Keywords
Argania spinosa L., Reactive Oxygen Species, ROS, antioxidants, abiotic stress, oxidative stress

RÉSUMÉ

Identification et caractérisation génomique in silico de la famille des gènes de la superoxyde dismutase (SOD) chez l'arganier (*Argania spinosa* L.)

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) prospère dans des régions arides et semi-arides malgré des conditions climatiques stressantes. Ces stress déclenchent des réponses physiologiques chez les plantes, entraînant une surproduction d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et un stress oxydatif subséquent. En réponse, les plantes activent des mécanismes de défense antioxydante, incluant des enzymes comme la superoxyde dismutase, pour atténuer l'accumulation de ROS et restaurer l'équilibre redox. Bien que des études aient démontré la production d'antioxydants chez les arganiers soumis à des stress, la régulation génétique de ces enzymes reste inexplorée. Comprendre leur base génétique est essentiel pour saisir les mécanismes de défense de l'arbre contre le stress oxydatif. Cette étude, utilisant des méthodes in silico, vise à identifier et caractériser les gènes de la superoxyde dismutase chez l'arganier. Neuf gènes ont été identifiés, avec des traits conservés révélés par une analyse structurale. L'examen des promoteurs révèle des éléments cis-régulateurs sensibles au stress, confirmant leur implication dans la tolérance au stress. Des amorces spécifiques ont été développées pour chaque gène, facilitant ainsi les futures recherches moléculaires. Cependant, une validation expérimentale de leur existence et de leur fonction reste nécessaire.

Mots clés
Argania spinosa L., espèces réactives de l'oxygène, ROS, antioxydants, stress abiotique, stress oxydatif.

INTRODUCTION

The argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) is endemic to southwestern Morocco, belonging to the Sapotaceae family and the order Ebénales. Its ecological and socio-economic significance lies in its ability to combat erosion and provide resources for indigenous populations [1]. Thriving in arid and semi-arid climates, it withstands extreme conditions through defoliation [2]. Environmental stress triggers physiological responses, leading to increased reactive oxygen species (ROS) production.

Oxidative stress occurs when ROS production surpasses the plant's neutralization capacity, prompting the activation of antioxidant mechanisms [3]. Antioxidants like vitamin C, vitamin E, and enzymes such as superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) play crucial roles in plant survival [3]. Despite evidence of the argan tree's antioxidant activity, understanding its molecular defense mechanisms is imperative.

This study aims to in silico identify genes responsible for superoxide dismutase production, analyze structural gene parameters, and design primers for future investigations.

MATERIALS AND METHODS

Data base search and sequence retrieval

The full-length SOD protein sequences from 8 different plant species were obtained and downloaded from the NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/). These sequences were used as queries in a tBLASTn search against the draft genome assembly of *Argania spinosa* in order to locate the contigs containing the studied genes. Augustus gene prediction software (http://augustus.gobics.de/submission/) was then employed to confirm the presence of the studied genes within the obtained set of contigs.

The protein sequences were further tested for the presence of SOD characteristic domains using InterProScan server. The physico-chemical characteristics were determined using the ProtParam tool (https://web.expasy.org/protparam/).

Multiple sequence alignment and Phylogenetic analysis

To investigate the evolutionary relationship of SOD proteins from *A. spinosa* and diverse plant species, the MEGA 11.0.13 (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) software was used and a phylogenetic tree was constructed.

Conserved motif, gene structure and promoter analysis of AsSODs

The Multiple EM for Motif Elicitation (MEME) tool (https://memesuite.org/meme/) (Bailey et al., 2015) was used to determine the conserved motifs in each SOD protein sequence and the Gene Structure Display Server (GSDS) (http://gsds.gao-lab.org/) was used to predict gene intro/exon structure and splicing phases.

Analysis of cis-regulatory elements

Cis-regulatory elements in the SOD gene promoters were predicted using the PlantCARE database (http://bioinformatics.psb.ugent.be/webtools/plantcare/html/).

Primer design

The design of specific primers targeting the predicted AsSOD genes was done using the online tool Primer3Plus (version 4.1.0) (https://primer3.ut.ee/).

RESULTS

3.1. Identification of SOD gene family in A. spinosa L.

To identify SOD genes in the Argan tree, a BLASTP search was conducted against the draft genome of the argan tree. Nine putative superoxide dismutase genes were identified. The sequences were then analyzed using InterProScan to confirm the presence of SOD family characteristic domains.

The data of the AsSOD genes identified in the Argan tree genome are represented in Table 1.

Table 1. AsSOD gene and protein characteristics

	Gène	Contig	Taille (pb)	Orientation	Exons	Taille de protéine (aa)	PM (kDa)	pI
CuZnSOD	AsCSD1	D02061333.1	2495	+	4	67	6872.81	6.70
	AsCSD2	D02152271.1	2406	-	5	96	9691.62	5.53
	AsCSD3	D02059812.1	643	+	3	99	10197.14	5.42
	AsCSD4	D02000029.1	5166	-	8	243	25228.56	6.55
	AsCSD5	D02161443.1	1551	-	4	118	12538.25	6.12
FeSOD	AsFSD1	D02000009.1	3972	+	8	288	33466.78	5.66
	AsFSD2	D02000033.1	3899	+	7	214	24286.58	5.89
MnSOD	AsMSD1	D02000033.1	6774	+	7	252	27874.04	9.13
	AsMSD2	D02000002.1	3229	-	4	161	17938.29	7.07

3.2. Phylogenetic Analysis

Phylogenetic trees were constructed using SOD protein sequences from various species to explore the evolutionary relationships of the newly identified AsSOD genes. The results of the phylogenetic analysis revealed that SOD proteins were classified into three subfamilies, including the CuZnSOD subfamily, the FeSOD subfamily, and the MnSOD subfamily (Figure 1).

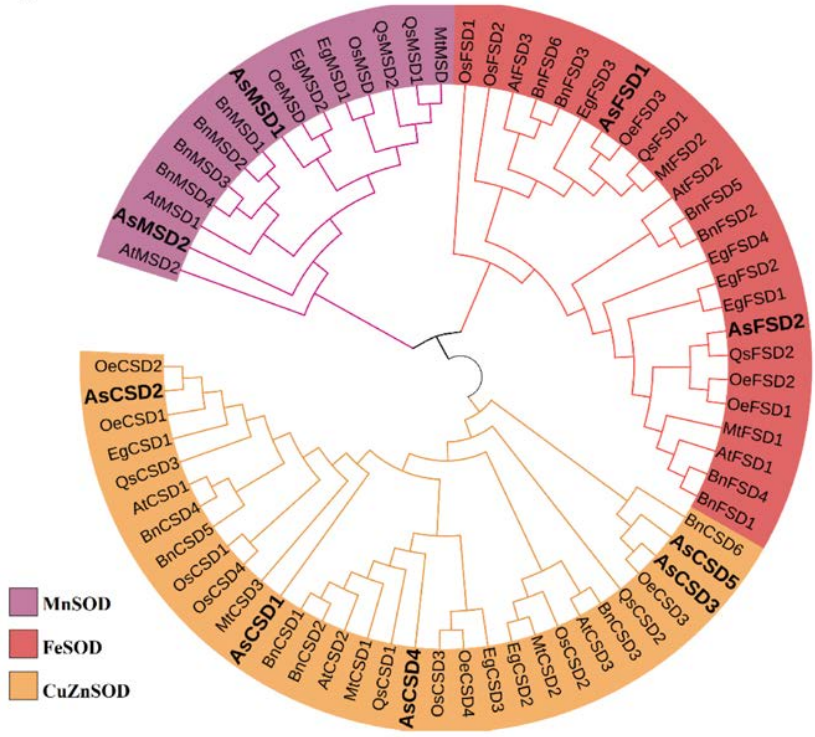


Figure 1. The phylogenetic tree of SOD protein sequences from 8 higher plant species, including the identified AsSOD proteins

3.3. Analysis of Gene Structure and conserved motifs

The analysis of exon-intron composition is presented in the figure below (Figure 2).

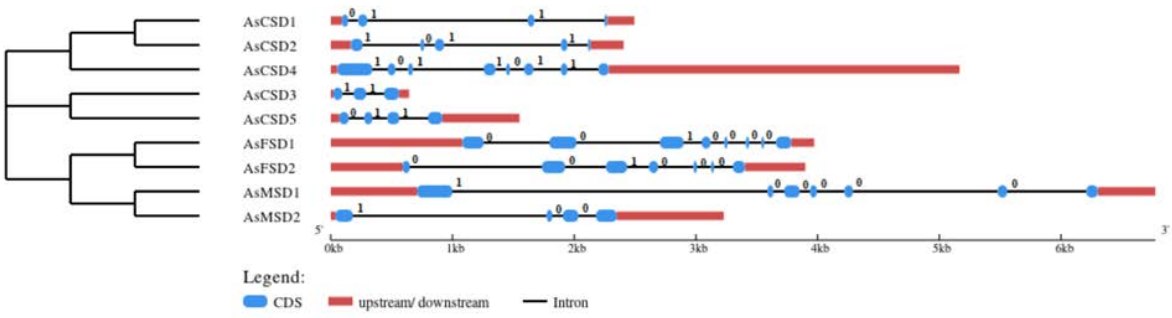


Figure 2. Exon-intron structures of SOD genes in Argania. Exons and introns are depicted by light blue and single lines, respectively. Intron phases 0, 1, and 2 are indicated by numbers 0 and 1. Untranslated regions are displayed by thick red lines at both 5' and 3' ends of each gene.

The MEME server was employed for the analysis of conserved motifs, resulting in the identification of a total of ten conserved motifs in SOD gene family (Figure 3).



Figure 3. The conserved protein motifs in AsSOD

1.4. Analysis of cis-regulatory elements

Cis-regulatory elements in the promoter regions of AsSOD genes were examined, the promoter region contained several cis-regulatory elements linked to abiotic stress and plant hormonal responses. The cis-elements were divided into four major subgroups: stress-responsive elements, light-responsive elements, hormone-responsive elements, and elements related to growth and development. The distribution of the cis-regulatory elements is shematized in the Figure 4.

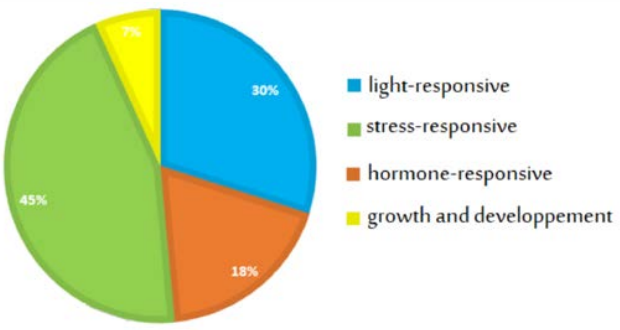


Figure 4. Distribution of cis-regulatory elements in AsSOD gene promoters

DISCUSSION

Argania spinosa L., a prominent species in arid climates, faces various abiotic stresses like drought and high temperatures, altering metabolic and physiological processes by increasing reactive oxygen species (ROS) generation [4]. The tree employs sophisticated defense mechanisms, including enzymatic and non-enzymatic antioxidants. Superoxide dismutase (SOD) plays a pivotal role in eliminating ROS, being a primary contributor to the plant antioxidant enzyme system [4,5]. SOD genes are tightly regulated in response to stress, with increased expression under abiotic stress conditions to counteract oxidative damage [5,6]. Studying the SOD family genes will provide excellent genetic resources to improve the resistance of the species to different abiotic stresses. To this end, we have adopted the candidate gene approach, also known as "In silico genome-wide analysis," to identify and characterize the SOD genes from the draft genome of *A. spinosa* L.

In the present work, nine putative superoxide dismutase genes were identified in the Argan tree genome. Previous studies have indicated that the number of SOD family genes varies considerably from one plant species to another [6,7]. Differences in the number of superoxide dismutase genes between plant species can be attributed to gene duplication, such as tandem duplications and segments, which play a crucial role in the expansion of SOD genes [6]. The expanded number of SOD genes may also be influenced by ploidy level [7]. We also emphasize that CuZnSOD was the most predominant in Argan, this finding is consistent with earlier studies [6].

Phylogenetic analysis indicated that the SOD proteins from different species, including those identified in *A. spinosa* L., are divided into three groups major, namely CuZnSOD, MnSOD and FeSOD. These results are in agreement with the conclusions from other previous studies, where the grouping and separation of SOD classes are produced depending on their metal cofactors [8].

The analysis of structural characteristics of AsSOD genes revealed variation in intron numbers, similar to what has been reported in Brassica rapa [8]. Divergence of gene structures AsSOD may be due to various mechanisms, including gain/loss of exons/introns, exonization/pseudo-exonization and insertion/deletion, as suggested in one study previous [9].

Cis-regulatory elements play essential roles as molecular switches involved in the transcriptional regulation of gene activities controlling various processes biological responses such as abiotic stress responses, hormonal responses and processes of development [10]. Previous studies have shown that Expression patterns of SOD gene family members in plants are linked to various stressful conditions. The elements present in the plant promoters regions can respond to stress conditions and improve the level of gene transcription, which impact the activity of SOD enzymes [11]. The promoter sequences of AsSOD contain several cis-elements stress-responsive regulators, indicating that SOD genes in Argan are involved in various responses to environmental stress and play a role in improving tolerance to environmental conditions.

At the end, specific primers were designed for each of the identified SOD genes which is of great scientific importance. Mainly to target and amplify sequences corresponding to these regions for in-depth analyses. Additionally, primers can be used to quantify antioxidant gene expression in different tissues, organs or conditions environmental. This allows us to understand how the expression of these genes is regulated and modulated in response to oxidative stress.

Supplementary Table A : Preview of the table of designed primers

Gene	Primer	Primer sequence	Position	Size (bp)	GC (%)	TM (C°)	Product size
AsCSD1	AsCSD1 p1	5' tgagcgtgtgtgtgtgaact 3'	1249-	20	50.00	60.11	243
		3' cgccagcccatatgtccaat 5'	1460	20	55.00	60.54	
	AsCSD1 p2	5' attggacatatgggctggcg 3'	1441-	20	55.00	60.54	213
		3' gcattgccggtacttttgct 5'	1653	20	50.00	59.76	
	AsCSD1 p3	5' tcttgagcgtgtgtgtgtga 3'	1246-	20	50.00	59.83	219
		5' tagtcgccagcccatatgtc 3'	1464	20	55.00	59.32	
	AsCSD1 p4	5' gacatatgggctggcgacta 3'	1445-	20	55.00	59.32	213
		5' accagcattgccggtacttt 3'	1657	20	50.00	60.25	
	AsCSD1 p5	5' ttttggaggtggccgagttt 3'	2063-	20	50.00	60.11	220
		5'accagcagctttactcttgca 3'	2282	21	47.62	60.20	
AsFSD1	AsFSD1 p1	5' ggttggttgcttatcccgga	2115-	20	55.00	60.03	192
		caaggtgagagatggggcag 5'	2306	20	60.00	60.11	
	AsFSD1 p2	5' tttggtggatggagttgggg	1922-	20	55.00	59.89	213
		tccgggataagcaaccaacc 5'	2134	20	55.00	60.03	
	AsFSD1 p3	5' acataccctcccacatccca	1692-	20	55.00	59.95	184
		gtggacgaaaccttggacct 5'	1875	20	55.00	59.89	
	AsFSD1 p4	5' aggtccaaggtttcgtccac	1856-	20	55.00	59.89	216
		agtacttgtggcatcctcgc 5'	2071	20	55.00	60.11	
	AsFSD1 p5	5' tgagatgcattggggagagc	1100-	20	55.00	59.82	170
		gactgaaatggacctgggca 5'	1269	20	55.00	59.96	
AsMSD1	AsMSD1 p1	5' ggggtgtcaatgagtcgtgt	4199	20	55.00	59.97	219
		atgggccaagcttcctcaaa 5'	4417	20	50.00	59.89	
	AsMSD1 p2	5' gaaaacatagaacggcggcc	1598	20	55.00	59.90	181
		attctccttgccttggcaca 5'	1778	20	50.00	59.89	
	AsMSD1 p3	5' ggatgggtggtgagtgcttt	3844	20	55.00	60.25	241
		tggtccaaatgttgccagga 5'	4084	20	50.00	59.81	
	AsMSD1 p4	5' aatgagtcgtgtcaggtcgc	4207	20	55.00	60.39	214
		cctatgggccaagcttcctc 5'	4420	20	60.18	60.18	

REFERENCES

1. Nouaim R, Chaussod R, 1993. L'arganier -*Argania spinosa* (L) Skeels. (Sapotaceées). Bull Res Arb Trop, p: 27-79.

2. Peltier J. P., Carlier G., El Aboudi A. et Doche B.(1990) Évolution journalière de l'état hydrique des feuilles d'arganier (Agania spinosa L. Skeels) sous bioclimat aride à forte influence océanique(plaine du Sous s, Maroc). Acta Oecologica 11: 643 – 668

3. Das, K., et Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science, 2. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2014.00053

4. Afonso, V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P., et Lomri, A. (2007). Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases : Rôle dans les maladies rhumatismales. Revue du Rhumatisme, 74(7), 636 643. https://doi.org/10.1016/j.rhum.2006.12.009

5. Scandalios, J. G., Guan, L., et Polidoros, A. N. (1997). Catalases in plants : Gene structure, properties, regulation, and ex-pression. Cold Spring Harbor Monograph Series, 34, 343 406.

6. Wang, W., Xia, M. X., Chen, J., Yuan, R., Deng, F. N., et Shen, F. F. (2016). Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxyde dismutase and its physiological roles in plants under stress. Biochemistry (Moscow), 81(5), 465 480. https://doi.org/10.1134/S0006297916050047

7. Liu, J., Xu, L., Shang, J., Hu, X., Yu, H., Wu, H., Lv, W., et Zhao, Y. (2021). Genome-wide analysis of the maize superoxyde dismutase (SOD) gene family reveals important roles in drought and salt responses. Genetics and Molecular Biology, 44(3), e20210035. https://doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2021-0035

8. Verma, D., Lakhanpal, N., & Singh, K. (2019). Genome-wide identification and characterization of abiotic-stress respon-sive SOD (superoxide dismutase) gene family in Brassica juncea and B. rapa. BMC Genomics, 20(1), 227. https://doi.org/10.1186/s12864-019-5593-5

9. Xu, G., Guo, C., Shan, H., & Kong, H. (2012). Divergence of duplicate genes in exon–intron structure. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(4), 1187-1192. https://doi.org/10.1073/pnas.1109047109

10. Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2005). Organization of cis-acting regulatory elements in osmotic- and cold-stress-responsive promoters. Trends in Plant Science, 10(2), 88-94. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.12.012

11. Zang, Y., Chen, J., Li, R., Shang, S., & Tang, X. (2020). Genome-wide analysis of the superoxide dismutase (SOD) gene fam-ily in Zostera marina and expression profile analysis under temperature stress. PeerJ, 8, e9063. https://doi.org/10.7717/peerj.9063

Sentinel-2-Based Machine Learning for Accurate LAI Estimation in *Argania spinosa*

Mohamed Mouafik [1,*], Mounir Fouad [2], Abdelghani Chakhchar [3], Felix Antoine Audet [4] and Ahmed El Aboudi [1].

[1] *Botany and Valorization of Plant and Fungal Resources, Department of Biology, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco;*

[2] *National Forestry School of Engineers, Sale, Morocco;*

[3] *École Normale Supérieure Marrakech, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco;*

[4] *WSP Canada, Montreal, Canada.*

* *mohamed960@gmail.com;*

Keywords
Argania spinosa, Sentinel-2, Leaf Area Index, Random Forest, Remote Sensing

ABSTRACT

In this investigation, we extensively assess Leaf Area Index (LAI) esti-mation using exclusively Sentinel-2 imagery. Our aim is to identify the most reliable dataset for LAI prediction, emphasizing the performance of Random Forest models. The results reveal a robust correlation (R2 = 0.89) between predicted and measured LAI values, with a low root mean-square error (RMSE) of 0.4. These findings underscore the suitability of Sentinel-2 imagery for precise LAI estimation in *Argania spinosa*, offering valuable insights for effective monitoring and sustainable land management practices in rural ecosystems

Mots clés
Argania spinosa, Sentinel-2, Indice de Surface Foliaire, Forêt aléatoire, Télédétection

RÉSUMÉ

Estimation précise de l'IAF dans *Argania spinosa* basée sur l'apprentissage automatique et Sentinel-2

Dans cette étude, nous évaluons en profondeur l'estimation de l'Indice de Surface Foliaire (IAF) en utilisant exclusivement des images Sentinel-2. Notre objectif est d'identifier le jeu de données le plus fiable pour la prédiction de l'IAF, en mettant l'accent sur la performance des modèles de forêt aléatoire. Les résultats révèlent une corrélation robuste (R^2 = 0,89) entre les valeurs d'IAF prédites et mesurées, avec une faible erreur quadratique moyenne (EQM) de 0,4. Ces résultats soulignent l'adéquation des images Sentinel-2 pour une estimation précise de l'IAF dans *Argania spinosa*, offrant des informations précieuses pour une surveillance efficace et des pratiques de gestion durable des terres dans les écosystèmes ruraux.

INTRODUCTION

The Argane tree, scientifically identified as *Argania spinosa* (L.) Skeels, holds a distinctive place in the arid landscapes of North Africa, particularly in southwestern Morocco. As the solitary representative of the tropical Sapotaceae family in the Moroccan flora. This tree plays a crucial role in ecosystem preservation, fostering a habitat conducive to floral and faunal biodiversity [1,2]. With the increasing application of remote sensing methods and biophysical parameters, there's a growing interest in monitoring the health and pre-dicting crop yield. Satellite platforms have gained popularity for remote sensing in ag-ricultural regions. Among these parameters, Leaf Area Index (LAI) has emerged as a pivotal indicator of vegetation vigor, providing valuable insights into canopy density, photosynthetic activity, tree health, and plant

growth stages [3]. The Random Forest algorithm (RF) is one of the machine learning techniques frequently employed for re-gression analysis, highly regarded for its exceptional precision, accuracy, and versatility in predicting outcomes [4]. This study aims to offer valuable insights into the dynamics of Leaf Area Index (LAI) in *Argania spinosa*, utilizing datasets derived from Sentinel-2 satellite imagery.

MATERIALS AND METHODS

Field measurements

LAI field measurements were taken in July 2021, encompassing 300 plots. The plots were located in Tafedna, Sidi Hmad ou Hamed, Imi Mqourn, Lqliaa, Drargua, Bigoudine, Sidi Ahmed ou Abdallah, Bounrar, Tioughza, and Sidi Bouabdelli. Within each plot, three trees were selected for sampling, and their exact locations were recorded using a handheld high-sensitivity GPS receiver (GARMIN GPSMAP 64s). LAI was measured using portable photosynthetically active radiation meters, specifically the AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc., USA), under sunny skies conditions. The LP-80 device functions effectively not only in clear or partly cloudy conditions but also in overcast sky conditions.

Sentinel-2 Data

In this study, Sentinel-2 L2A data were obtained through the Copernicus Open Access Hub (https://scihub.copernicus.eu/). The Multi-Spectral Instrument (MSI) sensor on these satellites consists of four bands (visible and near-infrared bands) at a 10-meter resolution, six bands (red-edge and shortwave infrared) at a 20-meter resolution, and three bands at 60-meter spatial resolution, with a five-day revisit period [5]. Leaf Area Index (LAI) es-timation utilized biophysical processors based on surface reflectance data [6] within SNAP software version 8.

Accuracy Assessment

This research aimed to develop Leaf Area Index (LAI) estimation models for the Argane tree using the Random Forest (RF) modeling approach, implemented with the R package within the R environment [7]. Evaluation of the model performance involved metrics such as the coefficient of determination (R2), root-mean-square error (RMSE), and mean ab-solute error (MAE).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Pi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O}i)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Pi)^2}{n}}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|P_i-O_i|}{n}$$

RESULTS

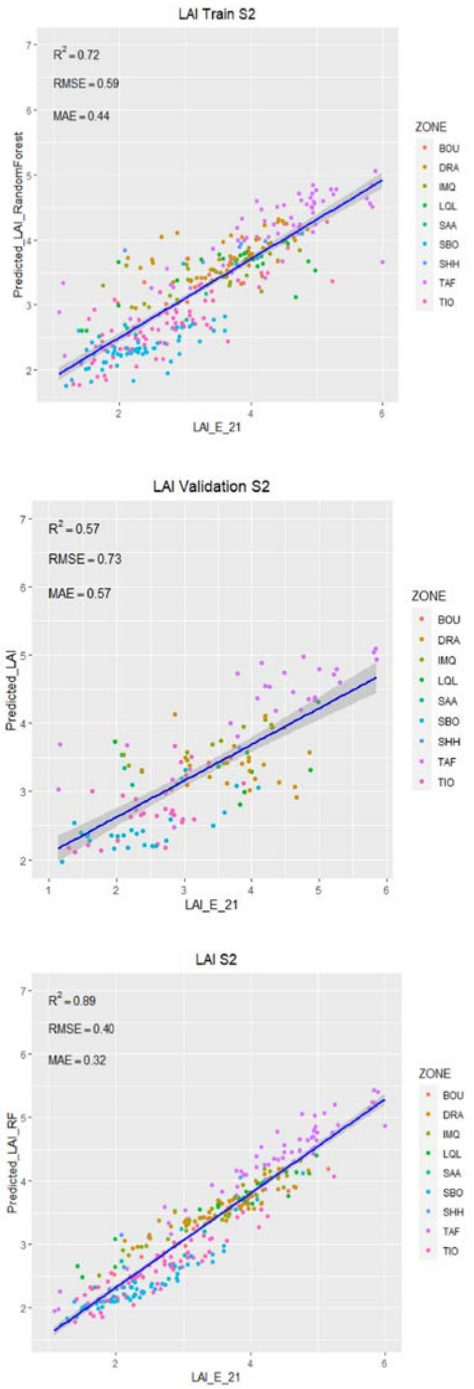


Figure 1. Scatter plots illustrating the predicted Leaf Area Index (LAI) in Sentinel 2 as compared to field data.

Figure 1 illustrates scatter plots comparing estimated LAI in Sentinel 2 with field data. Our model, trained on 60% of the data, exhibited a commendable R-squared (R2) value of 0.72, indicating a reasonably accurate alignment between predicted and measured LAI. The root-mean-square error (RMSE) of 0.59 and mean absolute error (MAE) of 0.44 suggested a moderate level of precision in LAI prediction. Further validation on the remaining 40% of the dataset confirmed its robustness, revealing an R2 of 0.57, RMSE of 0.73, and MAE of 0.57, highlighting its consistent performance and generalization capabilities. Expanding the dataset to 100% training data for the Sentinel 2 model produced even more promising outcomes, featuring a strong R2 value of 0.89, reduced RMSE (0.4), and improved MAE (0.32), indicative of heightened prediction accuracy.

DISCUSSION

The disparities in model performance observed across various Sentinel-2 data sources and training percentages are evident in Figure 1. The variations in accuracy when estimating Leaf Area Index (LAI) are influenced by a range of factors, including disparities in sensors, spectral and spatial resolutions, and environmental conditions. Sentinel-2, characterized by a spatial resolution of 10 to 60 meters, provides multispectral imaging across diverse wavelengths, making it ideally suited for conducting extensive ecological studies [8]. The improved spatial resolution contributes to a more precise determination of reflectance values [9]. Environmental conditions, such as differences in vegetation structure, affect LAI estimation accuracy as indices respond differently to these factors. Additionally, atmospheric conditions, viewing angles, solar angles, and topography further influence vegetation indices by altering the spectral balance of irradiance within the band [10]. Sentinel-2 data, readily available at no cost, provides broad global coverage and follows systematic re-visit schedules, making it highly suitable for conducting large-scale studies [11]. The products derived from Sentinel-2 images hold substantial promise for opera-tional use in assessing biophysical parameters such as LAI and Canopy Chlorophyll Content (CCC) [12], facilitating precise vegetation analysis and rendering it an optimal choice for estimating LAI across diverse ecosystems.

CONCLUSIONS

In conclusion, this study utilized the Random Forest machine learning algorithm to establish accurate models for Leaf Area Index (LAI) estimation, specifically focusing on Sentinel-2 imagery. Known for its extensive global coverage, Sentinel-2 proves to be a powerful tool for large-scale assessments, contributing to the advancement of sustainable land management practices and ecological research related to the Argane tree.

Acknowledgments : Heartfelt gratitude is extended to Mr. Ismail Karbal and Mr. Abdelhamid Erradi for their invaluable assistance and unwavering support during the entirety of this re-search. Special appreciation is extended to the entire WSP team, as well as the ANDZOA team, for their committed efforts and contributions to this research.

REFERENCES

1. Chakhchar A, Ben Salah I, El Kharrassi Y, Filali-Maltouf A, El Modafar C, Lamaoui M. Agro-fruit-forest systems based on argan tree in Morocco: A review of recent results. Frontiers in Plant Science. 2022 Jan 5; 12:783615.

2. Mouafik M, Chakhchar A, Ouajdi M, El Antry S, Ettaleb I, Aoujdad J, El Aboudi A. Drought Stress Responses of Four Con-trasting Provenances of *Argania spinosa*. Environmental Sciences Proceedings. 2022 Jun 16;16(1):25.

3. Ovakoglou G, Alexandridis TK, Clevers JG, Gitas IZ. Downscaling of MODIS leaf area index using landsat vegetation index. Geocarto International. 2022 May 3;37(9):2466-89.

4. Prasad NR, Patel NR, Danodia A. Crop yield prediction in cotton for regional level using random forest approach. spatial information research. 2021 Apr; 29:195-206.

5. Jaramaz D, Perovic V, Belanovic S, Saljnikov E, Cakmak D, Mrvic V, Zivotic L. The ESA Sentinel-2 mission vegetation vari-ables for remote sensing of plant monitoring. InConference Proceedings 2nd International Scientific Conference 2013 May 22 (pp. 950-961).

6. Weiss M, Baret F, Jay S. S2ToolBox Level 2 products: LAI, FAPAR, FCOVER. 2021.

7.Liaw A, Wiener M. Classification and regression by randomForest. R news. 2002 Dec 3;2(3):18-22.

8. Gašparović M, Jogun T. The effect of fusing Sentinel-2 bands on land-cover classification. International journal of remote sensing. 2018 Feb 1;39(3):822-41.

9. Vescovo L, Gianelle D. Using the MIR bands in vegetation indices for the estimation of grassland biophysical parameters from satellite remote sensing in the Alps region of Trentino (Italy). Advances in space research. 2008 Jan 1;41(11):1764-72.

10. Huang S, Tang L, Hupy JP, Wang Y, Shao G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. Journal of Forestry Research. 2021 Feb;32(1):1-6.

11. Drusch M, Del Bello U, Carlier S, Colin O, Fernandez V, Gascon F, Hoersch B, Isola C, Laberinti P, Martimort P, Meygret A. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Remote sensing of Environment. 2012 May 15; 120:25-36.

12. Pasqualotto N, Bolognesi SF, Belfiore OR, Delegido J, D'Urso G, Moreno J. Canopy chlorophyll content and LAI estimation from Sentine1-2: Vegetation indices and Sentine1-2 Leve1-2A automatic products comparison. In 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor) 2019 Oct 24 (pp. 301-306). IEEE.

Influence of Container Size on Nursery Production of Argane Trees

Mohamed Mouafik [1,*], Abdelghani Chakhchar [2], Mohamed Ouajdi [3], Ismail Ettaleb [1], Jalila Aoujdad [3], Salwa El Antry [3] and Ahmed El Aboudi [1].

[1] *Botany and Valorization of Plant and Fungal Resources, Department of Biology, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco;*

[2] *École Normale Supérieure Marrakech, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco;*

[3] *Innovation, Research, and Training Center, Rabat, Morocco.*

* *mohamed960@gmail.com;*

ABSTRACT

Obtaining high-quality Argane tree seedlings in the nursery is a crucial step in the development of Argane reforestation programs in Morocco. To optimize the production of this species in the nursery, two types of con-tainers with different volumes (500 cc and 2355 cc) were tested for four Argane tree provenances (Bouizakarne, Agadir, Essaouira, and Berkane). Dendro-biometric monitoring was conducted, including stem height, collar diameter, and the number of leaves and thorns, over a period of two and a half months on 4-month-old Argane tree seedlings. The results demonstrated a significant effect of the "container volume" factor on the studied parameters. The 2355 cc containers improved height and collar diameter growth and increased the number of leaves and thorns for all four provenances compared to the 500 cc containers. Essaouira and Agadir showed the highest growth and development rates compared to other provenances. This study indicates that using larger containers for Argane tree seedling production in the nursery has a beneficial effect on seedling vigor. Mastering the method and techniques for obtaining high-quality Argane tree seedlings is a valuable step in successfully transplanting and regenerating degraded areas of the Moroccan Argane forest.

Keywords
Argania spinosa, Nursery, Container, Plants

RÉSUMÉ

Influence de la taille des conteneurs sur la production des arganiers en pépinière

Obtenir des plants d'arganier de haute qualité en pépinière est une étape cruciale dans le développement des programmes de reforestation de l'arganier au Maroc. Pour optimiser la production de cette espèce en pépinière, deux types de conteneurs de volumes différents (500 cc et 2355 cc) ont été testés sur quatre provenances d'arganier (Bouizakarne, Agadir, Essaouira et Berkane). Un suivi dendro-biométrique a été effectué, incluant la hauteur de la tige, le diamètre au collet, ainsi que le nombre de feuilles et d'épines, sur une période de deux mois et demi, avec des plants âgés de quatre mois. Les résultats ont montré un effet significatif du volume du conteneur sur les paramètres étudiés. Les conteneurs de 2355 cc ont amélioré la croissance en hauteur et en diamètre au collet, tout en augmentant le nombre de feuilles et d'épines pour les quatre provenances, comparé aux conteneurs de 500 cc. Les provenances d'Essaouira et d'Agadir ont présenté les taux de croissance et de développement les plus élevés par rapport aux autres. Cette étude indique que l'utilisation de conteneurs de plus grande capacité pour la production de plants d'arganier en pépinière a un effet bénéfique sur la vigueur des plants. Maîtriser la méthode et les techniques pour obtenir des plants de qualité constitue une étape précieuse pour réussir la transplantation et la régénération des zones dégradées de la forêt d'arganeraie marocaine.

Mots clés
Argania spinosa, Pépinière, Conteneur, Plantes

INTRODUCTION

The Argane tree (*Argania spinosa* (L). Skeels) is an endemic species in the west-central of Morocco, belonging to the Sapotaceae family. It is a highly hardy and robust species that can thrive in varied and challenging ecological conditions. The Argane tree contributes to maintaining ecosystem balance and combating desertification, playing a crucial role in the socio-economic development of the local population [1]. However, the biogeographical distribution of the Argane tree has declined by two-thirds overall, leading to a pro-gressive and alarming degradation due to uncontrolled anthropogenic activities such as domestic overexploitation, deforestation, and overgrazing [2], coupled with the low rate of natural regeneration of the Argane tree seeds used for oil production [3]. Urgent action is needed not only to preserve the remaining Argane trees but also to rehabilitate degraded areas [4]. This has led foresters to resort to assisted regeneration by planting rapidly growing and high-quality Argane tree seedlings produced in nurseries to restore this ecosystem [5]. The production of fast-growing and high-quality Argane tree seedlings in the nursery requires targeted silvicultural treatments from their establishment to ensure successful transplantation and the regeneration of degraded areas of the Moroccan Argane forest. In this context, the objective of our study is to compare the effects of different types of nursery containers on the growth and development variables of Argane tree seedlings.

MATERIALS AND METHODS

The seeds of the Argane tree were harvested between June and July 2019 from four different regions Imi N'Tlit (Essaouira) (31.2159, -9.5491), Tanalt (Agadir) (29.7756, -9.1716), Bouizakarne (Guelmim) (29.2193, -9.7461) and Béni-Snassen (Berkane) (34.8144, -2.3984). These seeds were germinated to produce Argane tree seedlings. After three months of germination (beginning stage of growth), young seedlings, totaling 10 plants, were transplanted into plastic pots of 2355 cc (one seedling per pot) with ¼ loamy soil and ¾ peat, while others were kept in 500 cc containers to study the impact of container size on the growth and development of Argane tree seedlings from four contrasting provenances representing the southwest and northeast regions of Morocco, irrigated three times per week with sprinkler irrigation. Dendrobiometric measurements (stem height (cm), collar diameter (mm), number of leaves, and thorns) were monitored for approximately 2 and a half months on 4-month-old Argane tree seedlings once per week. All obtained results were statistically analyzed using Analysis of Variance (ANOVA) with SPSS software, version 25. The post-hoc Tukey test was employed to compare means at a significance level of 5%.

Table 1. Interaction of the studied growth and development parameters among the four con-trasting provenances of the Argane tree.

Provenances	Stem height	Collar diameter	Number of leaves	Number of thorns
Essaouira	17,39a	3,40a	63,80a	36,44a
Agadir	16,77b	3,20b	57,55a	34,77a
Bouizakarne	14,52b	2,91c	43,25b	28,85b
Berkane	10,25c	2,72d	32,52c	23,47c

(Means within a column flanked by the same letter (a–c) are not significantly different at 5% (Tukey test)).

RESULTS

The results of certain growth parameters measured in the four provenances of Argane trees showed inter-provenance variation was noted for the studied parameters (Table 1). Significant differences based on the factors of Time and Container ($p \leq 0.05$) (Table 2). The Argane tree seedlings cultivated in pots exhibited a considerable increase in stem height compared to those cultivated in trays for each provenance. In the 2355 cc pots, stem height significantly increased from week T1 to week T5 by approximately 87.8%, 88.6%, 42.1%, and 26.4%, respectively, for Essaouira, Agadir, Bouizakarne, and Berkane. However, seedlings grown in 500 cc

trays showed a stem height increase ranging from 14.2% to 39.8%. Collar diameter also showed a significant increase over time, differing between seedlings grown in pots and those grown in trays, respectively, by 38.3% and 33.7% for Essaouira, 44.5% and 28.7% for Agadir, 47.2% and 42.3% for Bouizakarne, and 37.7% and 42.4% for Berkane. Regarding the number of leaves and thorns, pots exhibited a sig-nificant increase compared to trays. Across the four provenances of Argane trees, the increase in the number of leaves varied from 122.3% to 267.6% for the 2355 cc pots, while for the 500 cc trays, it ranged from 46.3% to 132.1%. The increase in the number of thorns ranged from 35.2% to 83.3% for seedlings cultivated in pots and from 16.8% to 53.1% for those in racks.

Table 2. Results from the analysis of variance (ANOVA) for the Provenance, Time, and Container effects.

ANOVA Test	Stem height	Collar diameter	Number of leaves	Number of thorns
Provenance (P)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Container (C)	0,12	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Time (T)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
P x C x T	0,39	0,93	≤ 0,05	0,93
P x C	≤ 0,05	≤ 0,05	0,19	0,30
P x T	≤ 0,05	0,99	≤ 0,05	≤ 0,05
T x C	≤ 0,05	0,62	≤ 0,05	≤ 0,05

DISCUSSION

Indeed, the mastery of the method and the techniques of obtaining Argane plants of good quality is a valuable step to successfully transplant Argane plants and ensure the re-generation of degraded areas of the Moroccan arganeraie. The results obtained are con-sistent with and supported by findings from other researchers [6-8]. The performance of Argane tree seedlings is strongly influenced by the shape and dimensions of the container [6]. The two provenances from the southwest of Morocco (Essaouira and Agadir), espe-cially Essaouira, showed the highest growth and development rates in both types of containers compared to Bouizakarne and the northeastern provenance (Berkane) (Table 1). Significant differences between Argane tree provenances within its distribution area have been recorded and demonstrated [9-10].

CONCLUSIONS

The deeper containers of 2355 cc allowed for better growth and development of the aboveground part, with a significant increase in the height of the stems, collar diameter, and the number of leaves and thorns. Transplanting the plants into larger pots has a beneficial and advantageous effect on the growth and development of Argane trees in the nursery. This practice will enable the production of high-quality plants to succeed in reforesting Argane trees in degraded areas.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to all members and staff of the Innovation, Research, and Training Center in Rabat for their technical support and guidance.

REFERENCES

1. Mouafik M, Chakhchar A, Ouajdi M, El Antry S, Ettaleb I, Aoujdad J, El Aboudi A. Drought Stress Responses of Four Contrasting Provenances of *Argania spinosa*. Environmental Sciences Proceedings. 2022 Jun 16;16(1):25.

2. El Aboudi, A.; Carlier, G.; Peltier, J.P. Régime hydrique de l'Arganier (*Argania spinosa*) dans le Souss (Maroc). In Phy-siologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides ; GEA: Paris, France, 1991.

3. Ouallal I, Ouajdi M, Kerdouh B, Sanguin H, Rochdi A, Abbas Y. Caractérisation des ressources mycorhiziennes pour la sauvegarde de l'écosystème arganeraie : un outil de la biotechnologie moderne pour la régénération de l'arganier (Ar-gania spinosa L.). Acte du 5ème Congrès International de l'arganier. 2013, Pp.129-133.

4. Nouaim R, Mangin G, Breuil MC, Chaussod R. The argan tree (*Argania spinosa*) in Morocco:

Propagation by seeds, cut-tings and in-vitro techniques. Agroforestry systems. 2002 Jan; 54:71-81.

5. Defaa C, Achour A, El Mousadik A, Maanda F. Effets de l'hydrogel sur la survie et la croissance des plantules d'arganier sur une parcelle de régénération en climat aride. Journal of Applied Biosciences. 2015; 92:8586-94.

6. Belghazi B, Ourous O, Ponette Q, Belghazi T, Dallahi Y. La problématique de la régénération de l'arganier : Quelle in-novation en matière de production. Acte du Premier Congrès International de l'arganier. 2011, Pp.155-164.

7. El Abidine AZ. Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs. Forêt Méditerranéenne. 2016;37(2):137-50.

8. Ouajdi M, Aouajdad J, Elantry Tazi S, Bouiz N, Eddahani T, Ninich O, Ettaleb I. Contribution à la production des plants de qualites d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) : Effet de l'élagage et du conteneur. Acte du 5ème Congrès In-ternational de l'arganier. 2019, Pp.413-417.

9. Chakhchar, A.; Haworth, M.; El Modafar, C.; Lauteri, M.; Mattioni, C.; Wahbi, S.; Centritto, M. An assessment of genetic diversity and drought tolerance in argan tree (*Argania spinosa*) populations: Potential for the development of improved drought tolerance. Front. Plant Sci. 2017, 8, 276.

10. Chakhchar, A.; Lamaoui, M.; Aissam, S.; Ferradous, A.; Wahbi, S.; El Mousadik, A.; Ibnsouda, K.S.; Filali, M.A.; El Modafar, C. Physiological and biochemical mechanisms of drought stress tolerance in the argan tree. In Plant Metabo-lites and Regulation under Environmental Stress; Ahmad, P., Ahanger, M.A., Singh, V.P., Tripathi, D.K., Alam, P., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018; p. 446.

Impact of urbanization, agriculture and climate change on the Argan Biosphere Reserve (ABR) in the Souss plain (SW-Morocco)

Hamza El Ghazali[1], Salma Daoud[2], Noureddine Benoada Tlemçani [1] and My Cherif Harrouni[1,*]

[1] *Department of Landscape Architecture & Environment, Hassan 2nd Institute of Agronomy and Veterinary Medicine, Agadir and Rabat, Morocco*

[2] *Department of Biology, Ibn Zohr university, Agadir, Morocco*

[*] *Corresponding author: c.harrouni@iav.ac.ma*

Keywords
ABR, Climate change, Rainfall, Temperature, Woodland regression.

ABSTRACT

This paper explores the effect of climate change on the regression of the Argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) woodland, focusing on the Argan Biosphere Reserve (ABR) and especially in the Souss plain. Rainfall and temperature data of four sites within the Argan Biosphere Reserve were analyzed over the last 60 years to assess any climatic change. Regression curves applied to the dataset showed an important decrease in rainfall (18 to 26 %) in the four locations as well as an increase in temperature (1 to 2 °C). These changes may have a detrimental effect on the Argan woodland although human factors have been reported to be the main factor of its regression. It can therefore be concluded that the reduction in rainfall and the increase in temperature should now be considered as factors of Argan woodland regression.

Mots clés
RBA, Changement climatique, Précipitations, Température, Régression des forêts.

RÉSUMÉ

Impact de l'urbanisation, de l'agriculture et du changement climatique sur la Réserve de biosphère d'Argan (RBA) dans la plaine du Souss (SW-Maroc).

Cet article explore l'effet du changement climatique sur la régression de la forêt d'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels), en se concentrant sur la réserve de biosphère d'Argan (ABR) et en particulier dans la plaine de Souss. Les données de précipitaions et de températures sur quatre (4) sites de la RBA ont été analysées au cours des 60 dernières années pour évaluer tout changement climatique. Les courbes de régression appliquées à l'ensemble de données ont montré une diminution importante des précipitations (18 à 26 %) dans les quatre emplacements ainsi qu'une augmentation de la température (1 à 2 °C). Ces changements peuvent avoir un effet néfaste sur la forêt d'arganiers, bien que des facteurs humains aient été signalés comme étant le principal facteur de sa régression. On peut donc conclure que la réduction des précipitations et l'augmentation de la température doivent désormais être considérées comme des facteurs de régression des forêts d'Argane.

INTRODUCTION

The Argan Biosphere Reserve (ABR) is located in Western Morocco on the Atlantic coast. This is a peculiar woodland considered as a natural barrier against desertification in an arid bioclimatic context [1]. The Argan tree is a forest species that constitutes an important ecosystem due to its eco-geographical and socio-economic dimensions. The Argan woodland covers over 800,000 hectares representing Morocco's second largest forest after the ilex (Quercus rotundifolia) [2]. The ABR is an area stretching from Essaouira in the north to Sidi Ifni in the south along the Atlantic coast and eastwards at the connection between the High and the Anti-Atlas Mountains. It occupies an area of nearly 25,000 km2, comprising other forest species in addition to the Argan [1]. This woodland is inhabited by a population estimated at more than 3 million people. This population has tripled in the last fifty years and has become highly urbanized (50% urban in 2009) [3].

The Argan tree is endemic to Morocco and particularly suitable for the region thanks to its deep root system and its great resistance to heat (up to 50°C in summer) [4]. It is considered to be the last survivor of the tropical sapotaceae family, a species that spread to Morocco during the tertiary geological era in a warm and more humid climate, thus constituting a relic tree [5]. This paper focuses on the analysis of climatic data to reveal any changes on a 60 years historical scale and envisage its contribution to the regression of Argan woodland. A study conducted over a 20-years period by diachronic analyses of aerial photographs showed a decline of ca 600 ha/year for the Admine forest that spans on 22,000 ha in the Souss plain close to Agadir [6]. The recognition of the Argan woodland as a Biosphere Reserve was pronounced by UNESCO in December 1998 and underwent 2 decennial reports in 2008 and 2018 with specific recommendations for each report [7]. Yet this natural heritage continues to be under threat due to anthropogenic pressure, recently accentuated by the effects of climate change [4].

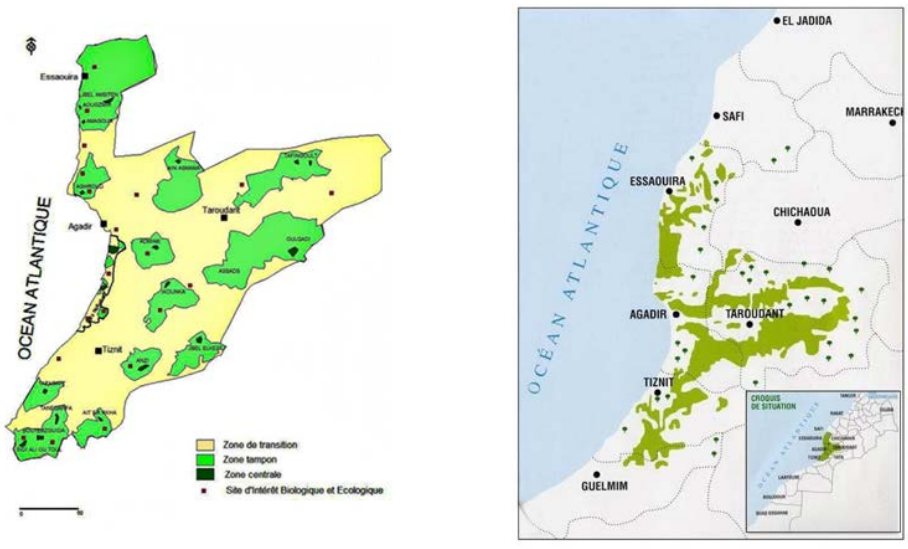


Figure 1: (a) Location of the Argan Biosphere Reserve and its 3 zones (core, buffer and transition
(b) Argan tree cover and location of cities for climate data study (Agadir, Essaouira, Taroudant and Tiznit) [8].

MATERIALS ET METHODS

2.1. Climate characteristics in the ABR

Souss plain has a Mediterranean climate where rainfall occurs during the period from September to April. The hottest months receive little or no rain at all and when it occurs it is in the form of violent storms that bring damage to land, crops and houses [9]. Average annual rainfall, which fluctuates roughly between 200 and 400 mm/year, becomes much lower as one moves towards the Sahara [9]. The number of rainy days also varies widely. It ranges from 20 to 40 days per year on average but can reach 50 days/year on the northern edge of the Argan distribution zone. Snow is a very exceptional phenomenon in the Argan woodland and it is precisely the level of its lowest occurrence that establishes the altitudinal limit of the tree [9]. In order to analyze the variations of climate data over time, four cities representing 4 distinct locations are studied

in terms of rainfall and temperature recorded between 1960 and 2020. The locations are the city of Agadir occupying a rather central position in the ABR, Tiznit in the south, Essaouira in the north and Taroudant representing the eastern part with more continental assets (Fig.1a). Climate data for these 4 towns were obtained from Terra Climate website (https://app.climateengine.org/climateEngine).

2.2. Water ressources

In Morocco, groundwater resources are overexploited [10]. According to estimates made in 2011 by the Souss-Massa Hydraulic Basin Agency, the deficits in groundwater resources in the Souss plain have reached 300 mm3, the demand for water exceeds the supply and the difference is compensated by groundwater pumping [11]. The Souss-Massa basin con-tained one of the largest aquifers in the country [10]. The development of Agriculture, industry and tourism in this area since 1930, on the one hand, and the irregularity of rainfall for surface water resources, on the other, have led to the overexploitation of groundwater whose levels are steadily declining [12]. *Hence, the root system of the argan tree that draws from the soil up to 30 m deep to absorb existing moisture, are more and more suffering to get their needed amount of water to survive in such an arid area* [13]. Its overall volume is about 40 billion m3 but its annual average recharge is estimated at about 400 mm3 or 1/5 of the overall regional hydraulic potential and 2/3 of the regional underground hydraulic potential [14]. The water table of the Souss plain is mainly supplied from runoff and from floodwaters of the relatively dense water system and locally from direct rainfall. Feeding from groundwater adjacent to the mountains or from deep aquifers is quite limited due to unsuitable geological conditions and the aridity of the Anti-Atlas Mountains. On the other hand, water outflows of these resources are represented by evaporation that intensifies in summer, the series of springs along the bed of the Souss River currently dry, and a part of the water that finds its way to the ocean [14].

RESULTS

3.1. Rainfall

The Souss-Massa plain is characterized by an arid climate with rainfall rarely exceeding 250 mm/year on average whereas average maximal evapotranspiration is close to 2,000 mm/year [15]. In the semi-arid area that stretches along the Atlantic coast from Safi to Agadir [9], average annual precipitations range from 250 to 400 mm. The arid area that includes the plains of Souss and Massa and the Anti-Atlas [16], has average annual precipitation ranging from 150 to 250 mm. In the southern limit, rainfall decreases to less than 100 mm/year which makes the junction with the Saharan climate [15].

The dry season is very long and can extend to more than 8 months [9]. In general rainfall is very variable: precipitations of a humid year can sometimes be 3 times higher than the average and 15 times higher than the driest year [9]. Average annual rainfall for each location calculated over a period of 60 years is shown in Figure 2.

Table 1: Average annual rainfall in Agadir, Essaouira, Taroudant and Tiznit between 1960 and 2020

City	Agadir	Essaouira	Taroudant	Tiznit
Average annual rainfall (mm)	199.4 ± 25.1	275.8 ± 29.6	240.3 ± 41.6	151.9 ± 22.4

Data from https://app.climateengine.org/climateEngine

3.2. Temperature

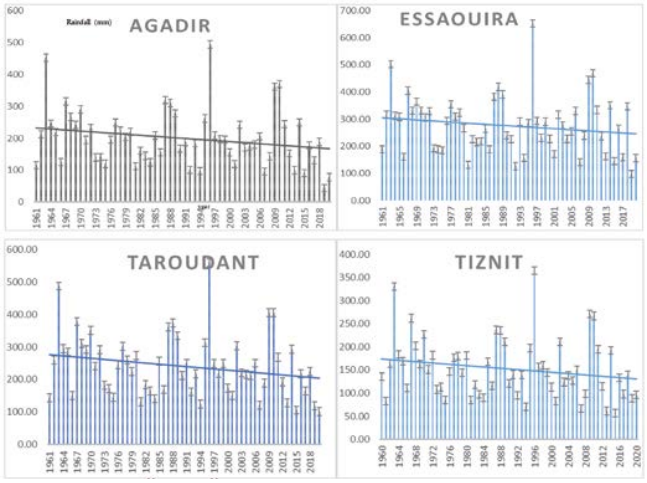


Figure 2: Regression curves for rainfall trend between 1960 and 2020 in mm/year (Agadir; Essaouira; Taroudant and Tiznit). Data *from https://app.climateengine.org/climateEngine*

For Agadir the regression curve shows a 20.9% decrease in rainfall between 1960 and 2020 which means that the annual average of precipitations has decreased by one fifth in just 60 years. The same thing happened to Essaouira that lost 18.2% of its average rainfall over the same period. Rainfall regression curves for Taroudant and Tiznit also show decreases of 26.4% and 22.2% respectively.

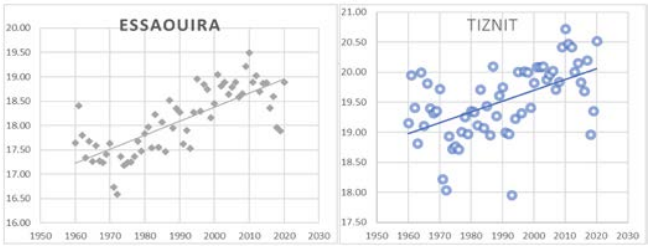


Figure 3. Regression curves for the trend of mean annual temperature between 1960 and 2020 in °C (Agadir; Essouira; Taroudant; Tiznit). Data from https://app.climateengine.org/climateEngine.

3.3. Water use

In the ABR, agricultural land covers over 160,000 ha of which nearly 50 % are irrigated, the other half being rainfed. Cereals, citrus, bananas, tomatoes and other vegetables are the main crops cultivated in the Souss plain [16]. About 80% of farms are smaller than 5 ha (covering 80% of cultivated land) and only 2% are bigger than 20 ha [16]. With a year-round growing season, irrigated crop production produces more than half of Morocco's exported citrus and 85% of exported vegetables. Irrigation is therefore the main use of available water as it takes up to 95% although the demand for drinking water will increase due to more accelerated urbanization [16]. The monthly use of irrigation water in the Souss plain mainly consists of surface water supplies mounting to over 159,000 Mm3 (28.6% of total irrigation water) and of water pumping from the aquifer estimated at 397,000 mm3 (71.4%) [17]. The entire Argan woodland is characterized by a shallow water regime that is far from regular. It is subject to the aggressiveness of the rain that occurs after long periods of drought [18]. Floods are closely related to localized thunderstorms that can occur even in dry valleys [19]. The opening of the Souss plain on the ocean ensures the moisture necessary for the development of the Argan tree and the most beautiful Argan formations (by their density, canopy and height) are located on the coast between Agadir and Essaouira [18]. In the High Atlas Mountains, the amount of rain is much greater (between 200 and 900 mm/year) [20]. Snow from the peaks plays an im-portant role in feeding the water table and regulates water supply by prolonging the period of runoff. The Souss River supplies most of the available water of the basin [20].

Table 2. Average annual water potential stored in Souss-Massa dams

Dam	River	In-service date	Water storage capacity (mm³)
Ibn Tachffine	Massa	1973	303.5
Abdel Moumen	Issen	1981	214
Aoulouz	Souss	1991	108
Imi Lkheng	Talekjount	1993	11
Moulay Abdellah	Tamri	2003	110
Ahl Souss	Ait Baha	2004	2.2
Mokhtar soussi	Aouziwa	2012	50

Data communicated by the Souss Massa Hydraulic Basin Agency (SMHBA), Agadir.

The water balance of the Souss aquifer is irregular because of the high climate variability, but in recent decades, this balance has become continuously negative due to the over-exploitation of underground water. The deficit is mainly due to water pumping for ir-rigation purposes [19]. Various uses and activities impact water resources in terms of quantity and quality: Population, urban development, land use, industrialization, deforestation, etc.… are the main factors affecting water resources [11].

DISCUSSION

Since the 1980s, with its great agricultural potential (i.e., irrigated and intensive crops for export), the souss palin have attracted most of the flow of immigration from neighbouring regions, private investment and urban development [21]. Several authors insisted that there is a significant dynamic of deforestation [22]. Between 1989 and 2006, the decline in forest cover for the Greater Agadir alone was estimated at 2.6% [23].

The regression trend line on figure 2 illustrates a substantial decrease in rainfall between 1960 and 2020 which means that the annual average of precipitations in Agadir shows a - 20.9%, a decrease by one fifth in just 60 years. The same thing happened to Essaouira that lost 18.2% of its average rainfall over the same period. Rainfall regression curves for Taroudant and Tiznit also show decreases of 26.4% and 22.2% respectively. The regression curve in Figure 3, shows an increase in mean temperatures in the four locations over the last 60 years. Average temperatures in Taroudant, Essaouira, Agadir and Tiznit have increased by 1.98, 1.72, 1.7 and 1.06 °C respectively. This increase is relatively important due to its effect on plant evapotranspiration and hence a greater demand for water. Hence, it is essential to carry out several urgent actions in this territory including: the fight against anarchic urbanization, the rehabilitation of historical sites, the establishment of tourist signage, the protection and enhancement of the natural and socio-cultural heritage of the Argan ecosystem [8]. A key condition for meeting the water challenge is reducing water deficit that reached 284 mm3/year in the Souss valley and 58 mm3 in the Massa perimeter [24]. *As*

a result to this dryness and decline in the water table levels caused by human activities (mainly agriculture) and global warming, the argan trees have been negatively affected in terms of density and covered area in the ABR [6]. Consequently, creating a sustainable water supply system that meets current and future domestic and agricultural water demands could at the same time preserves the water resources for future generations and for the environment [8], namely the emblematic argan tree that plunge its roots to recover water from deep layers (30 m deep) [13]. So far, governmental authorities have decided that the solution is seawater desalinization. This decision was made with the aim of safeguarding the region's employment potential. Still, the question of its sustainability should be addressed by specialists.

CONCLUSION

The decline of one third of the Argan woodland since the beginning of the 20th century is frequently cited [4]. But the main reason for this decline is the expansion of urbanization and intensive agriculture (mainly for export) in the Souss plain [6]. In less urbanized areas negative population growth rates were observed for several decades. Rural exodus and traditional farming decline are normal trends in these arid regions [8]. The natural regeneration of the Argan tree progresses in a spectacular way on the old terraces of cultivation. These observations lead to make a spotlight on the link between rural pressure, global warming and the regression of the tree cover in recent decades [25].

In fact, the landscape of the Souss valley has changed and its natural capital has consequently been degraded [26]. 50% of Argan woodland have been removed, 50% of underground water stock have been depleted and the Souss river has been modified [24]. Methods to help restore this natural capital will impact positively on future catchment management. Urbanization has also induced intensive human consumption patterns beyond the ability of the Argan ecosystem to regenerate its resources [8]. In conclusion, it can be noted that although the Argan tree is a species resistant to drought and lack of water since it digs to enormous depths to look for water, it is now very likely that its roots are no longer adapted to the changes that affect the region; these changes observed over the last 60 years: the increase of 1 to 2 degrees Celsius in temperatures (set as well as a target in order to save the planet for the next 30 years according to [27]) and the decrease of 20% of precipitation on average, make this endemic resource subject to flagrant pressures embodied by the scarcity of water, water table level reduction, overheating (forest fires), overgrazing, fruit exploitation for its beneficial oils and other factors that limit spontaneous regeneration [27].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. M'hirit O., Benzyane M., Benchekroun F., EL Yousfi M. and Bendaanoun M. (1998) The Argan tree: A multi-purpose fruit-forest species, 1 *vol. (150 p.): ill., 1 carte;* 22- ISBN 2-87009-684-4: 97 FF; (p. 150). Mardaga, Belgique.

2. Romagny B. & Boujrouf S. (2010) La ruée vers l'huile d'Argan, chronique de la patrimonialisation d'un terroir Marocain. *Hespéris Tamuda*, 45, 2010, pp. 151-166.

3. Genin D. & Simenel R. (2011) Endogenous berber forest management and the functional shaping of rural forests in Southern Morocco: Implications for shared forest management options. *Springer Science Business Media,* LLC 2011 - Doi 10.1007/S10745-011-93.

4. Auclair L. & Michon G. (2009) La forêt rurale méditerranéenne entre deux paradigms étude comparée des constructions patrimoniales de l'arganeraie marocaine et de la châtaigneraie Corse. *Revue Forets Mediterraniennes.*

5. Peltier J. P. (1982) La végétation du bassin versant de l'oued Sous (Maroc). *Phd Thesis, University of Science, Grenoble, p. 201.*

6. Sinsin T., Mounir F., Qarro M. and Sabir M. (2017) Analyse de la vulnérabilité de l'arganeraie face aux facteurs de désertification au sud du Maroc. *Actes de 4e congres de l'arganier.*

7. Hafidi B. (2007) Dynamique socio-économique dans la Réserve de Biosphère Arganeraie (RBA). *Colloque International • 27-28 Avril 2007 • Rabat.*

8. El Fasskaoui B. (2009) Fonctions, défis et enjeux de la gestion et du développement durables dans la Réserve de Biosphère de l'arganeraie (Maroc). *Espaces Et Aires Protégés : Gestion Intégrée Et Gouvernance Participative Https://Doi.Org/10.4000/Etudescaribiennes.3711*

9. Alados C.L. & El Aich A. (2007) Stress assessment of Argan (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) in response to land uses across an aridity gradient: translational asymmetry and branch fractal dimension. *Journal of Arid Environments,* 01 Apr 2008, 72(4):338-349.

10. AFD. (2012) *Gestion de la demande en eau dans le bassin mediterraneen – Cas d'étude du Souss Massa. Agence francaise de developpement.*

11. Benaddi A. et al. (2017) Les changements territoriaux dans l'arganeraie et leur impact sur la

dynamique des peuplements forestiers : Cas de la forêt de Mesguina. *Actes Du 4ème Congrès International De L'arganier 2017.*

12. Baroud A. & El Arabi A. (1996) Water resources and hydro-agricultural equipment in the Souss Massa area. Centre International de Hautes Etudes *Agronomiques Méditerranéennes 2012.*

13. Mokhtari M. Le greffage de l'arganier. Un challenge pour la multiplication clonale. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA (Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture, Rabat). 2002 ; 95, 3-4.

14. Elame F., Doukkali M. R., Fadlaoui A. (2013) Gestion intégrée de l'eau à l'échelle du bassin de Souss-Massa : Développement d'un modèle intégré de bassin. *Al Awamia* 127 – 2013.

15. Aouragh M. (2012) Dynamique du « paysage-arganeraie » dans le sud-ouest Marocain. Apport des données de télédétection et perspectives de les intégrer dans un SIG. Université Paris Sorbonne-Paris Iv Ecole Doctorale De Géographie De Paris U.F.R. De *Géographie Et D'aménagement Umr 8185 Espaces Nature Et Culture (CNRS).*

16. El Wahidi F. (2013) Dynamiques des dégradations de l'arganeraie et modélisation spatiale de l'évolution forestière : Scénarios d'aménagement pour une gouvernance locale. *PhD Thesis, Université Catholique De Louvain Earth and Life Institute Http://Hdl.Handle.Net/*

17. Chamich M. (2013) Argan forest: What management for which resource? . *Rev. For. Fr. Lxv - 4-2013 - © Agroparistech.*

18 .Irifi H. et al. (2017) Dynamique du paysage forestier de l'arganeraie caractéristiques, évolution et valorisation : Cas de l'arganeraie de la forêt d'ain Tamaloukt, commune territoriale de Tamri, Maroc . *Actes Du 4ème Congrès International De L'arganier.*

19. Elame F., Doukkali M. R., Fadlaoui A. (2013) Gestion intégrée de l'eau à l'échelle du bassin de Souss-Massa : Développement d'un modèle intégré de bassin. *Al Awamia* 127 – 2013.

20. El Mahdad E., Ouhajou L., Bouchaou L., Tazi Sadeq H. (2005) Politique de gestion des ressources en eau et équité hydraulique : Cas des bassins du Souss et du Draa. *Eaux, pauvreté et crises sociales - politique de gestion des ressources en eau et équité hydraulique - IRD éditions, pp. 599-614.*

21. Bouchelkha M. (2005) L'espace rural dans le Souss : Héritages et changements. *Revue Géographique des Pays Méditerranéens Journal of Mediterranean Geography Https://Doi.Org/10.4000/Mediterranee.377, pp. 104-105.*

22. Harif R., Laurent F., Djellouli Y. (2009) L'écotourisme dans Le Parc National de Souss Massa – Maroc. *Hal Id: Halshs-00341453 Https://Halshs.Archives-Ouvertes.Fr/Halshs-00341453v3.*

23. Ben Attou M. & Jelloul A. (2017) Les Mutations récentes d'un espace rural dans une zone urbaine de métropolité émergente (Grand-Agadir et le Souss): Cas de l'agriculture périurbaine. *Revue Espace Geographique Et Societe Marocaine N18-2017.*

24. Boujnikh M. & Humbert A. (2010) L'eau dans le bassin du Souss : Concurrences et désorganisation des systèmes paysans. *Norois Environnement, Aménagement, Société 214-2010/1 Http://Journals.Openedition.Org/Norois/3178*

25. Faouzi H. (2016) Pâturage et dynamique des écosystèmes arganeraies. L'élevage caprin face à la mondialisation. *Études caribéennes* https://journals.openedition.org/etudescaribeennes/10342

26. FERRADOUS A., BANI-AAMEUR F. and DUPUIS P. (1996) Stational climate, phenology and fruiting of the Argan tree (*Argania Spinosa* L. Skeels). *Actes Inst. Agron. Veto (Maroc) 1996, Vol. 17 (1): 51-60.*

27. Meinshausen M., Meinshausen N., Hare W., Raper S.C.B., Frieler K., Knutti R., Frame D.J. and Allen M.R. (2009) Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2C. NATURE LETTERS, Vol 458 | doi:10.1038/nature08017.

Innovation en agroforesterie : valorisation de l'arganier dans la gestion de la jachère et l'optimisation des rendements d'orge

Othmane Elghalmi1,2, Karima Samir [2] and Mohamed El koudrim 1,*.

[1] *National Agricultural Research Institute, Regional Agricultural Research Centre of Settat, Morocco;*

[2] *Faculty of Sciences Ben M'sick, University Hassan II of Casablanca, Morocco;*

** othmaneelghalmi@gmail.com*

RÉSUMÉ

Cette étude présente l'impact significatif de l'arganier (*Argania spinosa*) sur les systèmes agroforestiers en jachère et lors de la culture subséquente de l'orge. En analysant les effets d'une parcelle d'agroforesterie et d'une parcelle témoin sans arbuste, nous avons évalué la phytomasse et la densité de la jachère ainsi que les rendements de l'orge durant la saison suivante. Les résultats révèlent une phytomasse fraîche et une densité substantiellement accrues dans la parcelle d'agroforesterie comparativement à la parcelle témoin, indiquant une amélioration de la qualité et de la fertilité du sol attribuée à la présence de l'arganier. De même, le rendement de l'orge, mesuré en biomasse et en densité de grains, était significativement plus élevé dans la parcelle avec arganier. Ces données soulignent les avantages de l'agroforesterie avec l'arganier, non seulement pour augmenter la productivité des cultures, mais aussi pour améliorer les conditions du sol pendant les périodes de jachère. Ainsi, l'arganier s'avère être une composante essentielle pour la résilience et la durabilité des systèmes agricoles semi-arides.

Mots clés
Agroforesterie, Arganier, Jachère, Rendements, Orge, Résilience

ABSTRACT

Innovation in agroforestry: Valuing the argan tree in fallow management and optimization of barley yields

This study presents the significant impact of the argan tree (*Argania spinosa*) on fallow agroforestry systems and subsequent barley cultiva-tion. By analyzing the effects of an agroforestry plot compared to a control plot without shrubs, we assessed the phytomass and density of the fallow as well as the barley yields during the following season. The results reveal substantially increased fresh phytomass and density in the agroforestry plot compared to the control plot, indicating improved soil quality and fertility attributed to the presence of the argan tree. Similarly, barley yield, measured in biomass and grain density, was significantly higher in the plot with argan trees. These data highlight the benefits of agroforestry with argan trees, not only for increasing crop productivity but also for improving soil conditions during fallow periods. Thus, the argan tree proves to be an essential component for the resilience and sustainability of semi-arid agricultural systems.

Keywords
Agroforestry, Argan Tree, Fallow, Yields, Barley, Resilience

INTRODUCTION

Les systèmes agroforestiers sont de plus en plus reconnus à l'échelle mondiale pour leurs rôles multifonctionnels dans l'amélioration de la biodiversité, de la santé des sols et de la productivité des cultures [1,2]. Dans les régions arides et semi-arides, l'arganier (*Argania spinosa*) est une espèce emblématique qui illustre la synergie entre la gestion écologique et les pratiques agricoles. Nous avons mené une étude sur l'intégration innovante de l'arganier en agroforesterie et ses effets

transformateurs à la fois sur les terres en jachère et sur les cultures cultivées, en mettant l'accent sur l'orge, une céréale de base et un produit agricole clé. En présentant nos résultats, nous visons à mettent en évidence le potentiel de l'arganier en agroforesterie comme pratique agricole durable pour revitaliser les sols pendant les périodes de jachère, augmenter la production céréalière et soutenir la sécurité alimentaire et la résilience des écosystèmes.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette recherche, a été menée sur deux années consécutives à la station de recherche de l'INRA à Settat, impliquant deux parcelles distinctes. L'une des parcelles comportait un système d'agroforesterie d'alley cropping intégrant des arganiers, et l'autre servait de témoin sans arganier. Notre étude a adopté une approche de rotation jachère-culture, où la première année a été consacrée à évaluer l'effet de l'arganier sur la jachère et la deuxième année à étudier son influence sur le rendement de l'orge cultivée sur les mêmes parcelles après la période de jachère.

Durant la première année, nous avons mesuré la phytomasse et la densité des plantes dans la parcelle d'agroforesterie, en utilisant des quadrats de 1 m² à trois emplacements stratégiquement choisis pour examiner l'effet de la distance par rapport aux arganiers. L'Emplacement 1, situé directement sous les arbustes, était le plus affecté par l'ombrage et les interactions racinaires. L'Emplacement 2, à 2 mètres des arbustes, offrant moins d'ombrage et une interaction racinaire intermédiaire. Enfin, l'Emplacement 3, situé à 4 mètres des arbustes au milieu de l'allée, recevait le plus de soleil et présentait les interactions racinaires les plus faibles. (Figure 1)

Pour chaque emplacement, 10 répétitions ont été effectuées, donnant un total de 30 mesures dans la parcelle d'agroforesterie. Les données ont été collectées à la fin de la saison de jachère. Lors de la deuxième année et après la période de jachère, l'orge a été cultivée dans la même parcelle en suivant les même répétitions et emplacements. Le rendement de l'orge a été mesuré en termes de biomasse totale et de rendement en grains par hectare.

En outre, deux mesures ont été effectuées dans une parcelle témoin sans arbustes pour une comparaison directe avec les parcelles comportant des arganiers. Cette configuration nous a permis d'isoler et de quantifier l'effet de l'arganier sur la jachère et la culture d'orge.

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel statistique GenStat pour comparer les rendements, la phytomasse, et la densité des plantes entre les parcelles d'agroforesterie et témoins. Les différences ont été évaluées en utilisant l'analyse de variance (ANOVA), suivie de tests post-hoc de Tukey pour des comparaisons multiples.

La superficie de la parcelle d'arganier de 0,1ha. Il est caractérisé par un sol de type ar-gileux, rouge triasique, une pluviométrie moyenne de 342.7 mm et une température moyenne de 17.4°C (moyenne sur 30 ans). L'altitude est de 467,3 m (1515 pieds).

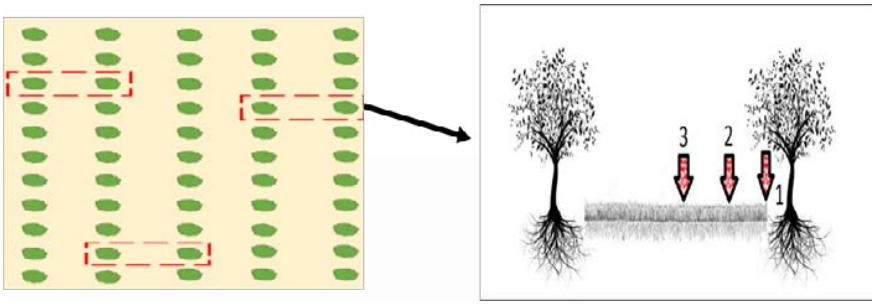


Figure 1. Représentation schématique des prélèvements en fonction de la distance à l'arbuste. (1) directement sous les arbustes, (2) entre les arbustes et le centre, (3) au milieu de l'allée.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Effet d'Arganier sur la jachère

Nos données montrent une augmentation significative de la phytomasse fraîche et de la densité des plants de la jachère dans le système avec arganier, Figure 2, indiquant que l'intégration de l'Arganier en jachère favorise non seulement une plus grande biomasse végétale mais également une densité de plants plus élevée. Ce qui pourrait être attribué

à plusieurs facteurs, comme une amélioration de la qualité du sol grâce aux apports organiques des arbustes, une meilleure rétention d'eau, et une protection contre l'érosion.

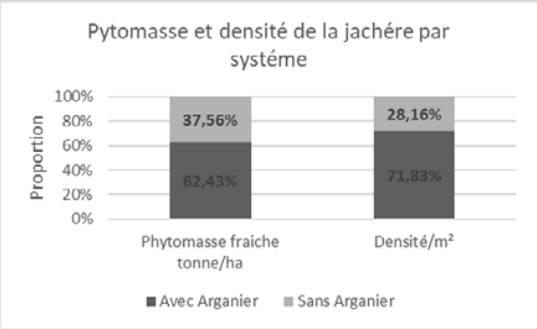


Figure 2. Productivité de la jachère avec et sans Arganier

L'analyse conjointe de la phytomasse et de la densité de plantes en fonction de la distance par rapport à l'Arganier montre une tendance similaire, Figure 3. Dans les deux cas, les mesures prises directement sous l'Arganier (SA) révèlent les valeurs les plus faibles, tandis que ces valeurs augmentent en s'éloignant de l'arbuste (ZI) et atteignent leur maximum au milieu de l'allée (ZM). Cette tendance peut indiquer que l'influence de l'Arganier est moins bénéfique directement sous sa canopée, probablement à cause de la compétition pour les ressources comme la lumière et les nutriments, ou à cause de l'effet d'ombrage. En revanche, à une distance intermédiaire, et au milieu de l'allée les conditions peuvent être optimales pour la croissance des plantes grâce aux avantages écologiques que l'Arganier apporte, tels que l'amélioration de la structure du sol et l'augmentation des nutriments disponibles via la décomposition de la matière organique. Cela suggère que les Arganiers peuvent créer un environnement microclimatique qui modifie graduellement les conditions de croissance à travers la jachère, améliorant po-tentiellement la biodiversité et la productivité des cultures à certaines distances.

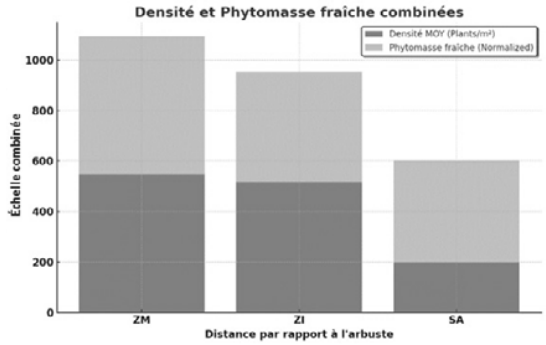


Figure 3. Densité et phytomasse fraiche combinées dans la jachère en fonction de la distance à l'arbuste. ZM : Zone au milieu de l'allée, ZI : Zone intermédiaire entre les arbustes et le centre, SA : Zone sous les arbustes

3.2. Effet d'Arganier sur le rendement de l'orge

L'intégration de l'Arganier dans un système d'agroforesterie a un impact positif sur le rendement global de l'orge, révélant un rendement plus élevé pour les parcelles comportant cet arbuste comparativement à celles dépourvues d'arbustes, figure 4 et table 1. L'effet bénéfique des Arganiers pourrait être attribué à divers facteurs tels que l'amélioration de la qualité du sol, la protection contre des facteurs abiotiques défavorables ce qui favorise une production agricole plus durable et plus productive.

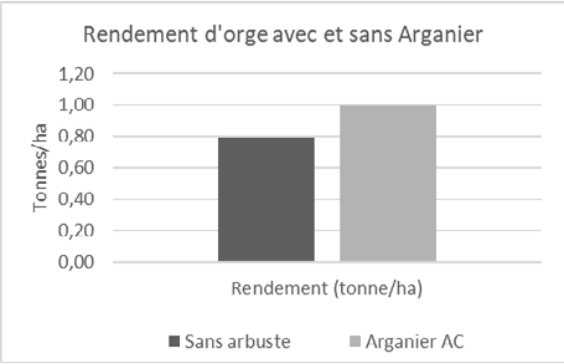


Figure 4. Rendement d'orge avec et sans Arganier.

Tableau 1. Impact de l'Arganier sur le Gain en Production : Comparaison le système agroforestier et le système traditionnel (témoin).

Système de culture	Production Témoin	Production Arganier	Gain en production
Jachère-Arganier	100,00%	166,22%	66,22%
Orge-Arganier	100,00%	144,72%	44,72%

Les résultats de la table 2 montrent que la distance par rapport à l'Arganier joue un rôle crucial dans la production de l'orge. Des différences statistiquement significatives ont été observées pour biomasse totale et celle de l'orge, ainsi que pour la quantité de paille produite. Les variables les plus affectées par l'emplacement sont le nombre de grains et le rendement, qui montrent les valeurs les plus élevées de F et les plus petites valeurs p, suggérant une forte variation en fonction de la proximité à l'arganier.

La biomasse totale et celle spécifique à l'orge, (a) figure 5 semblent augmenter avec la distance de l'arbuste ($p \leq 0.01$). De plus, le rendement en grains, (c) figure 5 est nettement supérieur dans la zone intermédiaire par rapport à celle directement sous l'Arganier ($p \leq 0.001$). Ces tendances indiquent que l'orge bénéficie probablement d'une compétition réduite pour la lumière et les ressources du sol, et possiblement de l'influence positive de l'arbuste en termes de microclimat et de fertilité du sol. La quantité de paille par mètre carré, (b) figure 5 augmentent également avec la distance de l'Arganier avec une supériorité dans la zone intermédiaire (($p \leq 0.01$), ce qui suggère une meilleure santé générale des plants d'orge et une productivité accrue à mesure que l'on s'éloigne de l'arbuste.

Table 2. Analyse de Variance (ANOVA) des Effets de l'Emplacement par Rapport à l'Arganier sur le Rendement de l'Orge.

Variable	DF	SS	F-Value	P-Value	Signification
Biomasse totale g/m²	2	85717.29	6.12	0.006	*
Résiduelle	27	188976			
Biomasse d'Orge g/m²	2	82658.67	5.53	0.0010	**
Résiduelle	27	201890.69			
Paille d'Orge g/m²	2	56389.16	5.66	0.009	*
Résiduelle	27	134430.02			
Nombre de grains /m²	2	60401646.20	13.84	<0.001	***
Résiduelle	27	58923550.50			
Rendement (tonne/ha)	2	0.0211	13.84	<0.001	***
Résiduelle	27	0.0206			

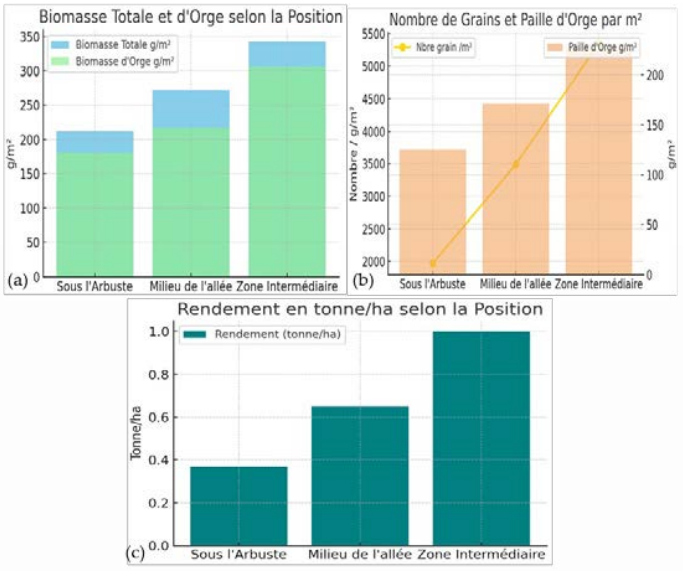


Figure 5. Les rendements d'orge en fonction de la distance à l'Arganier. (a) La biomasse totale et celle spécifique à l'orge, (b) Le nombre de grains et la quantité de paille par mètre carré, (c) le rendement en tonnes par hectare.

CONCLUSIONS

En conclusion, l'intégration de l'Arganier en agroforesterie est une stratégie prometteuse qui peut transformer à la fois les terres en jachère et les rendements des cultures céréalières. Les avantages observés sont multiples : amélioration de la qualité et de la productivité du sol, augmentation de la biodiversité, et renforcement de la durabilité des systèmes agricoles. Ces résultats encouragent la réflexion sur la planification spatiale et la gestion des arbustes en agroforesterie, mettant en évidence la valeur de l'Arganier, non seulement pour ses produits mais aussi pour ses services écosystémiques, qui peuvent contribuer à une agriculture résiliente face aux défis environnementaux actuels.

Remerciements : Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au Dr. El Koudrim Mohammed pour son encadrement attentif et ses conseils éclairés tout au long de cette recherche. Je remercie également mon directeur de thèse Professeur Samir Karima pour son expertise et son accompagnement attentif. Enfin, un grand merci au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Settat pour son accueil et son appui tout au long de notre étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Morugán-Coronado, A. et al. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. Agricultural Systems 2020, 178, 102736. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736

2.Nair, P. K. R. et al. Agroforestry. In Encyclopedia of Ecology 2008 (p. 101 110). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0.

Option de système de culture des plantes aromatiques et médicinales associées à l'arganier pour l'amélioration de la productivité des terres dégradées et la résilience des arganeraies

Youssef Karra [1,*], Abdelghani Tahiri [1] Fouad Elame [2], Abdelaziz Mimouni [1].

[1] *Unité de Recherche Ressources Naturelles et Produits de Terroir, INRA/Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir ;*

[2] *Unité de Recherche Production Intégrée des Cultures, INRA/Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir ;*

* *youssef.karra@inra.ma*

Mots clés

Association des cultures, Arganiculture, Cultures associées à l'arganier, plantes aromatiques et médicinales, système de culture durable, résilience des arganeraies dans les zones vulnérables

RÉSUMÉ

Les ressources naturelles sont exploitées continuellement et d'une manière excessive affectant la fragilité et la sensibilité des écosystèmes et l'environnement social et économique. Cette vulnérabilité est posée suite à plusieurs formes de dégradation de la biodiversité et du milieu à savoir le changement climatique et de la sécheresse, le patrimoine forestier de l'arganeraie marocaine se trouve alors face à leurs impacts négatifs.

Actuellement, la pratique des plantes aromatiques et médicinales, en association avec l'arganiculture, pourrait devenir un créneau pour la sauvegarde des activités socio-économiques qui s'articulent autour de l'arganier, d'exploiter de même les terres marginales et dégradées et ainsi de contribuer à la restauration du paysage rurale et à l'atténuation des effets négatifs du réchauffement climatique. Notre étude s'articule autour d'un modèle de production relevant de l'agroforesterie basé sur l'arganier et la culture de plantes aromatiques et médicinales (PAM associées), proposé comme moyen de résilience, d'atténuation et de valorisation des environnements dégradés. Les résultats d'adaptation des PAM ont montré une opportunité remarquable de cette option de culture associées surtout en mode de conduite biologique et sous irrigation localisée (goutte à goutte).

Keywords

Arganiculture, Crops associated with argan tree, aromatic and medicinal plants, sustainable cropping system, resilience in vulnerable areas

ABSTRACT

Cropping system option using aromatic and medicinal plants associated with the argan tree for improving the productivity of degraded lands and the resilience of argan planting

Natural resources are continually and excessively exploited, affecting the fragility and sensitivity of ecosystems and the social and economic environment. This vulnerability arises following several forms of degradation of biodiversity and lands, namely climate change and drought, the forest heritage of the Moroccan argan trees is then faced with their negative impacts.

Currently, the practice of aromatic and medicinal plants, in association with Arganiculture, could become a niche for the safeguarding of socio-economic activities which revolve around the argan tree, likewise exploiting marginal and degraded lands and thus contributing to the restoration of the rural landscape and the mitigation of the negative effects of global warming.

Our study is structured around a production model relating to agroforestry based on the argan tree and the associated cultivation of aromatic and medicinal plants, proposed as a means of resilience, mitigation and valorization of degraded environments. Adaptation results have shown a remarkable opportunity for this option of cropping system, especially in organic management mode and under localized irrigation (drip irrigation).

INTRODUCTION

La pratique des plantes aromatiques et médicinales (PAM) associées constitue un choix cultural intéressant pour la durabilité du système de de production de l'arganier cultivé. Sur le plan agroéconomique, cette option offre une récolte supplémentaire et une exploitation ainsi efficiente de l'espace et de l'assolement. Quant au volet agroécologique, ce modèle de production est proposé comme moyen de résilience et de valorisation des environnements dégradés dans les périmètres étudiés, relevant du projet DARED. Cette étude de ce système de culture Arganier/PAM associées vise à évaluer l'adaptation de quelques espèces de PAM en intercalaire avec l'arganier en vue de les proposer pour améliorer la rentabilité économique et contribuer de même à l'exploitation optimale de la terre (couverture végétale, conservation du sol, …) et par la même d'établir et démonter l'itinéraire technique convenable pour la conduite de ces PAM cultivées avec l'arganier. Ce présent article concerne la description et la synthèse des observations et les résultats des essais reconduites de plantations des PAM cultivées en association à l'arganier dans trois sites : Tamjlojt, Rasmoka et le domaine expérimental Melk Zhar à Belfâa (DEMZ).

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Premièrement, les plants ont été préparés dans une pépinière située dans la région de Chtouka, puis acclimatés au DEMZ sous des ombrières pour les aider à développer au mieux leurs systèmes racinaires et s'assurer de leur performance végétative afin de garantir un état optimum des plants permettant la bonne reprise après transplantation en plein champ (Figure1). Trois espèces, objet de cette étude, sont le thym, l'armoise et la lavande.



Figure1. Préparation et entretien des plants de PAM

Les transplantations dans les périmètres de Rasmoka et Tamjlojt ont eu lieu à la fin du mois d'avril suivant un protocole technique optimisé afin de mieux évaluer l'adaptation des PAM aux conditions des périmètres étudiés. Ci-après, une description détaillée de l'itinéraire technique d'installation et de mise en culture des trois espèces de PAM :

- *Traçage et creusement des trous de plantation (20 à 25 cm de profondeur)*
- *Application d'une pré-irrigation du sol*
- *Amendement organique (apport de compost)*
- *Transplantation des plants et installation de la culture des PAM (Figure2)*



Figure2. Installation de la culture des PAM cultivées en intercalaire dans les périmètres d'Arganiculture.

Les périmètres des régions étudiées sont caractérisés par un climat sec, aride et ainsi des températures relativement élevées qui se sont marquées par des périodes de chaleurs fréquentes. De ce fait, les irrigations de surface ont été apportées régulièrement, 1,5litres/plant/chaque semaine puis quantité augmentée 3litres/plant. Les observations ont concerné le suivi du peuplement des plants (taux de réussite) et la longueur des tiges et largeur de la frondaison des plants (reprise végétative). Pour le site du domaine expérimental Melk Zhar, les nouvelles plantations ont eu lieu début mai 2023. Les PAM ont été transplantées en intercalaire des arbres d'arganier adulte déjà en place (environ 5 ans d'âge) (Figure3). Irrigation localisée en place (en goutte à goutte), deus irrigations par semaine ont été préconisée.



Figure 3. Culture et conduite en goutte à goutte des PAM associées à l'arganier.

RÉSULTATS

3.1. Adaptation des PAM : taux de réussite de transplantation et mise en place du peuplement en nombre de plants de la lavande, du thym et de l'armoise

Dans les périmètres étudiés Rasmoka et Tamjlojt, les plants ont exprimé des difficultés pour l'adaptation et la réussite de la transplantation. Le suivi du peuplement était régulier et a concerné le contrôle de l'état de végétation chaque semaine au moment de l'apport des irrigations. Deux mois après la mise en place des PAM, les taux de réussite observés ont été faible, le nombre des plants de l'armoise se sont réduits par 2/3 ce qui a laissé une réussite seulement d'environ 30 à 35%. Pour les plants de la lavande, c'était encore plus faible avec des taux de réussite dans les 20%. Quant aux plants du thym, il s'est avéré que les conditions du milieu et les irrigations pratiquées dans les deux périmètres Rasmoka et Tamjlojt n'ont pas permit l'adaptation et la reprise de végétation pour cette espèce (Figure4). En revanche, les expérimentations reconduites au niveau du DEMZ ont montré une adaptation satisfaisante et une réponse parfaite à l'irrigation localisée. Les taux de réussite ont été supérieures à 90% voire 100% pour l'armoise.

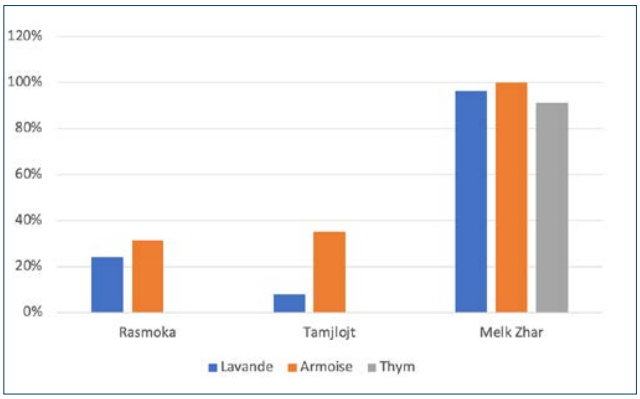


Figure 4. Taux de réussite de la transplantation des plants des PAM associées

3.2. Effet de la conduite de l'irrigation des PAM sur la reprise végétative des plants de la lavande, du thym et de l'armoise

Sur le plan comparatif des similitudes des conditions climatiques des sites expérimentaux, on peut dire que vue la proximité de ces régions, la différence observée au niveau de l'adaptation des PAM cultivées pourra être liée directement au mode de l'irrigation adopté ainsi que la possibilité et la faisabilité des irrigations fréquentes, le goutte à goutte permet des apports d'eau régulièrement avec un contrôle convenable des fréquences des arrosages par rapport à l'irrigation de surface pratiquée manuellement sur place. Les plants des PAM sur le site du domaine Melk Zhar ont exprimé une bonne reprise de la végétation (Figure5).

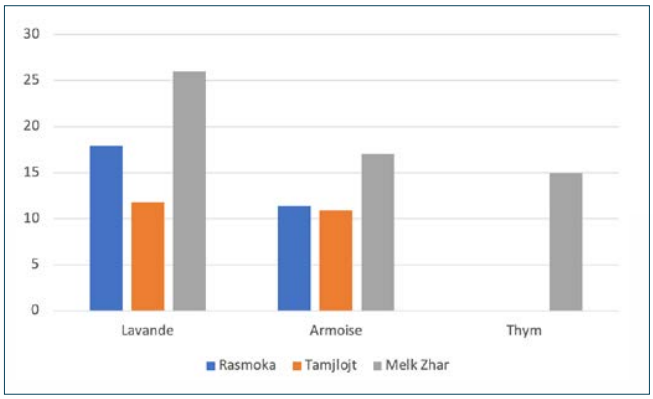


Figure5. Expression de la croissance végétative en hauteur moyenne des plants (cm) par site d'expérimentation (Rasmoka & Tamjlojt (Irrigation gravitaire de surface) et Melk Zhar (Irrigation localisée)

DISCUSSION

A l'état naturel, cette association de l'arganier avec des plantes accompagnatrices a existé depuis longtemps dans les écosystèmes des arganeraies marocaines. Les plantes médicinales et aromatiques ont constitué une des richesses sous-jacentes les plus importantes à l'arganier dans le Sud-ouest du Maroc [1,2]. En générale, l'association des cultures s'avère bénéfique et conservatrice de l'état hydrique du sol tant que le point critique de la compétition vis-à-vis de la lumière et les éléments nutritifs du sol n'est pas attient, c'est la raison pour laquelle la plantation à faible densité est recommandé pour l'arganier dans le cadre de cette approche agroécologique. D'ailleurs, les écosystèmes des arganeraies marocaines ont connu plusieurs formes symbiotiques et de diversification de la flore et de la faune, des

investigations récentes et des études ethnobotaniques menées dans ce sens ont démontré l'existence de plusieurs relations écologiques autour de l'arganier et des plantes sous-jacentes qui résultent d'une

biodiversité très remarquable dans ces aires [3,4,5,6]. Certes, ces processus éco

systémiques ont rendu l'arganeraie marocaine plus résiliente et adaptée à son habitat, ce qui a permis éventuellement à cet arbre endémique de persister et résister aux aléas climatiques depuis très longtemps. En retournant finalement à ce nouveau modèle de production de l'arganier domestiqué et des cultures associées, le point de la rentabilité économique [7] et du gain écologique demeure l'articulation principale pour la réussite et la justification de cette approche agroécologique pour l'Arganiculture durable.

CONCLUSIONS

Certainement, la pratique des PAM associées pourra jouer un rôle très important dans le système de production de l'arganier, elle permettra d'enrichir le calendrier des récoltes et l'optimisation de la productivité des terres et des exploitations. Cependant, la question de l'adaptation des espèces PAM s'avère une question cruciale, la réussite des PAM cultivées est d'une grande importance pour les projets d'avenir. Les expérimentations réalisées ont permis de conclure que le facteur limitant de production des PAM est l'eau, des arrosages en permanence sont recommandées de façon à garder des humidités convenables du sol et garantir ainsi une alimentation hydrique normale des plantes. L'irrigation de surface ne permet pas d'apporter suffisamment et régulièrement l'eau surtout dans ces terres dégradées à faible rétention de l'eau et dont le climat est caractérisé par des chaleurs souvent élevées, de la sécheresse et un pouvoir évaporant important (demande climatique). A grande échelle, l'irrigation de surface aggrave la situation de la disponibilité et de l'économie des ressources en eau et l'apport fréquent n'est pas envisageable (faisabilité en question : Tracteur (et citerne) doit faire passage en moyenne deux à trois fois par semaine sur toutes les superficies emblavées par les PAM). De ce fait, le goutte à goutte constitue le mode le plus approprié pour l'irrigation régulière et fréquente et dont l'investissement est justifié pour la conduite technique des PAM associées.

Remerciements : Cette étude a été financée avec le soutien de l'ANDZOA dans le cadre du projet de Développement de l'Arganiculture dans les zones vulnérables « DARED », projets cofinancés par le Fond vert pour le climat (Green Climate Fund – GCF)

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ouhaddou H, Boubaker H, Msanda F, (2013). Etude ethnobotanique des plantes aromatiques et médicinales des écosystèmes d'arganier au niveau de la préfecture d'Agadir Ida Outanane au Sud-ouest du Maroc. Actes du 2ème congrès international de l'arganier 9-11 déc. 2013 : 32-35.

2. Msanda F, El Aboudi A, Peltier J, El Mousadik A, Boubaker H, Saadi B, (2015). Originalité de la flore du sud-ouest maro-cain. Actes du 3ème congrès international de l'arganier : 24-28. Agadir du 17 au 19 Déc. 2015.

3. Barkaoui M, Katiri A, Ouhaddou H, Boubaker H, Msanda F, (2017). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans l'arganeraie des régions de Chtouka Ait Baha et de Tiznit (Anti-Atlas occidental du Maroc). 4ème édition du congrès inter-national de l'arganier, Agadir du 20 au 22 Novembre 2017. www.congresarganier.com

4. Ahjam A, Achour A, Msanda F, (2017). Biodiversité floristique de l'arganeraie de Tiznit : Quelle mise en

valeur ? 4ème édi-tion du congrès international de l'arganier, Agadir du 20 au 22 Novembre 2017. www.congresarganier.com

5. Katiri A, Barkaoui M, Ouhaddou H, Msanda F, Boubaker H, (2019). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans les écosystèmes d'arganier de la région de Tizi N'Test. Actes du 5ème congrès international de l'arganier : 36-42. 5ème édition, Agadir le 10 et 11 Décembre 2019.

6. Ouhaddou H, Barkaoui M, Katiri A, Boubakar H, Msanda F, (2019). Etude ethnobotanique des plantes médicinales sponta-nées au niveau des écosystèmes arganiers (Sud-ouest du Maroc). Actes du 5ème

congrès international de l'arganier : 326-332. Agadir le 10 et 11 Décembre 2019.

7. Benabdellah M, et Daniko I, (2015). Etude économique de la domestication de l'arganier : l'arganiculture

dans la région d'Agadir Ida Outanane. Actes du 3ème congrès international de l'arganier : 282-288. Agadir du 17 au 19 Déc. 2015.

Microbial abundance in the rhizosphere of argan trees : cas of Tiznit and Taroudant regions

Redouan QESSAOUI [1*], Salahddine CHAFIKI [1,2], Ahmed BOUAMAIR [1,3], Naima CHABBI[1,4], Abdelmalek MAHROUG[1,3], Abdelhadi AJERRAR[1], Naima AITABD[1], Abdeghani TAHIRI[1], Meriyem KOUFAN[1], Jamal HALLAM[1], Mohamed ALOUANI[3] and Rachid BOUHARROUD[1].

[1] *Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[2] *AgroBioSciences Department (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Ben Guerir, Morocco;*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences - Agadir, Ibn Zohr University, BP 8106, 80000 Agadir, Morocco.*

[4] *Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Cadi Ayyad University (UCA), Marrakech, Morocco*

* *redouan.qessaoui@inra.ma*

Keywords
Argan tree, Rhizosphere, Microbial abundance

ABSTRACT

The argan tree (*Argania spinosa*) is of great ecological, pharmaceutical, and socio-economic significance in Morocco's arid and semi-arid regions. However, deforestation linked to land use changes has led to a decline in its population. This study examines the microbial abundance in the rhizosphere of argan trees at two sites, Rasmouka and Imoulass, which represent different eco-geographic conditions. Rhizospheric soil was simpled in adult argan trees and new plantations and a control soil at each site and microbial enumeration for bacteria and fungi was carried out. The results showed higher bacterial and fungal counts in young argan seedlings compared to mature trees and control soil. Microbial diversity varied between sites, indicating the influence of local environmental factors. These findings highlight the importance of organic matter and cultural practices in shaping soil microbial communities, which can have implications for plant health and growth. Additional research is necessary to gain a complete understanding of the mi-crobial diversity present in the soil of argan trees and its effects on ecosystem dynamics and sustainable management practices.

Mots clés
Arganier, Rhizosphère, Abondance microbienne

RÉSUMÉ

Abondance microbienne dans la rhizosphère des arganiers : cas des régions de Tiznit et Taroudant

L'arganier (*Argania spinosa*) revêt une grande importance écologique, pharmaceutique et socio-économique dans les régions arides et se-mi-arides du Maroc. Cependant, la déforestation liée aux changements a entraîné une diminution de sa population. Cette étude examine l'abon-dance microbienne dans la rhizosphère des arganiers sur deux sites, Rasmouka et Imoulass, représentant des conditions éco-géographiques différentes. Le sol rhizosphérique a été échantillonné des arganiers adultes et de nouvelles plantations pour chaque site. Un dénombrement microbien des bactéries et des champignons a été réalisé. Les résultats ont montré une densité bactérienne et fongique dans les jeunes plants d'ar-ganier comparées aux arbres adultes et aux sols témoins. une diversité microbienne entre les sites a été observée, cette variabilité est liée à l'influence des facteurs environnementaux locaux. Ces résultats souli-gnent l'importance de la matière organique et des pratiques culturales dans la structuration des communautés microbiennes du sol, ce qui

peut avoir des implications pour la santé et la croissance des plantes. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour une compréhension complète de la diversité microbienne présente dans le sol des arganiers et de ses effets sur la dynamique des écosystèmes et les pratiques de gestion durable.

INTRODUCTION

The argan tree, scientifically known as *Argania spinosa* (L.) Skeels, is a forest species endemic to Morocco, mainly found in arid and semi-arid regions with a Mediterrane-an-type climate [1-3]. Its distribution is mainly concentrated along the south-west Mo-roccan coast, stretching from north of Safi to south of Sidi Ifni [4-6]. The argan tree has a unique ability to survive long periods of drought thanks to its defoliation capacity [3,7,8]. It is able to produce leaves, branches and fruit even when rainfall is low, not exceeding 100 mm (1-3, 8]. The argan tree plays a crucial ecological, pharmaceutical and socio-economic role in its native region [9]. However, the argan tree is facing regression due to intense deforestation linked to the expansion of cultivated land and urban areas [10]. The rhizosphere is a reservoir of microorganisms that can promote plant resistance to abiotic and biotic stresses. This study aimed to investigate the abundance of bacteria and fungi in the rhizosphere of argan trees in Rasmouka and Imoulass, which is an index of the richness and activity of the microorganisms in the rhizosphere and will contribute effectively to the study of the microbial biodiversity of the rhizospheric soil of argan trees in these two sites (Rasmouka and Imoulass).

MATERIALS AND METHODS

Study sites

Two argan tree sites, Rasmouka (Tiznit) and Imoulass (Taroudant), were studied. These sites represent different eco-geographic conditions in the argan groves of southwest Morocco.

Soil Sampling

Sampling was conducted at both sites in the spring of 2021. Our sampling strategy was to first remove the surface layer (which is exposed directly to solar rays and other climatic factors) and then sample the soil. Three representative adult argan trees (MP), three new plantations (YP), and one control soil (C) were sampled at each site. The rhizospheric soil samples from each argan tree were placed in a plastic container (approximately 2 kg for each sample) and then transferred to the microbiology laboratory at the Regional Center of Agronomic Research of Agadir.



Fig 1: Soil sampling of the argan tree

3. RESULTS

3.1. Bacterial enumeration

The results of the rhizospheric soil bacterial counting of argan plants showed an abun-dance of bacteria in the rhizosphere of young argan seedlings (YP) for the two sites Rasmouka (Tiznit) and Imoulass (Taroudant) compared with the adult trees and the control soil in each site (Figure: 2). The results revealed that the soil of argan trees in the Imoulas region contains a higher concentration of bacteria than the soil of Rasmouka.

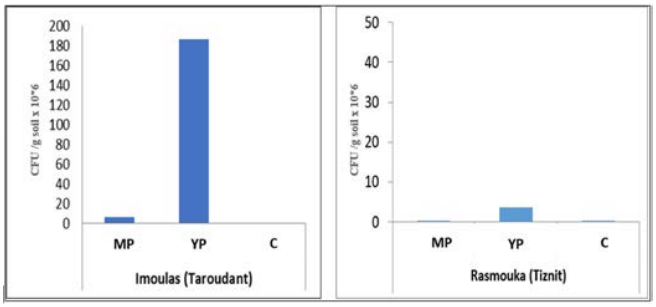


Fig 2 : Bacterial counts at the Rasmouka (Tiznit) and Imoulass (Taroudant) sites

3.2. Fungal enumeration

The study found that fungal isolates were more abundant in the rhizosphere of young argan seedlings (YP) at both sites compared to older trees

and control soil (C). Addi-tionally, the rhizospheric soil from mature trees (MP) in the Rasmouka region was found to be richer than that from the Imoulss region (figure 3).

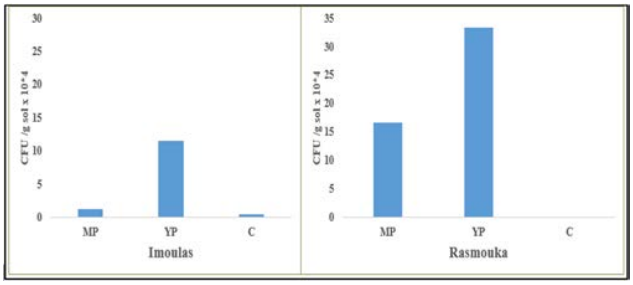


Fig 3: Fungal counts at the Rasmouka (Tiznit) and Imoulass (Taroudant) sites.

In addition to the difference in microbial load between the two sites studied, initial ob-servations revealed a high diversity of bacteria and fungi (Figure 4). This finding mo-tivates the further study of the microbial diversity of argan tree soil.

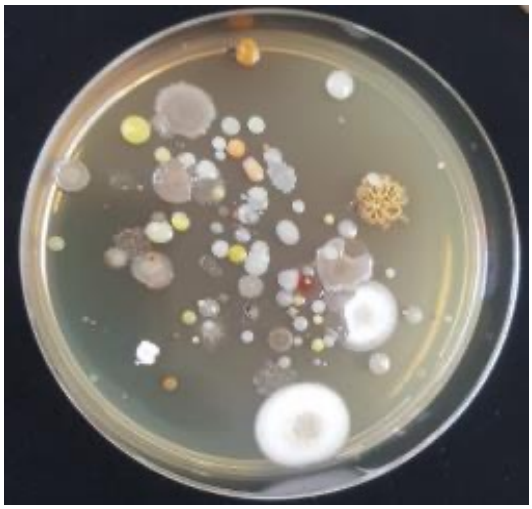


Fig 4: Microbial Diversity in the Argan Rhizosphere

DISCUSSION

The analysis of microbial biodiversity revealed a significant richness of microorganisms in the rhizosphere of argan trees, especially in young plants. This abundance of microor-ganisms is primarily attributed to the organic matter present in the plant's root ball and the favorable greenhouse germination conditions under which these plants were de-veloped. Many studies have shown that the use of organic matter can optimize the activity and development of microorganisms in the soil [11]. The abundance of micro-organisms in the rhizosphere of mature argan trees in the Rasmouka region may be due to cultural practices exercised in the argan grove of this site. This region is primarily known for cultivating cereals in the argan grove, especially during the rainy season. Cultural practices have a strong influence on soil health by modifying the physico-chemical characteristics and microbial communities of the soil [12]. Microorganisms have been shown to have significant activity against pathogens and to promote plant growth.

CONCLUSIONS

In conclusion, the study investigated the abundance of bacteria and fungi in the rhizo-sphere of argan trees in two sites in southwest Morocco, revealing significant differences between young and mature trees as well as between sites. The findings underscored the importance of organic matter and cultural practices in influencing microbial diversity in the soil, with implications for plant health and growth. Additional research on the mi-crobial diversity in argan tree soil is necessary to fully comprehend the ecosystem's dynamics. This understanding can be utilized for argan tree cultivation and growth, as well as in various fields of agroecology.

REFERENCES

1. Emberger L., Aperçu général sur la végétation du Maroc, Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc, 1939, 40-157.

2. Le Houérou HN (1989) Classification écoclimatique des zones arides (s.l.) de l'Afrique du Nord. Ecologia Mediterranea 15 : 95–144.

3. M'hirit O., M. Benzyane, F. Benchekroun, S.M. El Youssfi, and M. Bendaanoun, L'arganier une espèce fruitière-forestière à usages multiples, in P. Mardaga (Ed.), Hayen, Sprimont, (Belgique, 1998) 145 p.

4. Baehni C 1948 Mémoires sur les Sapotacées. 1 . Système de classification. Candolea 7 : 394-476.

5. Ehrig F R 1974 Die arganie charakter, okologie und wirtschaftliche bedeuntung eines tertiarreliktes in Morokko. Ptermanns geographistche Mitteilungen 118 (2) : 117-125.

6. Prendergast HDV, Walker CC. 1992 The argan : Multipurpose tree of Morocco. The Kew Magazine 9: 76-85.

7. Peltier J. P. (1982) La végétation du bassin versant de l'Oued Souss (Maroc). Thèse de Doctorat ès Sciences, Université des Sciences, Grenoble, 201p

8. Ferradous A., F. Bani-Aameur, and P. Dupuis (1996). Climat stationel, phénologie et fructification de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels), Actes de l'institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 17, 1996, 51-60.

9. Boudy P., (1950) Economie forestière nord-Africaine, in Larose (Ed.), Tome deuxième Monographie et traitement des essences forestières, (Paris (V), 382-416

10. El Yousfi SM and Benchekroun F (1992) La Dégradation forestière dans le sud marocain, exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986. Annales de la recherche forestière au Maroc.

11. Ouedraogo, J., Ouedraogo, É., & Nacro, H. B. (2017). La macrofaune du sol améliore l'efficience de l'utilisation de l'énergie par les microorganismes. Journal of Applied Biosciences, 114, 11345-11356

12. Janvier, C. (2007). Recherche d'indicateurs de la santé des sols (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

Statut mycorhizien d'un peuplement d'arganiers de reboisement et des espèces accompagnatrices dans la localité de Dar Chef, région de Ouezzane

Zineb Sellal[1], Amina Ouazzani Touhami[1], Jamila Dahmani[1], Soumaya El Gabardi[1], Soukaina Maazouzi[1], Najoua Mouden[1], Nabil Zaara[1], El Alaoui Moulay Abdelaziz[1], Mohamed Chliyeh[1], Karima Selmaoui[1], Cherkaoui El Modafar[2], Allal Douira[1,*].

[1] *Laboratoire des Productions Végétales, Animales et Agro industrie, Equipe de Botanique, Biotechnologie et Protection des Plantes. Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra.*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie, Valorisation et Protection des Agroressources, Faculté des Sciences et techniques Guéliz, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.*

** douiraallal@hotmail.com; labobotanique@gmail.com*

Mots clés
Champignons mycorhiziens arbusculaires, Arganier, Cupressus sp, Chamaerops humilis, Dar Chef, Ouezzane, Maroc

RÉSUMÉ

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) vivent en symbiose avec les racines des plantes aidant celles-ci à absorber les nutriments nécessaires à leur croissance et développement. Au Maroc plusieurs études ont été effectuées sur le statut mycorhizien de l'arganier du sud-ouest, peu d'études exhaustives réalisées sur l'arganier du nord-est, aucune étude n'a été réalisée sur les arganiers de Dar Chef, région de Ouazzane. Pour ce faire, la présente étude vise à déterminer le statut mycorhizien de l'arganier et les espèces végétales accompagnatrices : *Cupressus sp*. et *Chamaerops humilis*. L'étude réalisée a révélé la présence d'une large diversité de CMA dans la rhizosphère de ces trois espèces. Par ailleurs, la fréquence de mycorhization était relativement élevée allant jusqu'à 100% avec la formation de vésicules et d'arbuscules, des endophytes et des spores à l'intérieur des racines des plantes étudiées. L'examen des spores met en évidence 18 espèces, isolées à partir de la rhizosphère d'arganier, 15 espèces pour Cupressus sp., et 13 espèces isolées à partir de la rhizosphère de *Chamaerops humilis*. Les morphotypes des spores sont répartis en 9 genres : *Rhizophagus, Acualospora, Claroideoglomus, Glomus, Funneliformis, Scutellospora, Ambispora, Pacispora et Gigaspora.*

Keywords
Arbuscular mycorrhizal fungi, argan tree, Cupressus sp, Chamaerops hu-milis, northwest, Morocco, Ouezzane

ABSTRACT

Mycorrhizal status of a reforested argan tree stand and accompanying species in the locality of Dar Chef, Ouezzane region

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) live in symbiosis with plant roots, helping plants absorb the nutrients necessary for their growth and de-velopment. In Morocco, several studies have been carried out on the mycorrhizal status of the south-western arganier, few exhaustive studies have been carried out on the north-eastern arganier, and no studies have been carried out on the arganiers of Dar Chef, Ouezzane region. The purpose of this study is to determine the mycorrhizal status of the arga-nier and the accompanying plant species: Cupressus sp. and *Chamaerops humilis*. The presence of this arganeraie was noted for the first time in this region. The study revealed the presence of a wide diversity of AMF in the rhizosphere of these three species. In addition, the frequency of mycor-rhization was relatively high up to 100% with the formation of vesicles and arbuscules, endophytes, and spores within the roots of the plants studied. Examination of the spores revealed 18 species isolated from the rhizosphere of arganier, 15 species for Cupressus sp and 13 species iso-lated from the rhizosphere of *Chamaerops humilis*. The morphotypes of the spores are divided into 9 genera: *Rhizophagus, Acualospora, Claroideoglomus, Glomus, Funneliformis, Scutellospora, Ambispora, Pacispora and Gigaspora.*

INTRODUCTION

Les champignons mycorhiziens arbusculaires sont des microorganismes multifonctionnels avec des myriades des avantages écosystémiques [1]. Le réseau d'hyphes extra-radiculaires des champignons pénètre dans les microsites de roches et de sols entourant les racines des plantes, augmentant la surface absorbante de 100 voire 1000 fois [2]. De plus, les CMA procurent des avantages supplémentaires aux plantes, comme l'atténuation des stress hydrique et salin [3-4] et l'augmentation de la résistance des plantes aux agents pathogènes [5]. En conséquence, les CMA ayant de nombreux noms parmi eux : « ingénieurs des écosystèmes », « biofertilisants » et « bio contrôle », peuvent participer à l'amélioration de la croissance et de la nutrition des plantes, renforcer les performances des plantes, restaurer les écosystèmes et lutter contre les ravageurs et la pollution [6-7].

L'étude des CMA est importante car une meilleure compréhension de la biologie de ces organismes et de leurs interactions avec les divers organismes de la rhizosphère, pourraient permettre plusieurs avancées potentielles, non seulement en recherche fondamentale, mais aussi en recherche appliquée (biostimulants et biofertilisants) [8]. L'utilisation des mycorhizes indigènes du sol présente des avantages en termes d'acclimatation rapide et de restauration des écosystèmes, tels que leur bonne tolérance aux conditions locales et leur faible risque écologique [9].

De nombreuses recherches sont menées sur les endomycorhizes d'*Argania spinosa* se développant dans le sud-ouest du Maroc [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Cependant, peu d'études exhaustives ont été réalisées au Nord ouest du Maroc sur la diversité des CMA associés à l'arganier [17, 18]. Dans ce sens, le présent travail est une continuité des travaux précédents qui vise à évaluer le statut mycorhizien d'arganier du nord-ouest du Maroc (Ouezzane), ainsi que celui des espèces végétales du même site : Cupressus et Chamaerops humilis, Pinus sp. . L'arganeraie de la zone d'étude a été détectée pour la première fois au Maroc.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

• Site d'échantillonnage

Des échantillons de sol ont été collectés dans la rhizosphère des arganiers se développant dans la région de Dar Chef (Ouezzane) du Rif Occidental. L'arganeraie de cette station a été détectée pour la première fois (figure1). Les échantillons sont prélevés à raison de 2 kg de sol par arbre à une profondeur de 0 à 20 cm, et un échantillon composite de sol est prélevé. Des racines très fines plus susceptibles d'être mycorhizées et plus facilement observables au microscope sont récoltées en même temps que le sol. Les échantillons de sol et des racines des espèces accompagnatrices de l'arganier (*Cupressus sp. et Chamaerops humilis*) ont été prélevés également (Figure 2).



Figure 1 : Arganeraie de reboisement de Dar Chef , région de Ouezzane, Nord-ouest du Maroc





Figure 2 : Espèces végétales du site des arganiers de Dar Chef , région de Ouezzane, Nord-ouest du Maroc : *Chamaerops humilis*, Cupressus sp et Pinus sp.

- **Mise en évidence et estimation de l'infection endomycorhizienne**

La détermination de la colonisation des racines de l'arganier et des espèces végétales du site étudiées par les CMA indigènes a été effectuée par observation au microscope optique des segments de racines fines préalablement colorées selon la méthode modifiée de Phillips et Hayman, [19]. L'évaluation de l'infection racinaire est estimée par le calcul de la fréquence et de l'intensité selon la méthode de Trouvelot et al. [21].

- **Extraction des spores**

Les spores ont été extraites suivant la méthode de tamisage humide décrite par Gerdemann et Nicolson [22].

- **Identification des spores de CMA**

L'identification morphologique des spores est réalisée en fonction de la couleur, la forme, la taille, le bouclier de germination, le bulbe, la séparation du suspenseur de la spore et de la membrane [23-24]. La détermination du genre est réalisée en se basant sur des critères proposés par Schenck et Smith [25] et Souza [26] et la clef INVAM [27] de dé-termination des Glomales suivant la classification de Redecker et al. [28]

- **Analyse statistique**

Le traitement statistique des résultats obtenus a porté sur l'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA) et le test PPDS au seuil de 5%

RÉSULTATS

L'observation des fragments des racines d'arganier et des espèces végétale du site étudié (Cupressus sp., Chamaerops humilis) préparées par la technique de Philips et Hayman [19] et colorées par le bleu de trypan (0,5%), a permis de mettre en évidence la présence des structures de mycorhizienne, à savoir les arbuscules, les vésicules, les hyphes internes et les hyphes externes. Les endophytes ont été également observés au niveau des racines des espèces végétales qui se trouvent avec l'arganier (figures 3,4 et 5). Le taux de colonisation des racines des espèces végétales étudiées varie d'une espèce à une autre (Tableau 1). Cette colonisation est totale chez l'arganier (F = 100%). Un taux de colonisation (F) élevé est observé également chez Cupressus sp. et Chamaerops humilis respectivement 96 et 53%. L'intensité de mycorhization est élevée chez Chamaerops humilis (36 %), chez l'arganier et Cupressus, avec respectivement 30%, 30.5%. Par ailleurs, les teneurs en arbuscules varient entre 14,74% et 19,52% respectivement au niveau des racines de Chamaerops et de Cupressus. Chez l'arganier, ces teneurs sont de 18,81%. Les teneurs en vésicules n'ont pas dépassé 13 % au niveau des racines de toutes les espèces végétales étudiées. Elle est de 12,36% chez Chamaerops humilis et de 11,2% et 0% respectivement chez l'arganier et Cupressus. La rhizosphère de toutes les espèces végétales étudiés sont renferment des spores des champignons endomycorhiziens, cette présence est plus importante chez l'arganier (45,6%).

Tableau 1. Paramètres de mycorhization au niveau des racines des plantes d'Arganier, Cupres-sus sp., et Chamaerops humilis

	F%	M%	A%	V%	S%
Argania spinosa	100	30	18,81	11.2	45,6
Cupressus sp	96	30,5	19,52	0	43,7
Chamaerops humilis	92	36	14,74	12,36	35,7

ffréquence de mycorhization ; (M) : intensité de mycorhization ; (A) : teneur en arbuscules; (V) : teneur en vésicules; (S) : spores.

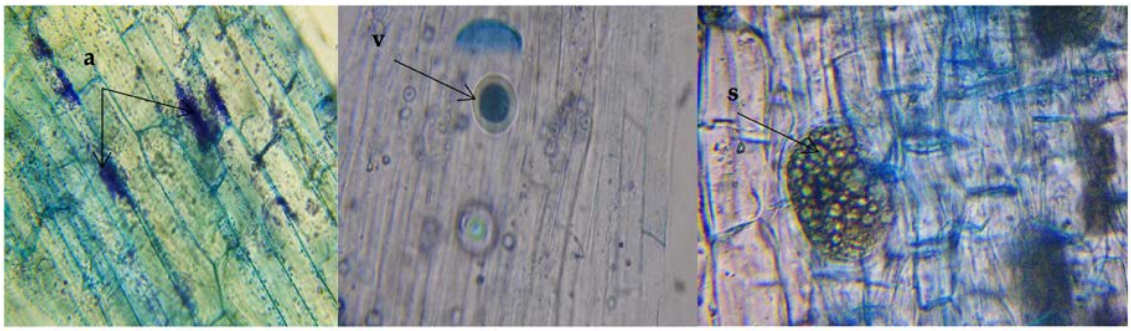


Figure 3 : Différentes structures des champignons endomycorhiziens observées chez les racines de Chamaerops : arbuscules (a), vésicule (v), spore intra radiculaire (s), (G×400).

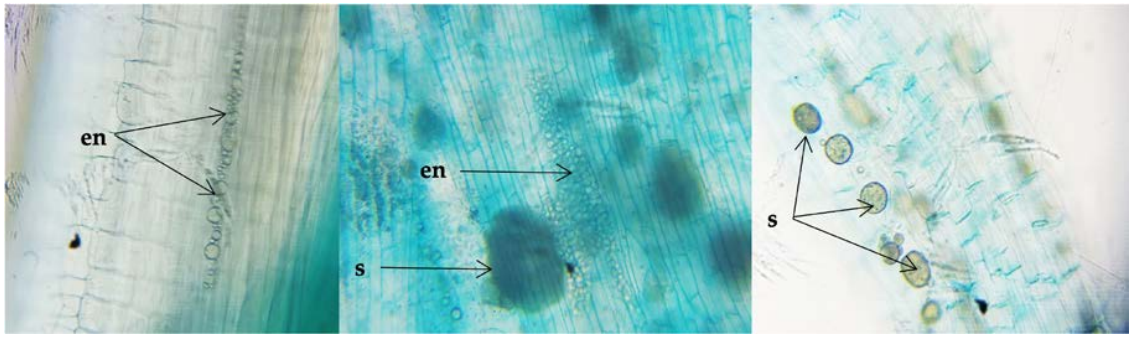


Figure 4 : Différentes structures des champignons endomycorhiziens observées chez les racines de Cupressus sp. : arbuscules (a), endophyte (en), spore intraradiculaire (s), hyphes intracellulaires (h) (G×400).

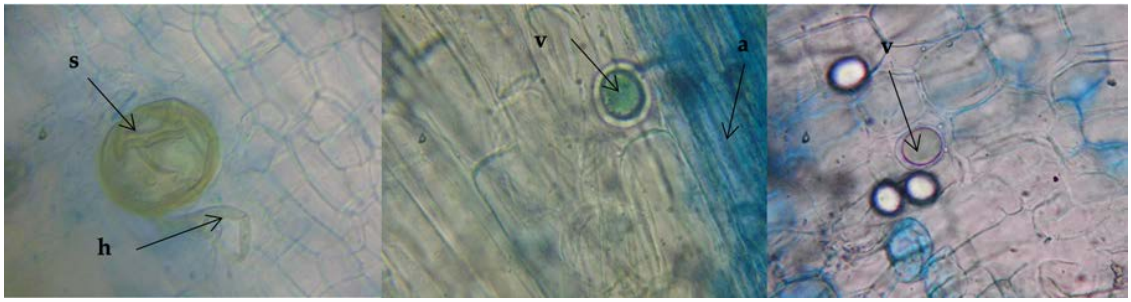


Figure 5 : Différentes structures des champignons endomycorhiziens observées chez les racines d'Arganier : arbuscules (a), vésicule (v), spore intraradiculaire (s), hyphes intracellulaires (h) (G×400).

Au total 18 espèces ont été identifiées à partir des sols rhizosphériques d'arganier à sa-voir : *Rhizophagus intraradices, Acaulospora denticulata, Claroideoglomus, luteum, Glomus macrocarpum, Claroideoglomus etunicatum, Glomus aggregatum, Acaulospora foveata, Glomus versiforme, Funneliformis geosporum, Acaulospora scorbiculta, Acaulospora capsicula, Glomus macrocarpum, Acaulospora mellea, Acaulospora morrowiae, Glomus versiforme, Glomus fecundisporum, Acaulospora delicata, Scutellospora calospora , Claroideoglomus claroideum . Pour les sols rhizosphériques de Cupressus sp. 15 espèces ont été isolées : Scutellospora spiniosissima, Ambispora leptoticha, Acaulospora denticulata, Glomus macrocarpum, Rhizo-phagus intraradices, Glomus microcarpum, Glomus aggregatum, Claroideoglomus etunicatum, Glomus versiforme, Scutellospora calospora, P. robiginia, Acaulospora paulinae, Acaulospora scorbiculta, Acaulospora mellea, Acaulospora delicata. Treize (13) espèces ont été isolées à partir des sols rhizosphèriques de Chamaerops humilis: Glomus geosporum, Gigaspora margarita, Claroideoglomus lamellosum, Scutellospora fulgida, Glomus macrocarpum, Acaulospora foveata, Claroideoglomus etunicatum, Acaulospora denticulata, Glomus microcarpum, Rhizophagus intraradices, Glomus sp., Scutellospora calospora, Glomus aggregatum .*

DISCUSSION

La littérature révèle qu'il s'agit de la première étude rapportant des champignons my-corhiziens arbusculaires associées aux arganeraies dans la région d'Ouezzane (Maroc). En effet plusieurs travaux ont été menées sur la diversité des champignons mycorhiziens arbusculaires des arganeraies du sud-ouest du Maroc [13, 14, 29] . Peu d'études exhaustives ont été réalisées sur la diversité des CMA associés à l'arganier du nord-est du Maroc [18-30]. La présente étude s'est concentrée sur l'identification des symbiotes my-corhiziens observés dans la rhizosphère des arganiers de la région d'Ouezzane (Maroc). Cette station a été signalée pour la première fois. L'étude a permis de mettre en évidence la présence de CMA dans la rhizosphère d'arganier, Cupressus et Chamaerops de la région d'Ouezzane. Elle a permis de distinguer des hyphes, des vésicules, des spores et des arbuscules. Ces structures ont été observées dans diverses études sur l'arganier de différentes régions du Maroc [14, 29, 17,30] et choisies pour confirmer la mycorhization chez plusieurs espèces végétales [31, 32, 33,34]. En effet, les taux de mycorhization ont atteint des fréquences maximales de 100% pour les racines des plantes d'arganier ; chez les racines de Chamaerops et de Cupressus, les fréquences de mycorhization sont respecti-vement 92% et 96%. Les intensités de mycorhization sont relativement faibles varient entre 30% et 36%. Sellal et al. [29] ont montré une forte de colonisation des racines des chez arganiers du sud-ouest du Maroc, avec une fréquence de mycorhization des racines d'arganier qui varie entre 90% et 100%. Ce taux de mychorization important a été signalée également par Maazouzi et al.[30] qui ont montré une fréquence de mycorhization qui varie entre 64% et 100% et une intensité de mycorhization comprise entre 30,77% et 66% chez les arganiers de Béni Snassen (Jebel Takermine), de Jbel Aklim Alkbir qui pré-sentaient une fréquence et une intensité de mycorhization élevées respectivement allant de 88 % à 100 % et entre 39,4 % et 73,4 %. De même Ganoudi et al., [18] ont montré également que les fréquences de mycorhization ont été toujours élevées (80 à 100%) cher les arganiers des régions du nord-est (Aklim/Benisnassen), du nord-ouest (Rabat/Oued Cheratt) et du sud-ouest (Agadir, Ait Melloul, Essaouira, Ouled Taima, Talouine et Ta-roudant). De nombreux travaux de recherches ont révélé des résultats variables des paramètres de l'infection mycorhizienne des racines des arganiers, en relation avec plusieurs facteurs tels que les propriétés du sol, les espèces végétales et fongiques, le nombre de propagules dans le sol et la sporulation, la saison, le climat [35, 36, 37] et le dépôt minéral, qui peuvent ainsi contribuer à la variation dans le niveau de colonisation d'un site à un autre [35].

L'étude des spores isolées a permis de noter la présence de18 morphotypes de spores isolés à partir des sols rhizosphériques d'arganier, 15 et 13 morphotypes de champignons endomycorhiziens ont été isolées respectivement à partir des sols rhizosphériques de Cupressus et Chamaerops, ces morphotypes réparties en 9 genres : Rhizophagus, Acualospora, Claroideoglomus, Glomus, Funneliformis, Scutellospora, Ambispora, Pacispora et Gigaspora. Le plus grand nombre d'espèces de CMA associées aux arganeraies a été rapporté par Sellal et al. (29], ayant pu identifier 39 morphotypes d'endomycorhizes des spores

fongiques, représentant sept genres : Glomus (15 espèces), Scutellospora (3 espèces), Entrophospora (4 espèces), Pacispora (2 espèces), Gigaspora (4 espèces), Acaulospora (10 espèces) et Ambispora (1 espèce). Le genre Glomus est très répandu et compte le plus grand nombre d'espèces. Ces morphotypes répartis dans les sols rhizosphèriques de 15 arganeraies (Elkhsass, Smimou, Ait Baha, Tamanar, Essaouira, Taroudante (Elkodya), Ighrm, Guelmim, Immsouane, Anzi, Tiznit, Taghazoute, Ait Melloul, Bouizakrane et Oulad Teima). Presque le même nombre de morphotypes de spores de CMA (31) a été trouvé dans la rhizosphère de Ceratonia siliqua se développant dans différentes zones écologiques (Afourar, Ksiba Khénifra, Taroudant et Nador) [32]. Alors que El maati et al. [38] n'ont signalé une faible richesse spécifique (neuf espèces) de communautés indigènes de CMA d'*Argania spinosa*, Acacia gummifera et Ceratonia siliqua au sud-ouest du Maroc. L'humidité relative de l'air et les précipitations sont des facteurs importants pour la densité des spores de champignons endomycorhiziens arbusculaires, en particulier pour les membres des familles des Acaulosporaceae, Diversisporaceae et Glomeraceae, qui étaient positivement corrélées à ces facteurs abiotiques [39]. Les précipitations et la disponibilité de l'eau pourraient entraîner des changements dans les communautés des CMA à l'échelle ré-gionale [40]. L'abondance des spores et la richesse en espèces peuvent également être influencées par les gradients d'élévation [41], la tolérance des champignons mycorhiziens [42], densité végétale [43], productivité et intensité d'utilisation des terres [44].

CONCLUSIONS

Cette étude visait à évaluer le statut mycorhizien arbusculaire des arganiers et les plantes accompagnatrices de la région de Dar Chef, région d'Ouezzane (Maroc). La présence de l'arganier dans cette région a été signalée pour la première fois. Cette étude a révélé la présence d'une large diversité de CMA dans les sols rhizosphériques d'arganier, de Cupressus sp. et de Chamaerops humilis. Par ailleurs, la fréquence de mycorhization était relativement élevée avec la formation de vésicules et d'arbuscules, des endophytes et des spores à l'intérieur des racines. Les spores des CMA pourraient être isolées et multipliées pour constituer un inoculum indigène qui serait utilisé pour la production des plants vigoureux capables une fois transférés dans la nature de s'adapter aux différentes con-traintes biotiques et abiotiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. A Fortin J.A.; Plenchette C., Piché Y. : les mycorhizes L'essor de la nouvelle révolution verte. Ed. Multi Monde Quae. , Québec. 2016 ; p186

2. Barea J, M., Palenzuela, J., Cornejo, P., Sánchez-Castro, I., Navarro-Fernández, C., Lopéz-GarcíaB. , Estrada, R., Azcón N., Ferrol C., Azcón-Aguilarc.: Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain, Journal of Arid Environments, 2011; 75 (12): 1292-1301

3. Meddich, A.. Ecophysiologie des mycorhizes à arbuscules des zones arides : Effet sur la croissance, la nutrition minérale et la tolérance du trèfle (Trifolium alexandrinum) au stress hydrique. Thèse de 3ème cycle présentée à l'Université Cadi Ayyad, 1997; 82 p.

4. El Aymani, I.; Ourras, S., Mouden, N., Chliyeh, M., Selmaoui, K., Msairi, S., Benkirane, R., El Modafar, Ch, Ouazzani Tou-hami, A., Douira, A. : Effect of endomycorrhizal fungi inoculum on agro morphological behavior and productivity of saf-fron (Crocus sativus L.) under water and salinity stress. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun., 2023 ; 71(4) 183-192

5. Azcón-Aguilar, C.; Barea, J.M. Interactions between Mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms. En: Allen M.F. (ed) Mycorrhizal functioning: An integrative plant-fungal process. Chapman & Hall, New York, 1992; pp. 163-198.

6. Osonubi, O.; Mulongoy, K., Awotoye, O., Atayese, M.O. and Okali D.U. : Effects of Ectomycorrhizal and VAM fungi on drought tolerance of four leguminous woody seedlings. Plant and soil, 1991; 136 : 131-143.

7. Basu, S.; Rabara, R.C., Negi, S. : AMF: The future prospect for sustainable agriculture. Physiological and Molecular Plant Pathology,2018; 102: 36-45.

8. Rivaton, D. : Étude des champignons mycorhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. Sciences du Vivant , 2016.

9. Bossou, L-DR. ; Houngnandan, H.B., Adandonon, A., Zoundji, C., Houngnandan, P. Diversité des champignons mycorhi-ziens arbusculaires associés

à la culture du maïs (Zea mays L.) au Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 2019 ; 13(2):597-609.

10. Nouaïm, R.; Chaussod, R. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique desplantes, notamment des ligneux en zones arides. Options Méditerranéennes. 1996; 20: 9–26.

11. Echairi, A., Nouaim, R., Chaussod, R. : Intérêt de la mycorhization contrôlée pour la production de plants d'arganier (Arga-nia spinosa) en conditions de pépinière. Science et Changements Planétaires/ Sécheresse. 2008 ; 19(4):277–281.

12. Kenny, L.; Galiana, A., Bellefontaine, R. : Projet UE/MEDA/ADS. Appui à l'amélioration de la situation de l'emploi de la femme rurale et gestion durable de l'arganeraie dans le sud ouest du Maroc– Thème 2 : Multiplication végétative et sym-bioses racinaires de l'arganier : Optimisation des agrosystèmes à base d'arganier. Agence du développement social (Maroc) et Agropolis (France). Rapport final, 2009; 1-71.

13. El-Mrabet, S. ; Ouahmane, L., Mousadik, A., Msanda, F., Abbas, Y: The effectiveness of arbuscular mycorrhizal inoculation and bio-compost addition for enhancing reforestation with *Argania spinosa* in Morocco. Open J Forest. 2014 ; 4(1):14.

14. Sellal, Z.; Touhami, A.O., Chliyeh, M., Dahmani, J., Benkirane, R., Douira, A. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Argania spinosa* (L.) Skeels in Morocco. Int J Pure ,2016.

15. Sellal, Z.; Ouazzani Touhami, A., Mouden, N., Ouarraqi, El. M., Selmaoui, K., Dahmani, J., Benkirane, R., El Modafar, C.H., Douira, A.. Effect of an endomycorrhizal inoculum on the growth of Argan tree. IJEAB, 2017; 2(2):928–939

16. Soufiani, M.; Aissam, S., Boutaj, H., Ferradous, A., Douira, A., Meddich, A., El Modafar, C. Effectiveness of indigenous ar-buscular mycorrhizal consortium on the growth and mineral nutrition of *Argania spinosa* (L .) skeels. Plant Bios - Inter J Deal Asp Plant Bio, 2022 ; 1–8.

17. Maazouzi, S.; Aoujdad, J., Selmaou,i K., El Gabardi, S., Artib M., Elantry, S., Ouajdi, M., Bellaka, M., Kerdouh, B., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., and Douira, A. Mycorrhizal status and mycorrhizal colonization potential of Rhizospheric soils around introduced and natural Argan trees in Northwest Morocco. Tree Planters' Notes. 2022;64(1):62-71.

18. Ganoudi, M.; Ouallal, I.; El Mekkaoui, A.; Mounir, M.; Ibriz, M.; Iraqi, D. Diversity of Endomycorrhizal Fungi in Argan For-est Stands: Implications for the Success of Reforestation Programs. Forests 2023, 14, 1649.

19. Phillips, J. M. ; Hayman, D. S. Improved procedures forclearing and staining parasitic and arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, Volume, 1970 ; 55: 18-29.

20. Trouvelot, A. ; Kough, J.L., Gianianazzi-pearson, V.. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système radiculaire. Re-cherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In:physiology and genetics aspects of mycorrhizae. (Eds), 1st ESM, INRA Press,Paris, 1986. 217-221.

21. Derkowska, E.; SasPaszt, L.; Sumorok, B.; Szwonek, E.; Gluszek, S.. The influence of mycorrhization and organic mulches on mycorrhizal frequency in apple and strawberry roots. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 2008. 16: 227–242.

22. Gerdeman J.W.; Nicolson T.H., Spores of MycorhizalEndogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 1963; 46: 235-244.

23. Giovannetti, M. ; Gianinazzi-Pearson, V., Biodiversité chez les champignons mycorhiziens arbusculaires. Mycol. Res. 1994 ; 98 (7): 705–715.

24. Błaszkowski J., Tadych M., Madej T.,. champignons mycorhiziens arbusculaires (Glomales, Zygomycota) du désert de Błedowska, Pologne. Acta Soc. Bot. Pol.; 2002 ; 71 (1): 71–85.

25. Schenck, G.S. ; Smith, N.C. ; Espèces supplémentaires nouvelles et non déclarées de champignons mycorhiziens (Endo-gonaceae), de Floride. Mycol. Reprod. avec Permis. de Mycol. Soc. Un m. 1982 ; 77 (4): 566-574.

26. Souza, T., Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Departament of Soil Federal University of Paraiba, UFPB Esperança, PB , Paraíba , Brazil, 2015; 43-63p.

27. INVAM. Species descriptions from reference cultures. International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhi-zal Fungi, West

Virginia University; 2017.

28. Redecker D., Schüßler A., Stockinger H., Stürmer S. L., Morton J..B., Walker C., Un consensus basé sur des preuves pour la classification des champignons mycorhiziens arbusculaires (Glomeromycota). Mycorhize; 2013; 23 (7): 515–531.

29. Sellal. Z.; Touhami, A.O., Dahmani, J., Maazouzi ,S., Mouden, N., Chliyeh, M., Selmaoui, K., Benkirane, R., Douira, A. Distri-bution and abundance of arbuscular mycorrhizal fungui of *Argania spinosa* tree and mycorrhizal infectious potential of rhi-zospheric soil of 15 argania groves in sowthwestern Morocco. Plant Cell Biotechnol Molecular Biol. 2021; 22:1–29.

30. Maazouzi S, Aoujdad J ., Selmaoui1 K., Chliyeh M., Mouden N., Msairi S., Elantry S., Azeroual M., Ouajdi M., Karimi M., Ouazzani Touhami1 A., Douira A.. Mycorrhizal status of *Argania spinosa* (L.) Skeels in northeastern of Morocco. Notulae Scientia Biologicae Volume 15, Issue 2, Article number 11405 ,2023

31. Sghir F, Touati J, Chliyeh M, Touhami AO, Filali A. 2014. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of date palm tree (Phoenix dactylifera) in Tafilalt and Zagora regions (Morocco). 2014;2(6):1–11

32. Talbi Z, El Asri A, Touati J, Chliyeh M, Ait aguil F, Selmaoui K, Sghir F, Ouazzani Touhami A, Benkirane R, Douira A. 2015. Morphological characterization and diversity of endomycorrhizae in the rhizosphere of Carob tree (Ceratonia siliqua) in Morocco. 2015;3(1):196-211. SSN (online): 2320-4257

33. Artib M, Chliyeh M, Touati J, Talbi Z, Selmaoui K, Ouazzani Touhami A, Douira , A . Study of arbuscular mycorrhizal fungi diversity in the rhizosphere of Citrus grown in Morocco. International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry. 2016;5(3):2277-4688.

34. Ourras S, EL Gabardi S, El Aymani I, Mouden N, Chliyeh M, Selmaoui K, Msairi S, Benkirane R, El Modafar Ch, Ouazzani Touhami A, Douira A Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of saff ron (Crocus sativus) plants along with age of plantation in Taliouine region in Morocco Volume ,(2021) 65(2):199-209

35. Bohrer, K., Friese, C.F. and Amon, J.P.. Seasonal Dynamics of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Differing Wetland Habitats. Mycorrhiza, 2004.14(5):329-337

36. Escudero, V.G. and Mendoza, R.E.. Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. Mycorrhiza, 2005, 15: 291-299.

37. Zhao, D. and Zhao, Z. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest Chi-na. Applied Soil Ecology, 2007; 37:118-128.

38. Elmaati, Y.; Msanda, F.; Mousadik, A.E.; Elhamdaoui, A.; El, S.; Ouahmane L, . 2015 . contribution to the characterization of mycorrhizae in the south west of morocco and their effect on growth parameters of *Argania spinosa*. Am. J. Innov. Res. Appl. Sci.| ISSN 2429-5396. 2015.

39. Melo CD., Walker C., Krüger C., Borges PAV., Luna S., Mendonça D., Facteurs environnementaux conduisant les communau-tés fongiques mycorhiziennes arbusculaires associées à la plante ligneuse endémique picconiaazorica sur la forêt indigène des Açores. Ann. Microbiol.; 2019 ; 69 (13): 1309–1327.

40. Zhang J, Wang F, Che R, Wang P, Liu H, Ji B, et al.. Precipitation shapes communities of arbuscular mycorrhizal fungi in Ti-betan alpine steppe. Scientific Reports. 2016;6:23488.

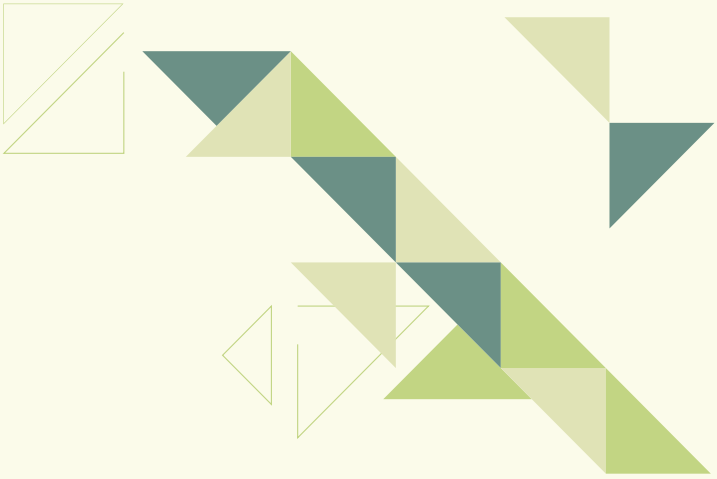
41.Coutinho ES, Fernandes GW, Berbara RL, Valério HM, Goto BT. Variation of arbuscular mycorrhizal fungal communities along an altitudinal gradient in rupestrian grasslands in Brazil. Mycorrhiza. 2015;25(8):627-638.

42. Bainard LD, Bainard JD, Hamel C, Gan Y. Spatial and temporal structuring of arbuscular mycorrhizal communities is dif-ferentially influenced by abiotic factors and host crop in a semiarid prairie agroecosystem. FEMS Microbiology Ecology. 2014;

43. Burrows RL, Pfleger FL. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. Canadian Journal of Botany. 2002;80:120-130.

44. Verbruggen E, Röling WFM, Gamper HA, Kowalchuk GA, Verhoef HA, van der Heijden MGA.. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. The New Phytologist. 2010;186:968-979.

AXE 2
Arganiculture, biotechnologies et amélioration génétique



COMMUNICATIONS AFFICHÉES

Exploring Drought-Induced Antioxidative Traits in *Argania spinosa* : A Path to Climate Resilience

Abdelghani Chakhchar [1,2*], Merieme Soufiani [2], Mouna Lamaoui [3], Abderrahim Ferradous [4], Said Wahbi[5], Abdelhamid El Mousadik [6], Saad Ibnsouda-Koraichi [7], Abdelkarim Filali-Maltouf[8] and Cherkaoui El Modafar [2].

[1] *Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bio-ressources, Environnement et Matériaux, Ecole Normale Supérieure à Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech 40000, Morocco ;*

[2] *Centre Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche Labellisée CNRST (AgroBiotech-URL-CNRST 05), Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Marrakech 40000, Morocco ;*

[3] *Laboratoire Polyvalent en Recherche et Développement, Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, Beni Mellal, Morocco ;*

[4] *Centre Régional de la Recherche Forestière, Marrakech, Morocco ;*

[5] *Laboratoire Agro-Alimentaire, Biotechnologies et Valorisation des Bioressources Végétales, Faculté des Sciences, Université Cadi Ayyad, Marrakech 40000, Morocco ;*

[6] *Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, Morocco ;*

[7] *Laboratoire de Biotechnologie Microbienne et de Molécules Bioactives, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco ;*

[8] *Laboratoire de Microbiologie et Biologie Moléculaire, Centre de Biotechnologie Végétale et Microbienne Biodiversité et Environnement, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat 10000, Morocco ;*

** a.chakhchar@uca.ac.ma ;*

Keywords
Argania spinosa, drought tolerance, ascorbate-glutathione cycle, reactive oxygen species, antioxidants, oxidative stress

ABSTRACT

Drought stress stands out as one of the foremost environmental chal-lenges confronting contemporary agriculture, exerting substantial det-rimental effects on plant growth and developmental processes. In Mo-rocco, these adverse impacts are anticipated to escalate further amid the concurrent challenges posed by climate change and exacerbating water scarcity. The critical demand for sustainable arganiculture (the cultivation of Argane trees) in dry lands underscores the urgent requirement for the rapid identification of drought-tolerant elite *Argania spinosa* trees. In this context, we examined the drought tolerance of two contrasting prove-nances (LKS and ALZ) under severe stress conditions, assessing their an-tioxidative defense mechanisms. A comprehensive analysis involving 24 parameters associated with reactive oxygen species (ROS), oxidative damage, and enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense was conducted, allowing for a comparative evaluation between the two provenances. Regarding the inter-provenance variation under drought stress conditions, the LKS provenance displayed heightened antioxidative capacity characterized by increased activity in the Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH) cycle and elevated levels of Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH), alpha-tocopherol (α-toc), and polyphenols. Conversely, the ALZ provenance exhibited heightened anthocyanin levels and dimin-ished peroxidative stress markers, specifically hydrogen peroxide and malondialdehyde. Significant and positive correlations were observed between the examined ROS and antioxidants.

RÉSUMÉ

Exploration des traits antioxydants induits par la sécheresse chez *Argania spinosa* : une voie vers la résilience climatique.

Le stress hydrique est l'un des principaux défis environnementaux auxquels est confrontée l'agriculture moderne, ayant des effets considérables et néfastes sur

Mots clés
Argania spinosa, tolérance à la sécheresse, cycle ascorbate-glutathione, espèces réactives de l'oxygène, antioxydants, stress oxydatif

la croissance et le développement des plantes. Au Maroc, ces impacts négatifs sont susceptibles de s'aggraver en raison des défis combinés du changement climatique et de l'intensification de la rareté de l'eau. La demande croissante pour une agriculture durable, en particulier pour la culture des arganiers (*Argania spinos*a L.), souligne l'urgence d'identifier rapidement des arganiers tolérants à la sécheresse. Dans ce contexte, nous avons évalué la tolérance à la sécheresse de deux provenances contrastées (LKS et ALZ) dans des conditions de stress sévère, en étudiant leurs mécanismes de défense antioxydante. Une analyse multi-variable impliquant 24 traits associés aux espèces réactives de l'oxygène (ERO), aux dommages oxydatifs, ainsi qu'au système de défense antioxydante enzymatique et non enzymatique a été réalisée, permettant une comparaison approfondie entre les deux provenances. Sous stress hydrique, la provenance LKS a montré une capacité antioxydante accrue, caractérisée par une activité renforcée dans le cycle Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH) et des niveaux élevés d'Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH), d'alpha-tocophérol (α-toc) et de polyphénols. En revanche, la provenance ALZ a présenté des niveaux plus élevés d'anthocyanines et une diminution des marqueurs de stress peroxydatif, notamment le peroxyde d'hydrogène et le malondialdéhyde. Des corrélations significatives et positives ont été observées entre les teneurs en ERO et les activités des antioxydants étudiés.

INTRODUCTION

The Argane tree, *Argania spinosa* L. Skeels, is native to the arid and semiarid regions of southwestern Morocco, symbolizing resilience amid environmental challenges, partic-ularly drought stress. As global climate patterns undergo continual shifts, the necessity for sustainable management and conservation of Argane trees becomes increasingly ap-parent. Operating as a crucial component within arid and semiarid ecosystems, the Argane tree assumes a pivotal role in maintaining ecological balance and offering valuable resources [1]. A fundamental aspect of the Argane tree's adaptive strategies during drought stress lies in its intricate oxidative defense system, a network of mechanisms designed to mitigate the adverse effects of ROS generated during periods of limited water availability [2]. Recently, increased attention has been devoted to comprehending the antioxidant defense mechanisms in plants exposed to drought stress [3-4]. Given the distinctive ecological niche and socio-economic importance of the Argane tree, investi-gating its oxidative defense system under drought stress offers valuable insights to en-hance sustainable conservation strategies and implement effective land management practices for the preservation of this distinctive species amidst changing climatic condi-tions. This study aimed to evaluate the Argane tree's oxidative defense system in two contrasting provenances and elucidate its antioxidant adaptive strategy under drought stress conditions, with potential broader implications for enhancing the resilience of ecosystems in arid regions.

MATERIALS AND METHODS

Two-year-old *Argania spinosa* seedlings, representing two contrasting provenances ALZ (Aoulouz city characterized by semi-arid bioclimate) and LKS (Lakhssas city characterized by arid bioclimate), were cultivated and randomly arranged in a growth chamber under controlled environmental conditions (day temperature of 28±1 °C, night temperature of 25±1 °C, long-day 16:8 photoperiod, 65-70% relative humidity, and an average maximum photosynthetically active radiation (PAR) of 400 µmol m^{-2} s^{-1}). These seedlings were subjected to severe drought stress (25 % of field capacity) for six weeks. The assessment of pro-oxidants, oxidative damage, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants was conducted in both control and stressed Argane seedlings (Table 1).

The dataset underwent an analysis of variance (ANOVA) to assess the influence of drought stress on the examined antioxidant traits. Additionally, Principal Component Analysis (PCA) was employed to discern and differentiate the two Argane provenances based on discriminatory variables. All statistical analyses were performed using SPSS, version 25 for Microsoft Windows.

Table 1. The studied biochemical traits related to ROS, oxidative damage, and enzymatic and non-enzymatic antioxidants..

Trait	Abbreviation / Unit of measurement	Trait	Abbreviation / Unit of measurement
Superoxide radical	$O_2^{\cdot-}$; µmol/g DW	Glutathione reductase	GR; nmol/min/mg of protein
Hydrogen peroxide	H_2O_2; nmol/g DW	Glutathione peroxidase	GP; nmol/min/mg of protein
Carbonyl groups	CG; nmol/mg of protein	Monodehydroascorbate reductase	MDHA R; nmol/min/mg of protein
Malonyldialdehyde	MDA; nmol/g DW	Dehydroascorbate reductase	DHA R; nmol/min/mg of protein
Pheophytinized chlorophyll	PPC ; %	Ascorbic acid	AsA; µmol/g DW
Superoxide dismutase	SOD; nmol/min/mg of protein	A-Tocopherol	α-toc; µmol/g DW
Catalase	CAT; nmol/min/mg of protein	Reduced glutathione	GSH; µmol/g DW
Peroxidase	POD; nmol/min/mg of protein	Polyphenols	PP; mg of gallic acid equivalents/g of DW
Polyphenoloxidase	PPO; nmol/min/mg of protein	Anthocyanins	mg cyanidin-3-glucoside equivalent g^{-1}
Lipoxygenase	LOX; nmol/min/mg of protein	Protein thiols	PrT; µmol/g DW
Glutathione S-transferase	GST; nmol/min/mg of protein	Non-protein thiols	NprT; µmol/g DW
Glutathione peroxidase	GP; nmol/min/mg of protein	Total thiols	TT; µmol/g DW

3. RESULTS

The findings indicated a significant increase in the activity of enzymatic antioxidants under drought-stressed conditions, encompassing superoxide dismutase, catalase, pe-roxidase, polyphenoloxidase, glutathione peroxidase, glutathione S-transferase, and ascorbate-glutathione cycle enzymes. Additionally, there was an increase in the content of non-enzymatic antioxidants, including reduced glutathione, ascorbic acid, α-tocopherols, polyphenols, anthocyanins, and group thiols. The Argane trees' capacity to substantially enhance their antioxidant system, mitigating cellular damage induced by ROS produc-tion, is a noteworthy attribute associated with drought tolerance. The study also recorded significant and positive correlations between the investigated ROS and antioxidants (Figure 1). In terms of inter-provenance variation under drought stress conditions and according to PCA, the LKS provenance exhibited superior antioxidative capacity marked by heightened Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH) cycle activity and increased levels of AsA-GSH, α-toc, and polyphenols. In contrast, ALZ exhibited a strong foliar accumulation of anthocyanins and a significantly lower content of both hydrogen peroxide and mal-onyldialdéhyde (Figure 2).

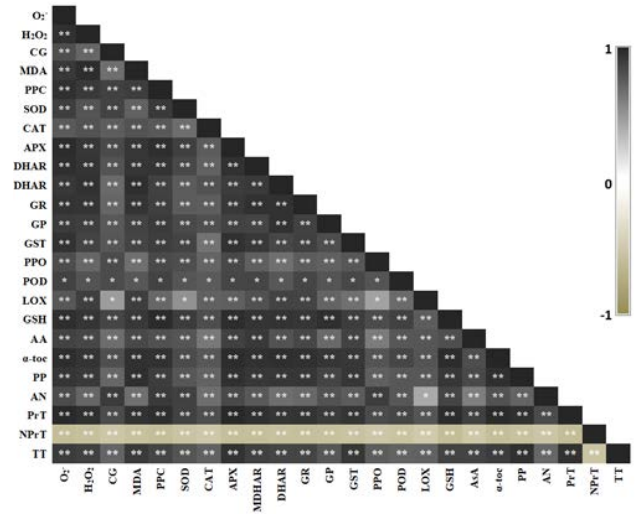


Figure 1. Color rectangles represent correlation coefficients ; black indicates a positive correlation coefficient, and yellow indicates a negative correlation coefficient. Significant differences at p≤ 0.05 are indicated by one white asterisk (*) while at p≤ 0.01 are marked by two white asterisks (**).

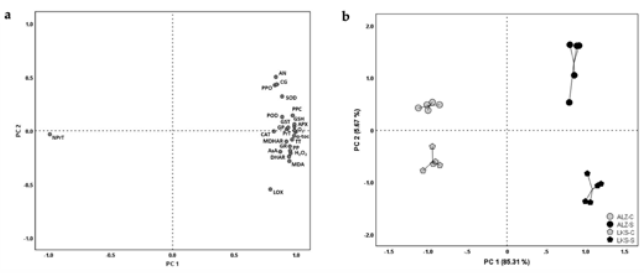


Figure 2. 2D scatterplots showing the distribution of all studied oxidative stress and antioxi-dants parameters (a) and *A. spinosa* provenances under control and drought stress condition (b) according to the two main principal components obtained by PCA in ALZ and LKS *A. spinosa* provenances

DISCUSSION

During periods of drought stress in plants, there is a disruption in the equilibrium between the production and removal of ROS. When the generation of ROS exceeds the capacity of the ROS scavenging system, it results in the accumulation of ROS and sub-sequent oxidative damage. In our investigation, we observed a considerable production of O2-, H2O2, MDA, carbonyl groups, and pheophytinized chlorophyll in the leaves of drought-stressed *A. spinosa*. These findings are consistent with our earlier studies on four provenances of the Argane tree [2, 5-6] and align with results from other researchers examining various tree species, such as olive [7], peach [8], and apple [9]. The key oxi-dative enzymes, encompassing SOD, CAT, APX, GR, MDHAR, DHAR, GST, GP, POD, and PPO, collectively contribute to the proficient regulation of ROS production through highly efficient scavenging mechanisms in plants. In *A. spinosa* seedlings subjected to drought stress (ALZ and LKS), our results unveiled heightened activities of all scrutinized enzymatic antioxidants. These findings substantiate the protective response of *A. spinosa* against ROS induced by drought conditions [2]. The upregulation of the Ascor-bate-Glutathione (ASC-GSH) metabolism, along with other related antioxidant enzymes, functions as an efficient mechanism for scavenging ROS under conditions of drought stress. This antioxidant response has been observed in several tree species, including olive [7, 10], almond [11], peach [12], and cotton [13]. The non-enzymatic ROS scavenging systems in plants predominantly comprise compounds such as AsA, GSH, α-toc, thiols, and polyphenols. These compounds can directly engage with ROS or act as substrates for enzymes within the ROS scavenging mechanism [2]. The discernment of in-ter-provenance differences, accomplished through ANOVA and PCA analyses, facilitated the quantitative discrimination between the two provenances of the Argane tree.

Traits with high adaptive potential are frequently under the influence of multiple genes (polygenic) and are significantly impacted by environmental factors. In this context, our comprehensive approach, considering multiple traits to assess the impact of drought stress on the oxidative defense mechanism in *A. spinosa*, holds relevance for comprehending abiotic responses to climate change within the agro-fruit-forest system of *A. spinosa*. Additionally, it proves valuable for guiding domestication and conservation programs, offering a robust tool for socio-economic and environmental management.

CONCLUSION

Drought stress induced distinctive responses in both *A. spinosa* provenances, marked by discernible variations in oxidative stress levels and the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems. These variations ultimately influence the Argane tree's drought tolerance. The recorded significant and positive correlations among ROS content, enzymatic antioxidant activity, and non-enzymatic antioxidant content in *A. spinosa* seedlings suggest a potential synergistic action within its oxidative defense system under drought stress conditions. Analysis of 24 biochemical parameters related to oxidative stress and antioxidant defense unveiled noteworthy inter-provenance variations in the response of *A. spinosa* seedlings to drought stress. LKS provenance was distinguished by enhanced enzymatic protection and increased cellular antioxidant pool, such as AsA-GSH content and AsA-GSH redox.

Acknowledgments : This research was funded by Académie Hassan II des Sciences et Techniques and Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Morocco.

REFERENCES

1.Chakhchar, A.; Ben Salah, I.; El Kharrassi, Y.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C.; Lamaoui, M. Agro-Fruit-Forest Systems Based on Argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results. Front Plant Sci. 2022, 12:783615.

2. Chakhchar, A.; Lamaoui, M.; Aissam, S.; Ferradous, A.; Wahbi, S.; El Mousadik, A.; Ibnsouda Koraichi, S.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C. Physiological and biochemical mechanisms of drought stress tolerance in the argan tree. In Plant metabolites and regulation under environmental stress, Ahmad, P.; Ahanger, M.A.; Singh, V.P.; Tripathi, D.K.; Alam, P.; Alyemeni, M.N. (ed). 2018 Elsevier, Academic Press.

3. Laxa, M.; Liebthal, M.; Telman, W.; Chibani, K.; Dietz, KJ. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. An-tioxidants 2019, 8:94.

4. Rajput, V.D.; Harish; Singh, R.K.; Verma, K.K.; Sharma, L.; Quiroz-Figueroa, F.R.; Meena, M.; Gour, V.S.; Minkina, T.; Su-shkova, S.; Mandzhieva, S. Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special refer-ence to abiotic stress. Biology 2021, 10:267.

5. Chakhchar, A.; Wahbi, S.; Lamaoui, M.; Ferradous, A.; El Mousadik, A.; Ibnsouda-Koraichi, S.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C. Physiological and biochemical traits of drought tolerance in *Argania spinosa*. J. Plant Interact 2015, 10:252-261.

6. Chakhchar, A.; Lamaoui, M.; Aissam, S.; Ferradous, A.; Wahbi, S.; El Mousadik, A.; Ibnsouda-Koraichi, S.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C. Differential physiological and antioxidative responses to drought stress and recovery among four con-trasting *Argania spinosa* ecotypes. J. Plant Interact, 2016, 11:30-40.

7. Guerfel, M.; Ouni, Y.; Boujnah, D.; Zarrouk, M. Photosynthesis parameters and activities of enzymes of oxidative stress in two young 'Chemlali' and 'Chetoui' olive trees under water deficit. Photosynthetica 2009, 47: 340-346.

8. Zhang, B.; Du, H.; Yang, S.; Wu, X.; Liu, W.; Guo, J.; Xiao, Y.; Peng, F. Physiological and transcriptomic analyses of the effects of exogenous lauric acid on drought resistance in peach (Prunus persica (L.) Batsch). Plants 2023, 12:1492.

9. Wang, Z.; Li, G.; Sun, H.; Ma, L.; Guo, Y.; Zhao, Z.; Gao, H.; Mei, L. Effects of drought stress on photosynthesis and pho-tosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. Biol Open 2018, 7: bio035279.

10. Sofo, A.; Dichio, B.; Xiloyannis, C.; Masia, A. Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. Funct Plant Biol 2005, 32:45-53.

11. Gohari, S.; Imani, A.; Talaei, A.R.; Abdossi, V.; Asghari, M.R. Physiological responses of almond genotypes to drought stress. Russ J Plant Physiol 2023, 70:141.

12. Haider, M.S.; Kurjogi, M.M.; Khalil-ur-Rehman, M.; Pervez, T.; Songtao, J.; Fiaz, M.; Jogaiah, S.; Wang, C.; Fang, J. Drought stress revealed physiological, biochemical and gene-expressional variations in 'Yoshihime' peach (Prunus Persica L) cultivar. J Plant Interact 2018, 13:83-90.

13. Zafar, M.M.; Chattha, W.S.; Khan, A.I.; Zafar, S.; Subhan, M.; Saleem, H.; Ali, A, Ijaz, A.; Anwar, Z.; Qiao, F.; Shakeel, A.; Seleiman, M.F.; Wasonga, D.O.; Parvaiz, A.; Razzaq, A.; Xuefei, J. Drought and heat stress on cotton genotypes suggested agro-physiological and biochemical features for climate resilience. Front Plant Sci 2023, 14:1265700.

Exploitation de la rhizosphère de l'Arganier pour le biocontrôle du botrytis cinerea chez la tomate *(Solanum Lycopersicum)* dans la région du Souss Massa: Approche de lutte biologique

FIRAOUNI Abderrahim[1,2*], QESSAOUI Redouan[2], CHAFIKI Salah Eddin[2,3], CHABBI Naima[2,5], MAHROUG Abdelmalek[2,4], AITABD Naima[2], TAHIRI Abdeghani[2], ABERKANI Kamal[1], BOUHARROUD Rachid[2].

[1] *Multidisciplinary Faculty of Nador, University Mohammed First P.O.Box 300, Selouane, Morocco*

[2] *Regional Center for Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, PoB 415 Rabat Principale, Rabat 10090, Morocco*

[3] *AgroBioSciences Plant Stress Physiology Laboratory (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Benguerir, 43150 Morocco*

[4] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences - Agadir, Ibn Zohr University, BP 8106, 80000 Agadir, Morocco.*

[5] *Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Cadi Ayyad University (UCA), Marrakech, Morocco*

** abderrahimfir@gmail.com*

Mots clés
Actinomycètes, Arganier, biocontrôle, activité enzymatique, agriculture durable

RÉSUMÉ

La tomate est l'un des légumes les plus importants et largement consommés dans le monde. Cependant, sa culture est souvent menacée par des ravageurs et des maladies. Pour lutter contre ces menaces, l'utilisation de pesticides chimiques est courante, ce qui soulève des préoccupations en matière de sécurité alimentaire et d'environnement. Cette étude se concentre sur l'isolement, la caractérisation et l'application d'isolats de bactéries, d'actinomycètes à partir du sol rhizosphérique de l'Arganier. Les résultats montrent que 15 isolats d'actinomycètes ont été isolés et caractérisés en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques, de leur coloration de Gram, de leurs tests catalase et oxydase, de leur capacité d'hydrolyse d'amidon, et d'autres tests biochimiques. Efficacité de ces isolats a été évaluée en confrontant leur potentiel de biocontrôle contre les pathogènes *Botrytis cinerea*. Les résultats ont révélé des différences significatives dans l'efficacité des isolats d'actinomycètes contre *Botrytis cinerea*. Les isolats AC1, AC9, AC11 et AC14 se sont particulièrement distingués en présentant un taux d'inhibition de plus de 25%, soulignant les perspectives de leur utilisation dans l'agriculture et le biocontrôle. Les profils enzymatiques des isolats ont été évalués, révélant une gamme variée d'activités enzymatiques. Ces résultats mettent en lumière le fort potentiel de ces isolats bactériens en tant qu'agents biologiques pour le contrôle efficace des maladies dans l'agriculture, notamment dans la lutte contre Botrytis cinerea sur les cultures de tomates.

Keywords
Actinomycetes, Argan tree, biocontrol, enzymatic activity, sustainable agriculture

ABSTRACT

Exploitation of the Argan tree rhizosphere for the biocontrol of Botrytis cinerea in tomato (Solanum lycopersicum) in the Souss Massa region : A biological control approach

Tomato is one of the most important and widely consumed vegetables in the world. However, its cultivation is often threatened by pests and diseases. To combat these threats, the use of chemical pesticides is common, raising concerns about food safety and the environment. This study focuses on the isolation, characterization, and application of bacterial isolates, particularly actinomycetes, from the rhizospheric soil of the Argan tree. The results show

that 15 isolates of actinomycetes were isolated and characterized based on their macroscopic characteristics, Gram staining, catalase and oxidase tests, starch hydrolysis capacity, and other biochemical tests. The effectiveness of these isolates was evaluated by assessing their biocontrol potential against the pathogen Botrytis cinerea. The results revealed significant differences in the effectiveness of the actinomycete isolates against Botrytis cinerea. The isolates AC1, AC9, AC11, and AC14 stood out particularly, showing an inhibition rate of more than 25%, highlighting their potential for use in agriculture and biocontrol. The enzymatic profiles of the isolates were evaluated, revealing a wide range of enzymatic activities. These results highlight the strong potential of these bacterial isolates as biological agents for the effective control of diseases in agriculture, particularly in combating Botrytis cinerea on tomato crops.

INTRODUCTION

La production agricole mondiale est constamment menacée par un ensemble de maladies et de ravageurs, dont certains sont responsables de pertes économiques considérables. Parmi ces menaces, la pourriture grise causée par le botrytis (*Botrytis cinerea*) qui s'est avéré particulièrement destructeur pour la culture de la tomate *(Solanum lycopersicum)*. Ce pathogène peut entraîner des pertes de rendement significatives et nécessite souvent l'utilisation de pesticides chimiques pour le maîtriser (Nakajima and Akutsu, 2014). Cependant, l'utilisation excessive de ces produits chimiques a soulevé des préoccupations environnementales et de santé publique, soulignant le besoin d'approches alternatives et durables pour la protection des cultures. Les microorganismes, en particulier certaines bactéries, ont émergé comme des candidats prometteurs dans la lutte biologique contre ces pathogènes (Nassira, 2012) . La rhizosphère des plantes est un réservoir naturel de divers microorganismes, dont des actinomycètes qui ont montré un potentiel en tant qu'agents de biocontrôle (Lugtenberg and Kamilova, 2009). Ce projet de recherche se concentre sur l'isolement et la caractérisation de bactéries actinomycètes provenant de la rhizosphère de l'arganier. Ces bactéries sont évaluées pour leur efficacité potentielle dans la lutte contre le botrytis. Le présent projet vise à fournir une évaluation de l'efficacité de ces bactéries contre les pathogènes ciblés, en utilisant des tests de confrontation in vitro et in vivo. En outre, ce travail de recherche se penche sur les mécanismes d'action sous-jacents qui permettent à ces microorganismes de réduire l'incidence de ces maladies dévastatrices. Cette étude contribue ainsi à l'élargissement des connaissances sur l'importance de la rhizosphère de l'Arganier dans le domaine de la lutte biologique et à l'exploration de solutions durables pour la protection des cultures de tomate, tout en minimisant l'impact environnemental et en préservant la santé publique.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Isolement et caractérisation des bactéries antagonistes

Les isolats bactériens d'Actinomycètes ont été isolés à partir de la rhizosphère de l'Arganier dans le domaine expérimental de l'INRA Layoune, dont les coordonnées sont [27.1961117021247, -13.342333506632324]. Les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 25 cm dans le sol, en utilisant la méthode des dilutions (Kumari et al., 2018). Les isolats obtenus ont été soumis à un processus de purification et de caractérisation. La caractérisation a inclus des tests de Gram, de catalase et d'oxydase, ainsi que des observations macroscopiques et microscopiques. De plus, l'hydrolyse de l'amidon et hydrolyse de la gélatine.

Évaluation in vitro du potentiel antagoniste des bactéries isolées

Pour la confrontation contre le botrytis cinerea, les isolats ont été déposés à une distance de 30 mm du centre de chaque boîte de Pétri, avec quatre répétitions par bactérie, sur un milieu de culture composé de 50 % de PDA (Potato Dextrose Agar) et 50 % de gélose nutritive. Après l'incubation à une température de 30°C pendant 7 jours, un disque de champignon, préalablement repiqué et incubé à 20 °C pendant 7 jours, a été disposé au centre de chaque boîte de test puis incubée dans une étuve pendant 8 jours à une température de 20°C. Ensuite, des mesures de la longueur de propagation des mycéliums en millimètres ont été effectuées tous les deux jours d'incubation sur le milieu de culture afin d'évaluer la croissance du champignon. Le potentiel antagoniste de chacune des deux bactéries

a été évalué en calculant le pourcentage d'inhibition par la formule suivante : ***%I = (1- Cn/Co) *100*** avec %I : pourcentage d'inhibition ; ***Cn*** : croissance du champignon témoin ; ***Co*** : croissance du champignon en control (Lahmyed et al., 2021).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de test (Figure 1et 2) démontrent que parmi les isolats, AC1, AC9, AC11 et AC14 ont particulièrement attiré l'attention en présentant un taux d'inhibition significatif de Botrytis. Ces observations dénotent un fort potentiel de biocontrôle au sein de certains isolats d'actinomycètes spécifiques. La corroboration de ces résultats avec d'autres études similaires (Lahmyed et al., 2021) renforce la validité et la portée de ces constatations. Une analyse comparative avec des travaux antérieurs permet de contextualiser ces découvertes dans le paysage plus large de la recherche sur le biocontrôle. En effet, la démarcation de certains isolats comme étant particulièrement efficaces contre Botrytis suggère la présence de mécanismes spécifiques de suppression du pathogène. Cette constatation revêt une importance cruciale des microorganismes rhizosphériques de la plante d'Arganier dans le domaine de l'agriculture durable, indiquant que ces isolats d'actinomycètes pourraient être des agents potentiels de protection des cultures de tomates contre Botrytis. Cette approche de biocontrôle offre une alternative prometteuse aux méthodes classiques et conventionnelles de lutte contre les maladies, en contribuant à des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement et durables. Ces résultats ouvrent ainsi la voie à des recherches futures visant à exploiter pleinement le potentiel de ces actinomycètes dans la protection des cultures agricoles.

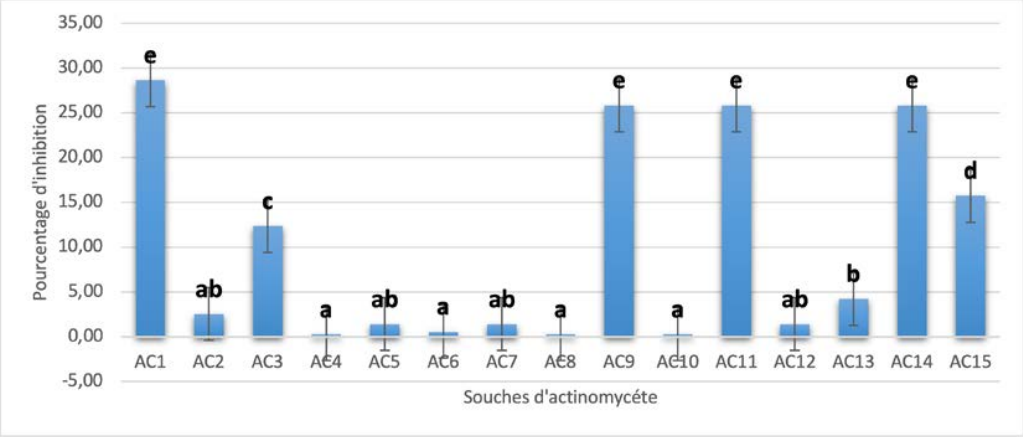


Figure 1 l'histogramme représente les pourcentages d'inhibition des isolats d'actinomycète. Les lettres a, b, c, d et e sont utilisées pour indiquer les groupes qui ne sont pas significativement différents les uns des autres. Chaque lettre représente un groupe distinct.

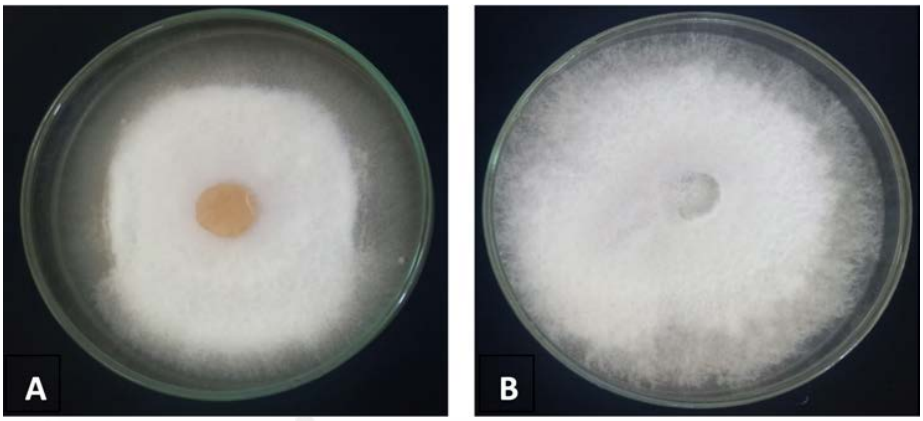


Figure 2 Activité antagoniste de souche d'actinomycète contre le botrytis cinerea, (A): test ; (B) Témoin (Firaouni, 2023 INRA Agadir, Maroc)

RÉFÉRENCES

Kumari, P., Meena, M., Upadhyay, R.S., 2018. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) isolated from the rhizosphere of Vigna radiata (mung bean). Biocatal. Agric. Biotechnol. 16, 155–162.

Lahmyed, H., Bouharroud, R., Quessaoui, R., Ajerrar, A., Amarraque, A., Aboulhassan, M.A., Chebli, B., 2021. Actinomycete as biocontrol agents against tomato gray mold disease caused by Botrytis cinerea. Kuwait J. Sci. 48.

Lugtenberg, B., Kamilova, F., 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annu. Rev. Microbiol. 63, 541–556.

Nakajima, M., Akutsu, K., 2014. Virulence factors of Botrytis cinerea. J. Gen. Plant Pathol. 80, 15–23. https://doi.org/10.1007/s10327-013-0492-0

Nassira, T., 2012. Recherche de bactéries stimulatrices de la croissance de la tomate et leur application dans la lutte biologique. (PhD Thesis). Université de Béjaia-Abderrahmane Mira.

Evolution du système racinaire des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) de trois âges différents après transplantation

Miloudi Soukaina[1,2], Aaba Latifa[2], Ait Souabni Siham[2], Ferradous Abderrahim[2], Abbad Abdelaaziz[1] et El Mouden Hassan[1].

[1] *Departement de biologie, Faculté des Sciences Semlalilia, Université Cadi Ayyad*

[2] *Centre d'Innovation, Recherche et Formation Forestière de Rabat (CIRF), Centre Régional de Marrakech CIRFM*

Mots clés
Arganier (Argania spinosa), Plants, Racine, Enroulement, Transplantation

RÉSUMÉ

La qualité des plants produits en pépinière forestière est l'un des paramètres déterminant dans la réussite des reboisements dans les zones arides. Certaines anomalies observées au niveau du système racinaire des plants d'arganier (*Argania spinosa*) posent des questions sur l'influence de ces défauts sur l'évolution du système racinaire après transplantation. Dans cette étude des plants d'arganier d'une année, deux et trois ans ont été observés et examinés avant et après transplantation pour suivre l'évolution du système racinaire et déterminer son influence sur la croissance des plants. 100% des plants ont montré des enroulements au niveau du système racinaire avant transplantation. Après 12 mois de croissance, les plants ont réussi à émettre de nouvelles racines qui ont permis de remplacer celles enroulées ce qui a permis d'assurer la croissance des plants. Les plants âgés de 3 ans ont montré plus de vigueur que ceux âgés d'un an et de deux ans.

Keywords
Argan tree (Argania spinosa), Plants, Root, Coiling, Transplantation

ABSTRACT

Evolution of the root system of argan (*Argania spinosa* L. Skeels) seedlings of three different ages after transplanting

Plant quality in forest nurseries is one of the determining factors in the successful reforestation of arid zones. Some abnormalities observed in the root system of argan (*Argania spinosa*) seedlings are leading to a discussion on the influence of these defects on the evolution of the root system after transplanting. In this study, one, two- and three-year-old argan seedlings were observed and examined before and after transplanting to monitoring the evolution of the root system and determining its influence on seedling growth. 100% of the plants showed coiling of the root system before transplanting. The plant was able to emit new roots after 12 months growth, replacing the coiled roots and ensuring the plants continued growth. The 3-year-old plants showed greater vigor than the one-year-old and two-year-old plants.

INTRODUCTION

La production de plants d'arganier en pépinière a connu une évolution au cours des dernières décennies, commençant par l'utilisation de mottes pressées en passant par le sachet en polyéthylène pour arriver à la production en conteneur hors sol. Le souci majeur des pépiniéristes est d'éviter les déformations racinaires qui entravent la reprise des plants d'arganier en périmètres de reboisement (Nicoli et al. 2023). L'un des défauts majeurs observé chez l'arganier, est l'enroulement des racines ou ce qu'on appelle communément le chignon (Lamond et al. 1983). En effet, chez l'arganier, avant la levée de la graine, la racine atteint déjà le bas du conteneur. L'enroulement est inévitable surtout avec un long séjour en pépinière (Le Maire et al. 2003).

L'objectif de ce travail est de suivre le développement des systèmes racinaires de plants d'arganiers de

trois âges différents pour évaluer les effets de ces enroulements sur le développement des plants après transplantation.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les plants utilisés dans cet essai sont de trois âges :

-Les plants de 8 mois produits sur conteneur rigide de 500 ml avec une profondeur de 18 cm, dans un substrat composé d'un mélange de tourbe et terreau dans des proportions 4 :1.

-Les plants de deux ans dans les mêmes conditions que les précédents

-Les plants de trois ans sur sachet de polyéthylène d'une capacité de 2 litres sur substrat composé d'un mélange de bio compost et terreau dans des proportions 1 :1.

Après avoir extrait les plants de leurs conteneurs, le système racinaire est examiné et photographié.

Les plants sont ensuite transplantés dans des conteneurs d'une capacité de 80 litres et d'une profondeur de 50 cm, remplie de substrat meuble composé de tourbe : sable : terreau dans des proportions égales.

Après une année de croissance, les plants ont été extraits délicatement à l'aide d'un jet d'eau pour éviter l'endommagement des systèmes racinaire. Les plants ont été ensuite réévalués visuellement et des paramètres biométriques ont été mesurés : Hauteur, diamètre au collet et les poids frais et secs des parties aériennes et racinaires.

Des analyses de la variance ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS 21.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tous les plants examinés avant transplantation présentent un enroulement de leurs racines (Planche 1). Pour les plants élevés sur conteneur à ouverture basale (1 année et deux ans), les racines s'enroulent généralement vers le haut, alors que les plants de 3 ans sur sachet de polyéthylène montrent un chignon.

Une année après transplantation, 95 % des plants ont repris leur croissance et ont émis de nouvelles racines quel que soit la nature et les défauts du système racinaire avant transplantation (Tableau 2). En effet, la réussite des plantations d'arganier est surtout tributaire de la conduite après transplantation en assurant un bilan hydrique favorable autour de la rhizosphère des plantes (Wifaya et al. 2018 ; Harrouni et al. 1995).

Planche 1 : Racines de plants d'arganier de trois âges avant et après transplantation.



L'analyse de la variance pour le critère âge des plants a montré que les différences sont significatives pour tous les paramètres sauf la longueur de la partie racinaire. En effet, la profondeur du conteneur étant fixe, toutes les racines ont une seule longueur (Tableau 2).

Tableau 2 : Analyse de la variance à un critère (âge des plants pour les paramètres morphologiques)

Variables	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Longueur partie aérienne	2	6991,754	10,015	0,002**
Longueur partie racinaire	2	418,823	1,579	,241
Nombre de nouvelles pousses	2	4301,689	13,912	0,000***
Diamètre au collet	2	371,668	6,831	0,009**
Nombre de nouvelles racines	2	33,035	4,203	0,04*
Poids frais partie aérienne	2	103304,387	12,068	0,001**
Poids frais partie racinaire	2	25442,980	17,416	0,000***
Poids sec partie aérienne	2	13246,401	7,731	0,005**
Poids sec partie racinaire	2	3470.167	28.547	0.000***

Les plants de 3 ans ont émis plus de nouvelles pousses aériennes et plus de nouvelles racines que les deux autres types de plants (Figure 1).

La production de biomasse traduite par les poids sec de la partie aérienne et racinaire chez les plants de 3 ans est respectivement de 140 et 75 g en moyennes dépassant largement les plants de 1 an et 2 ans (Figure 2). Ceci confirme les travaux de Zahri et Harrouni. (1999) qui ont montré que les plants de deux ans régissent mieux que ceux de 6 mois aux conditions de transplantation.

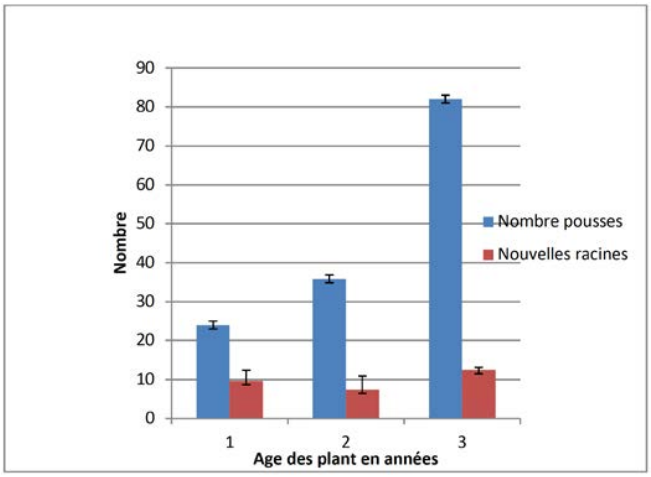


Figure 1 : Nombre de nouvelles pousses et de nouvelles racines des plants d'arganier 12 mois après transplantation.

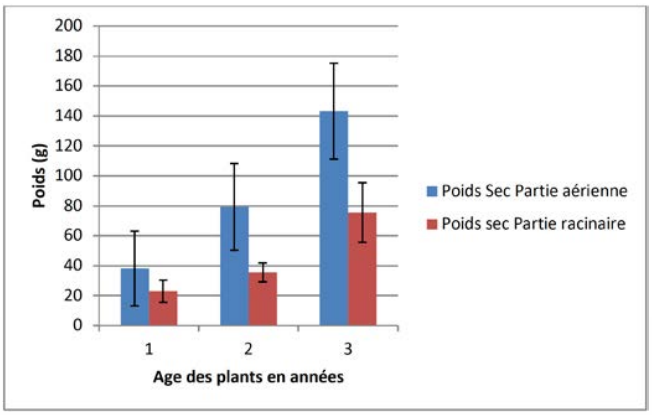


Figure 2 : Poids sec aérien et racinaires des plants d'arganier 12 mois après transplantation.

CONCLUSION

Malgré la présence d'enroulements au niveau du système racinaire, Les plants d'arganier émettent de nouvelles racines qui permettent la reprise de croissance après transplantation.

Quand les conditions hydriques sont favorables, les plants de 3 ans réagissent mieux et ont une croissance meilleure que celle des plants de 1 et 2 ans.

BIBLIOGRAPHIE

Harrouni M.C., Zahri S., El Hemaîd A. (1995). Transplantation des jeunes plantules d'arganier: effet combiné de techniques culturales et du stress hydrique. Actes du colloque international La forêt face à la désertification « cas des Arganeraies », faculté des sciences, Agadir, 26, 27 et 28 octobre: 115-33

Lamond M., Tavakol R., Riedacker A. 1983. Influence d'un blocage de l'extrémité du pivot d'un semis de chêne, sur la morphogenèse de son système racinaire. Annales Sciences Forestières 1983, 40, 3, 227-250

Lemaire F., Dartigues A., Rivière L-M. 2003. Cultures en pots et conteneurs, Principes agronomiques et applications. Edition INRA, 2003, France.

NicoliniEric-André, Brunstein Elodie, Monteuuis Olivier, Plaine Stéphane, Thiébaut Guillaume, Brunstein Julie, Kwasie Frits, Koese Martinus, Guerrini Xavier, De Haldat Alexandre, Levionnois Sébastien, Miss Fanny, NgweteOnoefe, Santé Richard, YansenLindon James. 2023. Chapitre II - La Production des Plants. In : ForesTreeCulture 2. Plantations forestières en Guyane française. INRAE, ONF, CIRAD. Montpellier : INRAE-CIRAD-ONF, 52

Wifaya A., A. Mimouni, Fouad Mokrini2018. Effet de l'irrigation sur la reprise des jeunes plants d'arganier après transplantation au terrain. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires. 6 (4): 437-445

Zahri S., Harrouni M.C. (1999). Optimisation de la reprise après transplantation chez l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). First International conference on biodiversity and naturel ressource preservation. Book of abstract, Ifrane, 13-14 May.

Optimization of the germination of argan seeds : The impact of substrate and seed size.

Oumaima Ninich [1,3,*], Mohamed Ouajdi [1], Ismail Etaleb [1,3], Jalila Aoujdad [1], Hayat Oubrahim [1], Nour Eddine Amirat [2], Oussama Zekhnini [2], Fatima Aabidi [2], Najib Magri [1], Salwa El Antry [1].

[1] *Centre d'Innovation, de Recherche et de formation (CIRF), Agence Nationale des Eaux et Forêts Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime et du Rural Développement et Eaux et Forêts, BP 763 Agdal Rabat 10050, Maroc ;*

[2] *Institut Royale des Techniciens Spécialisés des Eaux et Forêt, Maroc;*

[3] *Mohammed V University in Rabat, B.P:8007.N.U, Avenue des Nations Unies, Agdal, Rabat, Morocco*

* *oumaimaninich@research.emi.ac.ma*

Keywords
Argan tree, Seed size, Germination rate, Dendrometric measurements, Plant quality.

ABSTRACT

The argan tree is vital for ecosystems and the local economy, offering products like argan oil prized for its medicinal and cosmetic uses. Due to the lengthy production process, above-ground seedling production in rigid containers is garnering interest in forest research. This study aims to evaluate the impact of substrate and seed size on argan tree seedlings. This study investigates the substrate and seed size effects on argan seedling quality. The substrate with 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel pro-duced the highest germination rate at 24.76%. Remarkably, medium-sized seeds in 100% peat substrate showed the highest germination rate, reaching 65.71%. These findings emphasize the significance of substrate composition and seed size in argan seedling development. Further re-search could optimize conditions for enhancing argan seed germination and seedling growth, contributing to argan forest conservation.

Mots clés
Arganier, Taille des graines, Taux de germination, Mesures dendrométriques, Qualité des plants

RÉSUMÉ

Optimisation de la germination des graines d'argan : L'impact du substrat et de la taille des graines.

L'arganier est essentiel pour les écosystèmes et l'économie locale, offrant des produits tels que l'huile d'argan, appréciée pour ses usages médicinaux et cosmétiques. En raison du long processus de production, la culture de plants en conteneurs rigides suscite un intérêt croissant dans la recherche forestière. Cette étude vise à évaluer l'impact du substrat et de la taille des graines sur les plants d'arganier. Elle examine les effets de la composition du substrat et de la taille des graines sur la qualité des plants. Le substrat composé de 75 % de tourbe, 12,5 % de sable et 12,5 % de gravier a produit le taux de germination le plus élevé, soit 24,76 %. De manière remarquable, les graines de taille moyenne cultivées dans un substrat 100 % tourbe ont atteint le taux de germination le plus élevé, soit 65,71 %. Ces résultats soulignent l'importance de la composition du substrat et de la taille des graines dans le développement des plants d'arganier. Des recherches supplémentaires pourraient optimiser les conditions afin d'améliorer la germination des graines et la croissance des plants, contribuant ainsi à la conservation de la forêt d'arganeraie.

INTRODUCTION

The argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels) is an endemic tree with multiple uses, playing a crucial role in forest ecosystems and the local economy [1]. In addition to its ecological importance, the argan tree is a major economic pillar, providing a variety of products ranging from livestock feed to high-value products such as argan oil, prized for its medicinal, cosmetic, and culinary applications [2,3].

The multiplication of argan tree seedlings for the development of productive orchards is a topic of crucial interest [4]. Currently, the method of multiplication by seeds, despite favoring genetic diversification, has drawbacks in terms of production time and seedling quality.

In Morocco, the introduction of above-ground production of seedlings in rigid containers has sparked particular interest in the field of forest research. The Moroccan Forestry Research Center has thus launched a study program to assess the feasibility of this technique for argan tree seedling production.

In this context, our study focuses on evaluating the effect of different substrates and calibers on the quality of argan tree seedlings. Our objective is to determine the kinetics and germination rate of argan tree seedlings in different types of substrates and calibers, as well as to evaluate their development and growth in terms of dendrometry parameters and robustness quotient.

MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

The argan seeds used in this study were collected in Sidi Boushab, in the Aga-dir-Ida-ou-Tanane region. The seeds were collected by the team from the Research and Training Innovation Center. To ensure seed quality, a water test was conducted, im-mersing the seeds in water and removing those floating on the surface.

2.2. Methods

Production of Argan Seedlings: To break seed dormancy and induce pre-germination, seeds were soaked in hot water for 15 minutes, followed by rinsing with cold water. They were then left in water for 24 hours before being placed in seedling trays. The study was conducted at the nursery of the Royal Institute of Specialized Technicians in Water and Forestry in Salé.

Substrates Used and Mixing: The substrates used for seeds of all sizes are as follows: 100% peat; 75% peat and 25% forest soil; 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel; and 75% peat and 25% sand. These variations were studied to assess their impact on the growth and development of argan seedlings. Peat, sand, and gravel were sterilized in an oven at 120°C for 2 hours before being used as aerators.

Rigid trays used for argan seedling production are 500 CC cells with 35 cells and root guides. Tray dimensions are as follows: Height: 17cm, Width: 38cm, Length: 55cm. Once filled with substrate, pre-germinated seeds were sown in the cells. Light watering was applied using a watering can, repeated three times a week. Weeding was done every three days after germination began. A phytosanitary treatment with the fungicide "TACHIGAREN" was also applied.

The monitoring of germination kinetics and rate involved regular examinations of seedling germination every 3 days over a period extending 76 days until the end of the study, while morphological characteristics were evaluated to track growth and devel-opment. Seedling height, measured from the base to the tip every 15 days using a graduated ruler, provided insights into vertical growth. Additionally, the collar diameter, indicating the thickness of the separation between the root system and aerial part of the stem, was measured every 15 days using a caliper. The robustness quotient, calculated as the ratio of stem height to collar diameter, served as an indicator of seedling robustness.

RESULTS

3.1. Germination kinetics of seeds in various substrates

105 argan seeds were placed in trays for each substrate, and the germination kinetics were observed over 76 days. For the 100% peat substrate, germination began after a 40-day latency period, with two germination peaks of 4 seeds each at days 40 and 52, totaling 17 germinated seeds over 67 days. In the substrate consisting of 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel, germination also commenced after a 40-day latency period, reaching a peak of 5 germinated seeds after 61 days, with a total of 26 germinated seeds over 76 days. For the substrate of

75% peat and 25% sand, germination began after a 40-day latency period, with a peak of 4 germinated seeds after 40 days, totaling 22 germinated seeds over 70 days. Finally, for the substrate of 75% peat and 25% forest soil, germination began after a 46-day latency period, reaching a peak of 5 germinated seeds after 67 days, with a total of 16 germinated seeds over 76 days (Figure 1 (a)). The evolution of seed counts across various substrates reveals distinct trends over the observed period, with all of them plateauing by day 67–70 (Figure 1 (b)).

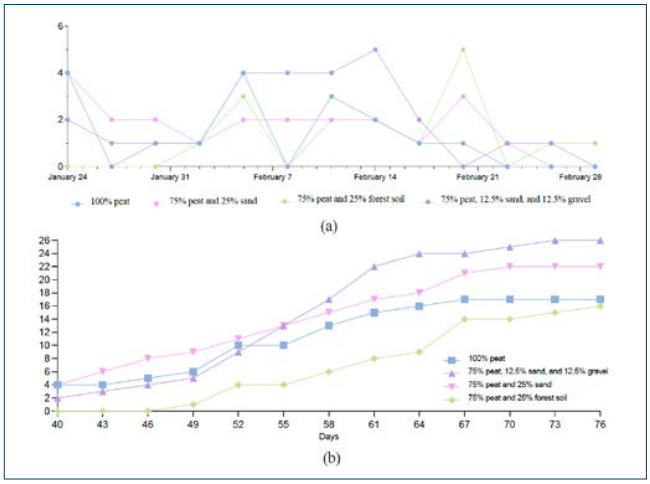


Figure 1. Germination kinetics of seeds in various substrates : (a) The evolution of seed counts (b) The cumulative evolution of seed counts.

3.2. Germination Kinetics of different seed sizes

35 argan seeds were placed in trays for each size category. This operation was conducted on December 15, 2022, followed by a 76-day germination kinetics monitoring. Figure 2 illustrates the evolution of germinated seeds over time for different seed sizes. The findings indicate that germination of argan seeds begins after a 40-day latency period. Specifically, for small-sized seeds, the peak germination (5 germinated seeds) occurred after 61 days from sowing, with a germination period lasting 64 days and a total of 15 seeds germinated. Medium-sized seeds reached their peak germination (14 germinated seeds) after 40 days from sowing, with a germination period lasting 70 days and a total of 23 seeds germinated. Similarly, large-sized seeds also reached their peak germination (5 germinated seeds) after 40 days from sowing, with a germination period lasting 70 days and a total of 19 seeds germinated (Figure 2 (a)). Figure 2 (b) depicts the evolution of seed counts across different sizes over the observed time frame, mirroring the trend observed in the evolution of seed counts across various substrates, with all of them plateauing by day 67–70.

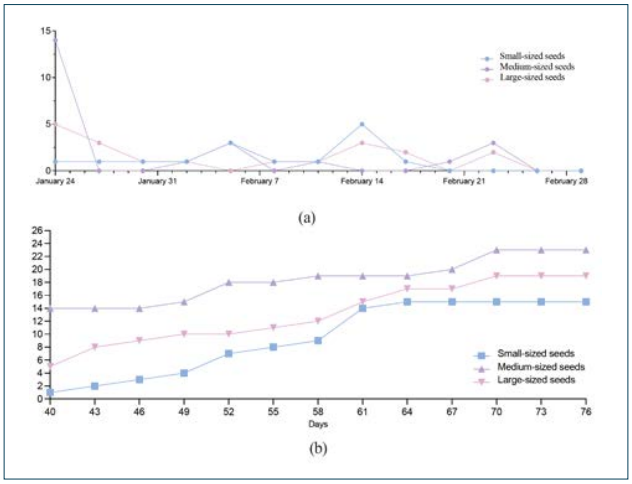


Figure 2. Germination kinetics of different seed sizes : (a) The evolution of seed counts (b) The cumulative evolution of seed counts.

3.3. Germination rates

The results of argan seedling germination rates in various substrates show that the substrate composed of a mixture of 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel exhibits the highest germination rate compared to other substrates used, with a germination rate reaching 25%. The variation in argan seed germination rates for different sizes shows significant germination of medi-um-sized argan seeds, reaching a rate of 65%. According to the results, we conclude that the ger-mination rate of argan seeds of all sizes combined in the 100% peat substrate reaches a percentage of 16.19%. The germination rate of various sizes of argan seeds in the 100% peat substrate reaches a maximum percentage of 65.71% for medium-sized seeds and a minimum for small-sized seeds at 42.85% Therefore, we deduce that seed size has a significant effect on the germination of argan seeds. (Figure 3).

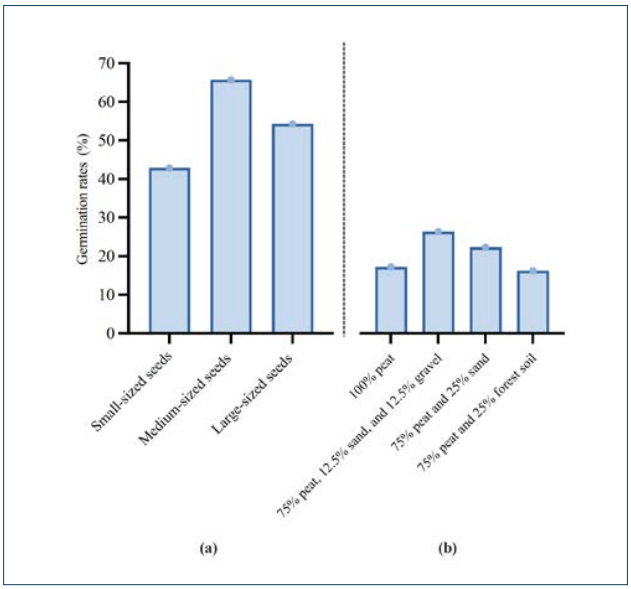


Figure 3. Germination rates of seeds (a) with different sizes ; (b) in various substrates ;

3.4. Development and growth of argan seedlings in the nursery

The results of monitoring dendrometric measurements of plant heights in various substrates show that the substrate composed of 100% peat exhibits the best height growth, reaching 13.22 cm. Regarding collar diameter in different substrates, the substrate consisting of a mixture of 75% peat and 25% topsoil allows for good diameter growth, reaching a value of 3.19 mm. Based on our findings, it is evident that the highest robustness quotient values were recorded in the sub-strate composed of 100% peat with a value of 4.87 cm/mm and the substrate composed of 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel with a value of 4.82 cm/mm. Additionally, the substrate composed of 75% peat and 25% sand presents a value of 4.06 cm/mm, while the substrate com-posed of 75% peat and 25% topsoil exhibits a robustness quotient value of 3.37 cm/mm.

Regarding the various seed sizes, medium-sized seeds exhibit good height growth, reaching 16.97cm. For large and medium sizes, the results are almost analogous, with a nearly equal value of 3.07mm in diameter. The robustness quotient results for different seed sizes of argan seeds show that large, medium, and small sizes produce significant and nearly analogous results, ranging between 5.23cm/mm and 5.52cm/mm. Argan seeds of all sizes grown in 100% peat sub-strate reach a height of 13.22cm and a diameter of 2.71cm. Argan seeds of various sizes grown in 100% peat substrate attain maximum height, recorded in medium size at 16.97cm, and maximum diameter, recorded in small and large sizes at 3.07cm (Table 1).

Table 1. Measurements growth argan Seedlings (H : Heights (cm) ; D : collar diameter (mm) ; RQ : robustness quotient (cm/mm)

	H (cm)	D (mm)	RQ (cm/mm)
Substrates			
100% peat	13.22	2.71	4.88
75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel	12.16	2.52	4.83
75% peat and 25% sand	11.51	2.85	4.04
75% peat and 25% forest soil	10.77	3.19	3.38
Seed sizes			
Small-sized seeds	15.55	2.91	5.34
Medium-sized seeds	16.97	3.07	5.53
Large-sized seeds	15.77	3.07	5.14

*H : Heights (cm) ; D : collar diameter (mm) ; RQ : robustness quotient (cm/mm)

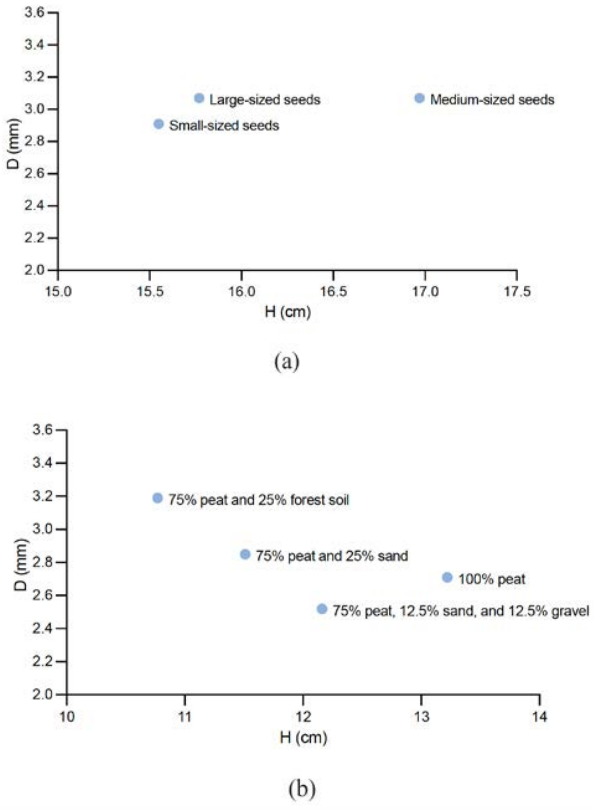


Figure 4. Correlation of Argan seedlings growth (Height (H, cm) and Diameter (D, mm)) (a) with different sizes ; (b) in various substrates.

DISCUSSION

4.1. Germination kinetics

The study investigated the germination kinetics of argan seeds across different substrate compositions. Results demonstrated distinct patterns of germination initiation and pro-gression, with varying substrates influencing germination rates and timing. Substrates rich in peat exhibited delayed but sustained germination, while those incorporating sand and gravel facilitated earlier germination. Argan seeds of varying sizes were analyzed to assess their germination kinetics. Medium-sized seeds consistently exhibited higher germination rates compared to small and large seeds. Germination initiation was rela-tively uniform across all sizes, suggesting inherent differences in seed viability. In a study conducted in Kuwait on the seed germination of Argan, it was found that none of the pre-sowing treatments were effective in promoting germination. However, the highest germination percentage was recorded in heavy seeds with an average weight of > 4 g, indicating another factor that can affect the germination rate [5] In general, larger seeds generally exhibit better field performance than smaller seeds [6].

4.2. Germination rates

The study evaluated the germination rates of argan seeds across different substrates and seed sizes. Substrates comprising a blend of peat, sand, and gravel exhibited the highest germination rates with 26%, emphasizing the importance of substrate heterogeneity in promoting seedling establishment. Medium-sized seeds demonstrated the most favorable germination rates. This is in accordance with other studies showing that the germination rate is significantly influenced by the type of seeds and substrate [7,8].

4.3. Development and growth of argan seedlings in the nursery

Morphological assessments were conducted to evaluate the development and growth of argan seedlings in nursery conditions. Substrates rich in peat promoted superior height growth, while those incorporating sand and gravel facilitated robust root-collar devel-opment. Medium-sized seeds exhibited optimal growth parameters, underscoring their suitability for nursery propagation. Our findings do not align with existing research on the effect of seed size on growth parameters. Specifically, in our study, among the three seed categories examined, medium-sized seeds exhibited optimal growth. In contrast, previous studies have suggested that larger seeds often possess greater reserves and vigor, enabling them to initiate germination more rapidly and support robust seedling growth, as evidenced by their enhanced biomass attributes. This underscores the im-portance of seed size in influencing germination efficiency and subsequent seedling development [9], the same results have been observed in studies comparing different seed sizes, where higher germination rates and seedling growth were recorded when larger seeds were used [10,11] Overall, research on how seed size affects variations in argan plant growth is lacking. Further investigation on argan seed size is needed to better understand germination dynamics and seedling performance, emphasizing the potential benefits of selecting different size seeds for optimal nursery establishment and crop production.

CONCLUSION

Our research investigated how different substrates and seed sizes impact the quality of argan seedlings. We found that a combination of 75% peat, 12.5% sand, and 12.5% gravel led to the highest germination rate, while using only peat resulted in taller seedlings. Medium-sized seeds performed the best overall, showing the highest germination and growth rates. These findings highlight the importance of refining pre-germination techniques and ensuring high-quality substrates in nursery production. We suggest further exploration of other factors influencing plant quality.

Acknowledgment: Special thanks to Fouzia Essayoudi and Jamila Elgharrouch from the 9th Promotion of Specialized Technician Students 2022-2023 for their valuable contributions to this study.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Mechqoq, H.; El Yaagoubi, M.; El Hamdaoui, A.; Momchilova, S.; Guedes da Silva Almeida, J.R.; Msanda, F.; El Aouad, N. Ethnobotany, Phytochemistry and Biological Properties of Argan Tree (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) (Sapotaceae) - A Review. J Ethnopharmacol 2021, 281, 114528, doi:10.1016/J.JEP.2021.114528.

2. Chakhchar, A.; Ben Salah, I.; El Kharrassi, Y.;

Filali-Maltouf, A.; El Modafar, C.; Lamaoui, M. Agro-Fruit-Forest Systems Based on Argan Tree in Morocco: A Review of Recent Results. Front Plant Sci 2022, 12, 783615, doi:10.3389/FPLS.2021.783615/BIBTEX.

3. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Ethnoeconomical, Ethnomedical, and Phytochemical Study of *Argania Spinosa* (L.) Skeels. J Ethnopharmacol 1999, 67, 7–14, doi:10.1016/S0378-8741(98)00228-1.

4. Ait Hammou, R.; Harrouni, C.; Ben El Caid, M.; Hallouti, A.; Baroud, S.; Daoud, S. Establishment of Argan Tree Plantlets (*Argania Spinosa* (L.) Skeels) Grown from Generative and Vegetative Propagation under Different Watering Regimes at the Nursery Stage. Biocatal Agric Biotechnol 2022, 44, 102457, doi:10.1016/J.BCAB.2022.102457.

5. Al-Menaie, H.S.; Bhat, N.R.; Abo El-Nil, M.; Al-Dosery, S.M.; Al-Shatti, A.A.; Gamalin, P.; Suresh, N. Seed Germination of Argan (*Argania Spinosa* L.). J Sci Res 2007, 2, 1–04.

6. Ambika, S.; Manonmani, V.; Somasundaram, G. Review on Effect of Seed Size on Seedling Vigour and Seed Yield. Res J Seed Sci 2014, 7, 31–38.

7. Azad, M.S.; Nahar, N.; Matin, M.A. Effects of Variation in Seed Sources and Pre-Sowing Treatments on Seed Germination of Tamarindus Indica: A Multi-Purpose Tree Species in Bangladesh. For Sci Pract 2013, 15, 121–129, doi:10.1007/S11632-013-0211-0.

8. Florent, H.J.; Ardjouma, D.; Jean, K.K.; Desirée, P.E.; Nakpalo, S. Germination Study and Monitoring in the Nursery of Young Seedlings of Garcinia Mangostana L. . Am J Agric Biol Sci 2021, 16, 50–57, doi:10.3844/AJABSSP.2021.50.57.

9. Attri, V.; Pant, K.S.; Dhiman, R.; Lal, C.; Sarvade, S.; Dhiman, R. Effect of Seed Size and Pre-Sowing Treatments on Growth Parameters and Biomass of Sapindus Mukorossi (Gaertn) Seedlings under Nursery Condition. 2014.

10. Kumar, R.; Shamet, G.S.; Alam, N.M.; Jana, C. Influence of Growing Medium and Seed Size on Germination and Seedling Growth of Pinus Gerardiana Wall. Compost Sci Util 2016, 24, 98–104, doi:10.1080/1065657X.2015.1048906.

11. Yisau, J.A.; Emilimor, P.N.; Odeyale, O.C.; Majolagbe, M. Effect of Seed Source and Seed Size on the Early Growth of Anacardium Occidentale Seedlings. Fudma J Sci 2023, 7, 125–130, doi:10.33003/fjs-2023-0702-1399.

Les techniques et la période optimale d'élevage en pépinière pour la production de plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels)

Mohamed Ouajdi [1,*], Soukaina Maazouzi [2,3], Ismail Etaleb [1], Oumaima Ninich [1], Jalila Aoujdad [1], Hayat Oubrahim [1], Salwa el Antry Tazi [1], Fatima Aabidi [4] , Nour Eddine Amirat [4], Oussama Zekhnini [4], Allal Douira [1].

[1] *Centre d'Innovation, de Recherche et de formation (CIRF), Agence Nationale des Eaux et Forêts. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime et du Rural Développement et Eaux et Forêts, BP 763 Agdal Rabat 10050, Maroc;*

[2] *Institut Supérieur des Professions Infirmiers et des Techniques de Santé (ISPITS), Dakhla, Morocco ;*

[3] *Laboratoire Productions Végétales, Animales et Agro-Industrie, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, BP.133-14000, Kénitra, Morocco;*

[4] *Insttitut Royale des Techniciens Spécialisés des Eaux et Forêts, Avenue Soudan Tabriquete Salé Maroc;*

* *ouajdim@gmail.com*

RÉSUMÉ

Cette étude vise à produire des plants d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) robustes et résilients, capables de résister aux attaques de pathogènes et aux contraintes hydriques post-transplantation. De ce fait, nous avons pu déterminer les conditions optimales de germination des graines d'arganier récoltées dans la région de Sidi Boushab (Maroc), puis nous avons exploité ces résultats dans le but de déterminer un âge optimal des plants en pépinière permettant un meilleur taux de réussite au champ les paramètres relatifs à la capacité, la croissance des plants ont été dé-terminés et analysés. Après une période de 6 mois, nos observations ont révélé des résultats significatifs par rapport aux plants de 5 et 9 mois: une hauteur moyenne des plants de 22 cm, un diamètre moyen au collet de 3,8 mm, un coefficient de robustesse de 5,8, et un système racinaire bien développé. Nos résultats indiquent que les plants d'arganier atteignent un stade de développement optimal à l'âge de six mois, répondant aux critères morphologiques de qualité pour des bon plant.

Mots clés
Arganier, Élevage en pépinière, Paramètre dendrométrique, Qualité.

ABSTRACT

Techniques and Optimal Nursery Period for the Production of Argan Seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels)

This study aims to produce robust and resilient argan seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels) capable of resisting pathogen attacks and water stress after transplantation. After a 6-month period, our observations revealed significant results: an average plant height of 22 cm, an average collar diameter of 3.8 mm, a robustness coefficient of 5.8, and a well-developed root system. Our results indicate that argan seedlings reach an optimal developmental stage at the age of six months, meeting the morphological quality criteria for healthy plants.

Keywords
Argan, Nursery, Dendrometric Parameters, Quality.

INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels.) est une essence originale, qui porte un intérêt social et économique et surtout botanique et écologique [1]. L'arganier, un arbre millénaire, est endémique du Maroc, 70 % d'arganier est boisée dans la région « Sud-ouest du Maroc », qui s'étend de Safi au Nord jusqu'à la partie sud de la région saharienne [2].

Vu les contraintes faible précipitations et la rareté des semis naturels, le vieillissement des populations, l'épuisement des souches et l'expansion de l'urbanisation, ainsi que par divers aménagements et équipements des villes et des villages aux dépens de l'arganeraie [3], la régénération naturelle d'arganier devient quasiment impossible, d'où la nécessité de recourir à la régénération assistée afin de reconstituer et réhabiliter les forêts d'arganiers. Les nouvelles stratégies de régénération s'est fixée parmi ses priorités l'introduction de nouvelles technologies et l'amélioration des pratiques culturales (irrigation, fertilisation, conteneurs, etc.) de production de plants forestiers, éléments clés de la réussite des reboisements forestiers [4].

L'objectif de cette recherche est d'améliorer la filière de production de plants d'arganier de haute qualité qui est affectée par diverses pratiques culturales et divers facteurs, vu que la qualité des plants est la combinaison de plusieurs facteurs notamment la hauteur, le diamètre au collet, la santé, la taille, le poids, et la forme de la tige et des racines.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Matériels

Les graines utilisées proviennent de la forêt de Sidi Boushab, dans la province d'Agadir, relevant de la Direction des Eaux et Forêts d'Agadir. L'étude a été menée au sein de la Pépinière de l'Institut Royal des Techniciens Spécialisés des Eaux et Forêts, située dans la ville de Salé, à une dizaine de kilomètres de la Forêt de la Maamora. Les conditions climatiques de la zone d'étude comprennent une pluviométrie annuelle de 555 mm et une moyenne des températures de 17.9°C. La topographie se caractérise par une altitude de 135 mètres, sous un bioclimat de type subhumide à hiver chaud.

Le substrat utilisé pour le développement des plants est crucial et se compose de 75% de tourbe et de 25% de terreau forestier. Les portoirs utilisés sont à paroi rigide, comprenant 35 alvéoles de 500 CC chacun, avec des guides racinaires au niveau de la paroi de l'alvéole. Un orifice est présent à la base inférieure de l'alvéole pour faciliter l'autocernage et l'évacuation de l'eau d'arrosage

2.2. Méthodes

Pour la méthode de pré-germination de l'arganier, la stratification est employée afin de lever la dormance embryonnaire. Cette méthode consiste à placer les graines d'arganier dans une couche humide de tourbe pendant une durée de 15 jours, à une température ambiante en plein air et sous le soleil. Des traitements phytosanitaires ont été appliqués de manière préventive pour contrer principalement les fontes de semis, qui représentent une menace significative pour l'arganier [5].

Le suivi de la vitesse et du taux de germination a été effectué quotidiennement afin d'observer l'évolution de la levée des plants. Parallèlement, les critères morphologiques tels que la hauteur des plants et le diamètre au collet ont été mesurés.

Dans le cadre de cette étude, douze (12) plants d'arganier, âgés respectivement de 4, 5, 6 et 9 mois, ont été prélevés afin d'évaluer leur système racinaire.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Taux de germination

La mise en prégermination de 150 graines d'arganier dans de la tourbe humidifiée pendant 15 jours a conduit à la germination de 133 graines (Figure 1), soit un taux de germination de 88,66%. Dans la littérature, la stratification est considérée comme une technique permettant un gain de temps important dans l'itinéraire culturel, tout en donnant un taux de germination deux à trois fois supérieur à celui du témoin [6]. Durant une période de suivi de 3 mois, 108 plantules d'arganier ont émergé des portoirs, ce qui correspond à un taux de 81,2%.

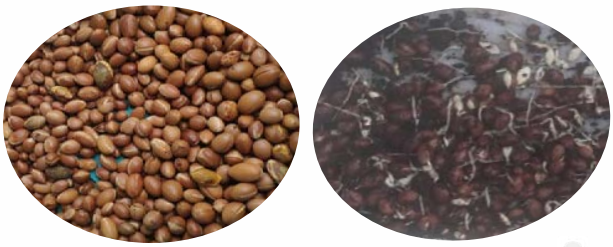


Figure 1. Prégermination des graines d'arganier

3.2. Cinétique de la germination

Les résultats indiquent que la germination des graines d'arganier débute dès le 5ème jour après leur mise en pépinière. Après 24 jours, le pic de germination des graines d'arganier est atteint, avec 23 graines germées, marquant une période totale de germination d'environ 37 jours. Cette période a été observée au cours d'une étude étendue sur 52 jours. La littérature confirme l'importance cruciale de la germination des graines dans le cycle de vie des plantes. Pour améliorer ce processus, différents prétraitements sont utilisés afin de surmonter la dormance des graines, favorisant ainsi une germination optimale et une croissance vigoureuse des plantules [7].

3.3. Paramètres dendrométriques

Les plants des graines d'arganier a été surveillé, et il a été observé que la hauteur moyenne des plants ainsi que le diamètre moyen au collet augmentaient progressivement. À 9 mois de culture en pépinière, les plants atteignaient une hauteur moyenne de 40 cm et un diamètre au collet de 7,2 mm, en accord avec les résultats obtenus au Congo où la corrélation entre la hauteur et le diamètre au collet était positive [8].

3.4. Systèmes racinaires

L'observation des systèmes racinaires des plants d'arganier à différents stades de croissance révèle des résultats significatifs. Les plants âgés de 4 mois présentent des anomalies, tandis que ceux âgés de 5 mois montrent une croissance normale sans aberrations au niveau du système racinaire. À 6 mois, les systèmes racinaires sont bien développés, avec une racine principale formant un angle supérieur à 110°, et une morphologie satisfaisante. Cependant, les observations des plants de 9 mois indiquent la présence de chignons racinaires, de nombreuses racines mortes, et l'absence de nouvelles racines, ce qui soulève des préoccupations quant à leur nutrition minérale et hydrique (Figure 2.).



Figure 2. Évolution des systèmes racinaires des plants d'Arganier au fil des Mois

5. CONCLUSIONS

Notre étude expérimentale sur les plants d'arganier, en se concentrant sur des paramètres morphologiques tels que la hauteur, le diamètre au collet, l'état du système racinaire et le quotient de robustesse, a produit des résultats instructifs. Sur une période de 6 mois, nous avons observé une hauteur moyenne de 22 cm, accompagnée d'un diamètre moyen au collet de 3,8 mm. Un quotient de robustesse de 5,8 a été enregistré, indiquant un potentiel de croissance vigoureux. De plus, le développement d'un système racinaire bien ramifié, marqué par l'émergence de nouvelles racines, souligne la résilience et l'adaptabilité de l'arbre. Ces résultats mettent en lumière la trajectoire de croissance robuste des arbres d'arganier, en particulier lorsqu'ils sont cultivés dans des cellules de 500 cc. De telles observations offrent des implications précieuses pour la culture et la gestion de cette espèce précieuse.

Remerciements : Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers le Centre d'Innovation, de Recherche et de Formation (CIRF), l'Agence Nationale des Eaux et Forêts, ainsi que l'Institut Royal des Techniciens Spécialisés des Eaux et Forêts pour leur implication dans la conduite de cette recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Mezghenni, H.; Hamrouni, L.; Hanana, M.; Jamoussi, B.; Bouzid, S.; Khouja, M.L. Multiplication de l'Arganier *Argania Spinosa* (L.) Skeels. J New Sci 2014, 10.

2. Benchekroun, F.; BUTTOUD, G. L'arganeraie Dans l'économie Rurale Du Sud-Ouest Marocain. forêt méditerranéene 1986, XI, 127.

3. Faouzi; Hassan L'arganeraie Marocaine, Un Système Traditionnel Face Aux Mutations Récentes : Le Cas Du Territoire Des Haha, Haut Atlas Occidental. http://journals.openedition.org/norois 2017, 57–81, doi:10.4000/NOROIS.6048.

4. Mousadik, E.A. Agadir 15-17 Décembre 2011 Actes Du Premier Congrès International de l' Arganier, Agadir 15-17 Décembre 2011 Actes Du Premier Congrès International de l' Arganier, Agadir 15-17 Décembre 2011 Actes Du Premier Congrès International de l' Arganier.

5. Bakry, M.; Bakry, M.; Abourouh, M. La Fonte Des Semis : Premiers Résultats Sur Les Pertes En Pépinières Forestières. Ann la Rech For au Maroc 1992.

6. Carron, C.; Vouillamoz, C.A.B.J.F.; De, S.; Acw, A.C. Procédés de Stratification Pour La Germination de La Verveine Officinale. 2008, 195–199.

7. Rakoto, F.N.J.; Randrianirina, V.A.T.; Randriambanona, H.; Andrianandrasana, M.D.; Baohanta, R.H.; Randriatafika, F.; Ramanamanjato, J.B.; Razakatiana, T.E.; Rakotoarimanana, V.; Ramanankierana, H. Chapitre 43. Traitement de Scarification Pré-Germinatif Des Graines Pour Une Restauration Écologique Des Zones Dégradées. Biodiversité des écosystèmes intertropicaux 2022, 637–647, doi:10.4000/BOOKS.IRDEDITIONS.42144.

8. Ilye, B.; Banda, M. Tentative d ' Une Substitution de l ' Engrais Classique KCl Par Le Mulch et Les Cendres de La Jacinthe d ' Eau (Eichhornia Crassipes) Dans La Culture Du Soja Sur Un Sol Ferrallitique à l ' État d ' Altération Très Avancé :. 2007, 1, 67–72.

La régénération *in vitro* de l'arganier par microbouturage à partir du matériel adulte

Ilham Amghar [1,2*], Ghizlane Diria [1] , Fatima Gaboun[1] , Mohammed Ibriz[2] , Rabha Abdelwahed [1].

[1] *UR Biotechnologie, CRRA-Rabat, Institut National de la Recherche Agronomique, BP 6570, Rabat 10101, Maroc;*

[2] *Laboratoire de Génétique et Biométrie, Département de Biologie, Faculté des Sciences de Kénitra,Université Ibn Tofail, BP 133, Kenitra 14000, Maroc ;*

** amghar.ilham@gmail.com*

Mots clés
Argania spinosa, culture in vitr, multiplication végétative, microbouturage, enracinement, acclimatation

RÉSUMÉ

La sauvegarde de l'arganeraie marocaine et sa valorisation par le développement de l'arganiculture sont des objectifs des stratégies nationales « Génération verte » et « Forêts du Maroc ». Néanmoins, la propagation végétative de l'arganier reste difficile en raison des problèmes de vieillissement physiologique et d'enracinement. L'application donc de la technique de microbouturage peut être une alternative importante pour sa domestication rapide et pour le développement de l'arganiculture avec des clones élites sélectionnés. Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif de développer un protocole efficient de microbouturage *in vitro* de l'arganier à partir du matériel adulte . En effet, avec ce protocole on a pu avoir un taux de débourrement des micro-boutures de 93,33% en utilisant une combinaison hormonale de 2 mg.L-1 de Benzylaminopurine (BAP) et de 0.5 mg.L-1 d'Acide indole-3-butyrique (AIB), une meilleure élongation sur un milieu contenant 2 mg. L-1 d'Acide gibbérellique (AG3) et un taux d'enracinement de 50 % sur un milieu contenant l'AIB combiné avec l'ANA ,la putrescine et l'AgNO3 . Par ailleurs, le nitrate d'argent (AgNO3) a permis d'optimiser et d'améliorer la qualité des pousses. L'acclimatation des boutures a été réussite à 100% sur un substrat formé de sable et de tourbe.

Keywords
Argania spinosa, in vitro culture, vegetative propagation, micrcutting, rooting, acclimatization

ABSTRACT

In vitro regeneration of the argan tree through micropropagation from adult ma-terial

The preservation of the Moroccan Argan grove and its val-orization through the development of argan cultivation are objectives of the national strategies "Green Generation" and "Forests of Morocco". Nevertheless, the vegetative propagation of Argan tree remains difficult due to the problems of physiological aging and rooting. The application of the microcutting technique can therefore be an important al-ternative for rapid domestication and development of Argan cultivation with selected elite clones. In this context, the present work aims to develop an efficient protocol for *in vitro* microcutting of Argan tree from adult material. Indeed, with this protocol we were able to have a budding rate of mi-cro-cuttings of 93.33% using a hormonal combination of 2 mg.L-1 of Benzylaminopurine (BAP) and 0.5 mg.L-1 of In-dole-3-butyric acid (IBA), a better elongation on a medium containing 2 mg. L-1 of Gibberellic acid (GA3) and a rooting rate of 50% on a medium containing AIB combined with ANA, putrescine and AgNO3. In addition, silver nitrate (AgNO3) made it possible to optimize and improve the quality of the shoots. The acclimatization of the cuttings was 100% successful on a substrate formed of sand and peat.

INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* L.), arbre endémique du sud-ouest marocain, couvrant environ 952 200 hectares [1], présente un potentiel socioéconomique et écologique très important. Malgré ces intérêts, on assiste au cours de ces dernières décennies à une régression alarmante des arganeraies marocaines aussi bien en surface qu'en densité. Cette dégradation est essentiellement due à la pression démographique, l'activité pastorale, la surexploitation des ressources forestières, l'extension des cultures intensives (serres), l'urbanisation anarchiques et l'effet des changements climatiques. Ainsi, la préservation de l'arganier et son écosystème et la réhabilitation des zones dégradées sont devenues une priorité nationale des stratégies « Génération verte » et « Forêts du Maroc » afin d'assurer la gestion durable de ce système agro-forestier unique. A cet effet, la multiplication végétative des espèces ligneuses à partir du matériel adulte a pour avantage majeur une reproduction fidèle du génotype préalablement sélectionné pour sa performance et la réduction de la phase juvénile. L'application donc de la technique de microbouturage reste une alternative importante pour le renforcement de la résilience de l'arganier, sa domestication rapide et le développement de l'arganiculture avec les clones élites sélectionnés. Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif de développer un protocole efficient de microbouturage de l'arganier en utilisant le matériel adulte via la résolution des problèmes de contamination, de brunissement, de la récalcitrance à la régénération ainsi qu'au problème de développement des racines non opérationnelles dans des conditions ex vitro.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans ce travail correspond à des boutures d'arganier qui ont été récoltées sur un arbres très âgés dans la région de HANCHANE située à 15 Km au sud de la ville d'Essaouira. Les rameaux ont été défoliés puis coupés en boutures de 1,5 cm et stérilisé selon le protocole décrit par Amghar et al. (2021a)[2].

2.2. Milieux et conditions de culture

Le milieu de base utilisé dans ce protocole est le milieu MS [3], additionné de différentes combinaisons et concentrations de régulateurs de croissance : la cytokinine BAP, l'acide gibbérellique (AG3) l'auxine l'AIB (tableau 1).

Après multiplication dans un milieu de base additionné de 2 mg.L-1 de nitrate d'argent (AgNO3) et 2 mg.L-1 d'AG3, les pousses ayant une longueur supérieure à 1,5 cm, avec 6 à 9 feuilles, ont été utilisées pour les essais d'enracinement sur un milieu d'enracinement [4] complet (M) ou dilué de moitié (M/2). Les pousses enracinées ont été transférées sur un substrat constitué d'un mélange de sable et du terreau pour leur acclimatation [4].

Les cultures ont été placées dans une chambre de culture à une température de 25 ± 1°C et une photopériode de 16h/8h. Le pourcentage de débourrement, le nombre moyen de pousses par explant, la longueur des microboutures et le pourcentage d'enracinement ont été enregistrés.

2.3. Analyses statistiques

Les expériences ont été mises en place dans une conception complètement randomisée. Toutes les expériences ont été répétées deux fois avec 3 répétitions par traitement. L'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour évaluer la significativité entre les traitements. Une procédure de comparaison multiple par paires a été réalisée en utilisant le test de la différence la moins significative (LSD) de Fisher au niveau de signification de 0,05. Les données de pourcentage ont été transformées en arcsinus avant analyse.

3. RÉSULTATS

3.1.Effet du milieu de multiplication sur le taux de débourrement

L'analyse de la variance montre que l'effet de la combinaison des 3 phythormones était très significatif $p<0.001$ (Tableau 1). En effet l'ajout du cytokinine BAP (à 2mg.L-1 et 4mg.L-1) ou AG3 (1mg.L-1 et 2mg.L-1) ou l'AIB à une concentration de 0,5mg.L-1 seul ont permis d'augmenter le taux de débourrement à des taux allant de 60% à 80% par rapport au témoin. Il ressort de cet essai également que la combinaison de la BAP (2 mg.L-1) avec l'AIB (0.5 mg.L-1) dans le milieu de culture était la mieux favorable à la formation des pousses. En effet, avec cette combinaison, le taux de réponse des explants était maximal ayant atteint 93.33 % (figure 1 ; tableau 1).Les resultas ont montré également que la prèsence de l'AG3 dans le milieu de culture est essentielle pour l'elongation des pousses neoformés avec une

concentration optimale de 2 mg.L-1. Le nombre moyen des feuilles le plus élevé est enregistré sur le milieu (M7) contenant 2 mg.L-1 BAP + 0.5 mg.L-1 AIB. D'après la courbe de la cinétique (figure 3), on peut déduire que le débourrement des bourgeons sur le milieu (M7) qui a permis d'avoir le meilleur pourcentage de débourrement (93,3%) après 60 jours se fait d'une façon tardive et progressive comparativement au milieu M2. En effet, sur ce dernier milieu, les bourgeons ont commencé à débourrer dès la première semaine de la mise en culture pour atteindre 45% au 10ième jour et son maximum 80% en 20 jours.



Figure 1: Aspect des microboutures mises en culture sur le milieu M7 contenant 2 mg.L-1du BAP et 0.5 mg.L-1AIB après 30 jours de culture (Amghar /INRA)

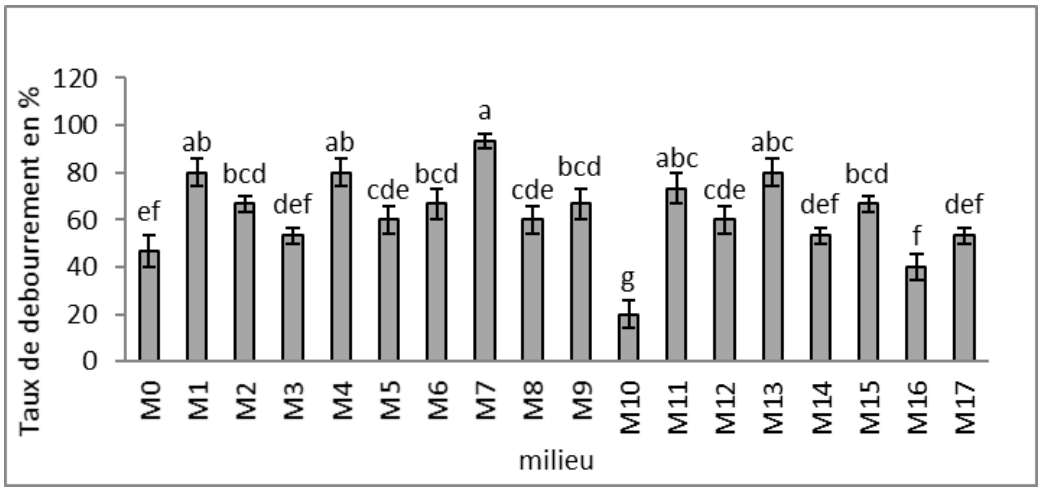


Figure 2 : Taux de débourrement de différents milieux en (%), après 60 jours de culture sur milieu de base MS. Les barres représentent la moyenne ± ES, les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes à P <0,05

Tableau 1: Effet de la BAP, l'AG3 et l'AIB sur le pourcentage de débourrement, le nombre moyen de débourrement par explant et la longueur moyenne des pousses. * Les valeurs dans la même colonne et avec des lettres différentes sont significativement différentes à p <0,05 . MS: milieu de base Murashige et Skoog

Traitement	Phytohormones mg.L^{-1}			Taux de débourrement (%)	no. moyen de débourrement /explant	Longueur moyenne des pousses (cm)	no. Moyen des feuilles/ explant
	BAP	AG$_3$	AIB				
M0	0	0	0	46,66±6.66^{ef}	1.14±0.14^{abc}	0.68±0.17^{abc}	20.57±3.25^{ab}
M1	0	0	0.5	80±5.77^{ab}	1.25±0.13^{ab}	0.38±0.15^{c}	17.91±2.42^{abcd}
M2	0	1	0	66,66±3.33^{bcd}	1.13±0.19^{abc}	0.93±0.10^{abc}	10.6±0.99^{cde}
M3	0	1	0.5	53,33±3.33^{def}	0.60±0.16^{c}	0.69±0.05^{abc}	12.13±1.12^{bcde}
M4	0	2	0	80±5.77^{ab}	1.00±0^{bc}	**1.39±0.19^{a}**	12.93±1.25^{bcde}
M5	0	2	0.5	60±5.77^{cde}	1.06±0.06^{bc}	**1.44±0.19^{a}**	16.26±1.39^{abcde}
M6	2	0	0	66,66±6.66^{bcd}	1.57±0.29^{ab}	0.82±0.37^{abc}	13±0.75^{bcde}
M7	2	0	0.5	**93,33±3.33^{a}**	1.38±0.14^{ab}	1.06±0.23^{abc}	**21.92±2.8^{a}**
M8	2	1	0	60±5.77^{cde}	1.14±0.09^{abc}	0.99±0.10^{abc}	8.57±0.55^{e}
M9	2	1	0.5	66,66±6.66^{bcd}	1.11±0.11^{bc}	0.53±0.32^{c}	9.77±2.71^{de}
M10	2	2	0	20±5.77^{g}	1.50±0.50^{ab}	1.25±0.25^{ab}	8.5±1.5^{e}
M11	2	2	0.5	73,33±6.66^{abc}	1.25±0.16^{ab}	0.92±0.46^{abc}	9.12±2.55^{e}
M12	4	0	0	60±5.77^{cde}	**1.75±0.25^{a}**	0.45±0.11^{c}	8.5±1.34^{e}
M13	4	0	0.5	80±5.77^{abc}	1.36±0.15^{ab}	0.66±0.26^{bc}	18.63±3.23^{abc}
M14	4	1	0	53,33±3.33^{def}	1.16±0.16^{abc}	0.91±0.15^{abc}	12.83±2.77^{bcde}
M15	4	1	0.5	66,66±3.33^{bcd}	1.70±0.16^{a}	0.77±0.29^{abc}	18.12±3.18^{abcd}
M16	4	2	0	40±5.77^{f}	1.33±0.33^{ab}	1.36±0.36^{a}	16.33±2.72^{abcde}
M17	4	2	0.5	53,33±3.33^{def}	1.14±0.14^{abc}	0.78±0.41^{abc}	13.28±3.92^{bcde}

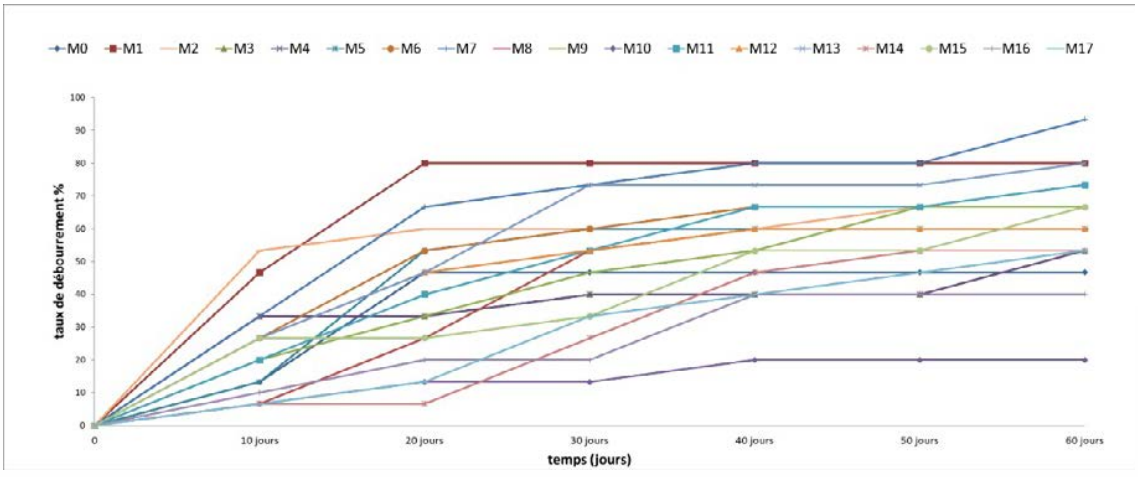


Figure 3: Cinétique du taux de débourrement (%) sur les différents milieux utilisés pendant 60 jours de mise en culture

3.2. Effet de l'AgNO3 sur la qualité et la multiplication de l'arganier

L'analyse visuelle de l'aspect qualitatif des explants obtenus après 20 jours de mise en culture sur des milieux de multiplications MS contenant ou non d'AgNO3, a montré que les vitroplants générés sur les milieux contenant le nitrate d'argent sont vertes et en bonne état. Par contre les vitroplants issus de la multiplication sur les milieux dépourvus d'AgNO3 ont connu un jaunissement et une chute massive des feuilles après un certain temps de culture (figure 4)

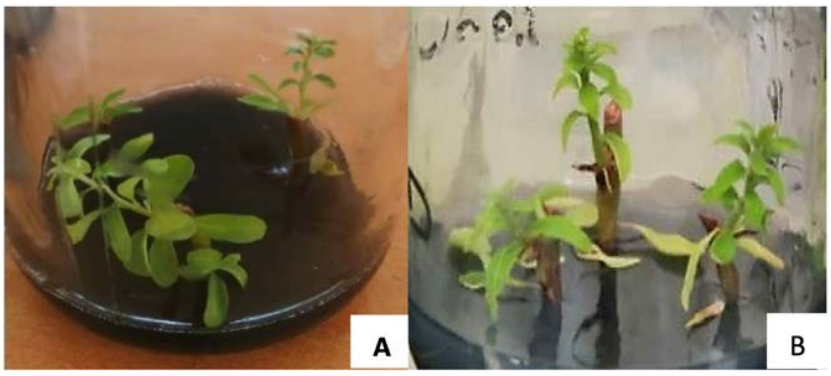


Figure 4 : A : Aspect des pousses développées sur milieu additionné d'AgNO3 ; B : aspect des pousses développées sur le milieu sans AgNO3 après 20 jours de culture (Amghar /INRA)

Les résultats obtenus ont révélé une différence hautement significative P<0.0001 de l'effet de l'AgNO3 sur le nombre des feuilles et une différence significative P<0.001 sur la taille des pousses régénérées mais les analyses statistiques n'ont pas révélé une différence significative de l'effet de l'AgNO3 sur la multiplication des pousses . Les meilleures performances d'élongation ont été obtenues par le milieu A contenant 2 mg.L-1 d'AgNO3 où nous avons enregistré une taille moyenne de pousses de 1.5 cm (figure 5) et un nombre moyen de feuille de 17 feuilles/explant (figure 6).

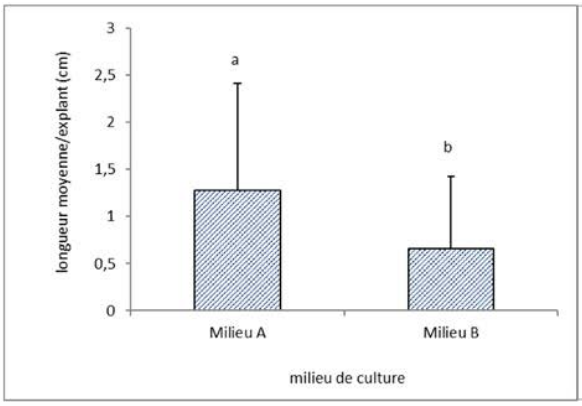


Figure 5: Effet de l'AgNO3 sur la longueur moyenne (cm) des pousses ; Milieu A : milieu MS additionné d'AgNO3 ; Milieu B : milieu MS sans AgNO3.

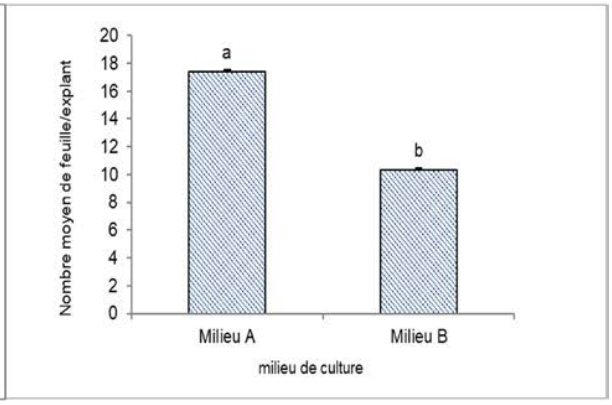


Figure 6: Effet de l'AgNO3 sur le nombre moyen de feuilles/ explant ; Milieu A : milieu MS additionné d'AgNO3 ; Milieu B : milieu MS sans AgNO3

3.3. Rhizogenèse

Les résultats obtenus (tableau 2) montrent que les deux milieux (M et M/2) permettent l'induction des racines chez les microboutures d'arganier. Les meilleurs résultats ont été obtenus sur un milieu M/2 avec un taux d'enracinement de 50% et un nombre moyen de racine de 7.5. Les racines développées sont saines et de bonne qualité d'une longueur moyenne de 4.12 cm (figure 7). Alors que le milieu MS donne un taux d'enracinement plus bas de 25% avec 3,5 racines /explant.

Tableau 2: Effet des milieux sur l'enracinement des microboutures d'arganier après 30 jours d'induction et 20 jours d'élongation

Milieu de base	Taux d'enracinement en %	Nombre moyen de racines/explant	Taille moyenne de racines (cm)
M/2	50±9.12[a]	7.5±0.64[a]	4.12±0.37[a]
M	25±2.88[b]	3.5±0.28[b]	2.13±0.37[b]

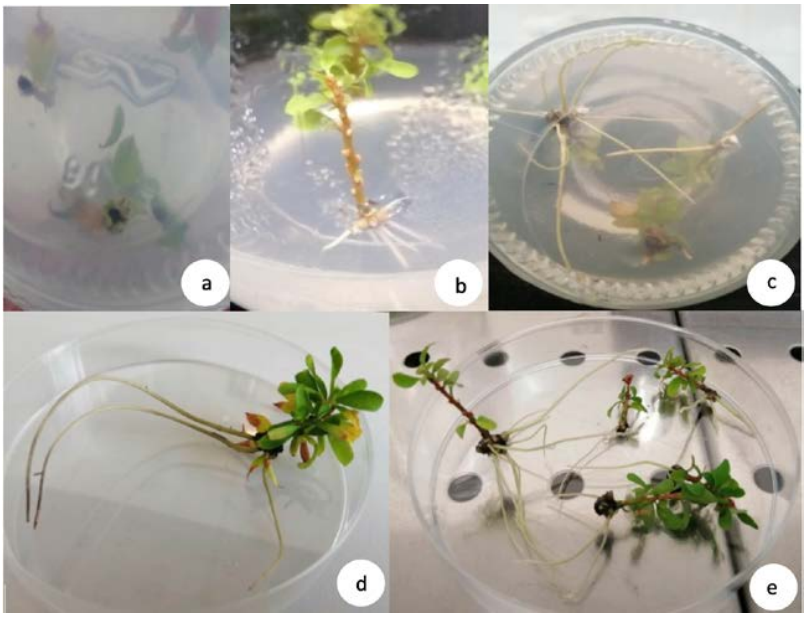


Figure 7: Racines obtenu sur milieu M/2 ; a : 10 jours dans un milieu d'induction ; b : 20 dans un milieu d'induction ; c : 15 jours dans un milieu d'élongation ; d-e :30 jours dans un milieu d'élongation (Amghar /INRA)

4. DISCUSSION

Le recourt à l'application des techniques in vitro pour la sauvegarde de l'arganier devient aujourd'hui une nécessité pour assurer la conservation de l'espèce et la gestion de la très grande diversité génétique de l'arganier. Particulièrement la multiplication végétative présente un outil avantageux et précieux pour assurer la domestication de l'arganier et la production du matériel végétal homogène et la mise en place des vergers des génotypes sélectionnés d'arganier [5]. Certes, la forte récalcitrante de l'espèce surtout lorsqu'il s'agit d'arbres vieillis constitue un grand enjeu face l'application des techniques de biotechnologie moderne [6].

Les résultats de cette étude ont montré que le BAP combinée avec de faibles concentrations de l'AIB stimule l'induction et le débourrement des bourgeons, et permet d'avoir un taux maximal de débourrement de 93,33% avec un bon développement des vitropousses. Ces résultats sont en cohérence avec ceux de Lamaoui et al. [7] qui ont trouvé que la combinaison BA/AIA permet d'avoir un pourcentage maximum de multiplication. Lamaoui et al.[8] et koufan et al. [9] ont rapporté que

BAP semble aider la partie foliaire à se développer de façon atrophiée chez les microboutures de l'arganier. Cette phythormone a montré également son efficacité pour induire la néoformation des bourgeons adventifs chez l'arganier [3].

L'apport d'AgNO3 à raison de 2mg.L-1 semble nécessaire pour l'amélioration de la qualité des pousses différenciées sans avoir d'effets secondaires indésirables sur les cultures. En effet dans cet essai, une nette amélioration de la vigueur et de la couleur verte des pousses développées a été notée. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Sarropoulou et al. (2016)[10]chez le cerisier.

L'ANA et l'AIB sont des hormones nécessaires pour induire la formation de primordiums racinaires. Dans notre cas, une faible concentration d'ANA (0.5 mg.L-1) a donné des résultats très satisfaisants en combinaison avec l'AIB (1.5 mg.L-1). L'association du putrescine, d'AgNO3 et d'auxines (AIB et ANA) a montré son efficacité à induire l'enracinement des vitroplants issus du matériel juvénile chez l'arganier, avec un taux d'enracinement très important [3].

L'utilisation du milieu MS dilué de moitié pour induire la rhizogenèse chez l'arganier est soutenu par les travaux de bousselmane et al. (2001)[11] et koufane et al. (2018)[9].

5. CONCLUSIONS

Cette étude a mis en évidence un certain nombre de facteurs ayant favorisé le déve-loppement des bourgeons axillaires des microboutures prélevées sur des pieds âgés de l'arganier. En effet, le succès de cette technique chez cette espèce est influencé par plu-sieurs facteurs dont le milieu de culture et la présence de phytohormones. Ainsi, un protocole efficient permettant la multiplication et l'enracinement de l'arganier à partir du matériel adulte a été mis au point avec un taux de débourrement important. L'application de ce protocole chez les génotypes sélectionnés pourrait devenir un atout important pour assurer une production massive des copies conformes de ces génotypes et par la suite contribuer au développement de l'arganiculture.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Lefhaili, A., (2014) Global Forest Resources Assessment, Country Report Morocco. FAO, Rome.

2. Amghar, I., Diria, G., Boumlik, I., Gaboun, F., Iraqi, D., Labhilili, M., Mentag, R., Meziani, R., Mazri, M.A., Ibriz, M., & Abdelwahd, R., (2021a). An efficient regeneration pathway through adventitious organogenesis for the endangered *Argania spinosa* (L.) Skeels .Vegetos. 34:355–367

3. Murashige, T. and Skoog, F., (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures Physiol. Plant. 473-497.

4. Amghar I., Ibriz M., Ibrahimi M., Boudra A., Gaboun F. , Meziani R. , Iraqi D., Mazri A. M. Diria G. & Abdelwahd R. (2021b). In Vitro Root Induction from Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) Adventitious Shoots: Influence of Ammonium Nitrate, Auxins, Silver Nitrate and Putres-cine, and Evaluation of Plantlet Acclimatization. Plants.10,1062.

5. Bellefontaine, R., (2010). De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Science et changements planétaires/Sécheresse, 21(1) :42-53.

6. Nouaim, R., Mangin, G., Breuil, M. C., & Chaussod, R. (2002). The argan tree (*Argania spinosa*) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. Agroforestry systems. 54(1): 71-81.

7. Lamaoui, M., Chakhchar, A., El Kharrassr, Y., Wahbi, S., Ferradous, A., El Mousadik, A., Ibnsouda-Koraichi, S., Filali-Maltouf, A., El Modafar, C., (2019). Selection and multiplication of argan (*Argania spinosa* L.) superior clones for conservation purposes. Acta Sci Agri. 3 :116-123.

8. Lamaoui, M., Salama, A., Chakhchar, A., Ferradous, A., Wahbi, S., El Moousadik, A., & El Modafar, C. (2012). In vitro selection of Argan tree for drought tolerance and its micropropagation through direct organogenesis. New Biotechnology. 29: S184-S185.

9. Koufan, M., Belkoura, I., Alaoui, T., (2018). The multiplication of the argane tree by microcutting (*Argania spinosa* L. Skeels). Eur J Biotechnol Biosci. 6,47–52.

10. Sarropoulou, V., Chatzissavvidis, C., Dimassi-Theriou, K., Therios, I., (2016). Effect of asparagine, cysteine, citrulline, and glutamine on in vitro rooting and biochemical constituents in cherry rootstocks. Biologia Plantarum. 60 (1): 1-12.

11. Bousselmame, F., Kenny, L., Chlyah, H., (2001). Optimisation des conditions de culture pour

l'enracinement in vitro de l'arganier *(Argania spinosa* L.). Life Sciences. 324(11), 995-1000. Boutherin, D., & Bron, G. (1999). Multiplication des plantes horticoles, Ed. Tehnique et Documenta-tion Lavoisier, Paris.

12. Bousselmame, F., Kenny, L., Chlyah, H., (2001). Optimisation des conditions de culture pour

l'enracinement in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L.). Life Sciences. 324(11), 995-1000. Boutherin, D., & Bron, G. (1999). Multiplication des plantes horticoles, Ed. Tehnique et Documenta-tion Lavoisier, Paris.

Effet de la température et de la lumière sur l'optimisation de la germination et la croissance chez l'arganier (*Argania spinosa* (L.)

Bensaid Ayoub*, El Khadir Issam, Mouniane Yassine, Soufiani Abdelaati, Chriqui Ahmed, Doubi Meryem, Zoubir Mohamed Haitam , Ramdan Rajae et Hmouni Driss.

Laboratoire des ressources naturelles et développement durable, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Kénitra 14000, Maroc

** ayoub.bensaid@uit.ac.ma ;*

Mots clés
Argania spinosa, Ecotype, Ombre, Température, Lumière.

RÉSUMÉ

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer et comparer l'effet de certains facteurs abiotiques sur la germination et la croissance des plants de l'arganier. Des graines et des plants d'arganier issus de deux écotypes (Agadir, Essaouira) ont été cultivés dans des conditions différentes de température (20 °C, 30 °C, 35 °C) et de lumière (sous ombrage total ; sous la lumière). Les résultats obtenus montrent que les plantes de l'arganier se développent normalement en les exposant à la lumière et à une température de 30 °C, et que cette plante s'adapte aussi avec les valeurs extrêmes de ces deux facteurs étudiés, mais avec différents degrés, selon l'écotype. Tandis que ces valeurs restent limitantes pour la germination. Le taux de germination le plus élevé (83 %) a été enregistré chez les graines de l'écotype d'Agadir ayant germées sous la lumière et sous une température de 30 °C. Sous ombrage à une température de 20 °C, le taux de germination devient nul pour les des deux écotypes.

Keywords
Argania spinosa, Ecotype, Shade, Temperature, Light

ABSTRACT

Effect of temperature and light on the optimization of germination and growth in argan (*Argania spinosa* (L.)

The present work aimed to evaluate and compare the effect of some abiotic factors on the germination and growth of argan seedlings. Argan seeds and seedlings from two eco-types (Agadir, Essaouira) were grown under different conditions of temperature (20 °C, 30 °C, 35 °C) and light (under shade; under light). The results obtained show that argan plants develop normally when exposed to light and a temperature of 30 °C, and that this plant also adapts to the extreme values of these two factors studied, but with different degrees, depending on the ecotype. While these values remain limiting for germination. The highest germination rate (83%) was recorded in seeds of the Agadir ecotype that germinated under light and a temperature of 30 °C. Under shade at a temperature of 20 °C, the germination rate becomes zero for both ecotypes.

1. INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une sapotacée endémique du sud-ouest du Maroc caractérisée par une longévité de plus de 300 ans [1]. Avec une superficie de 830.000 ha [2], l'arganier est considéré comme un arbre agroforestier d'une grande im-portance au Maroc. Il se caractérise par une grande variabilité génétique qui a contribué à sa résilience aux changements climatiques extrêmes depuis l'ère tertiaire [3]. La capacité de régénération naturelle de l'arganier est très limitée en raison des conditions clima-tiques difficiles, du surpâturage et de la récolte excessive de graines pour l'extraction de l'huile [4]. Cette étude vise à évaluer les effets de certains facteurs abiotiques, tels que la température

et la lumière, sur la germination et le développement initial des plantules de l'arganier. Deux écotypes distincts ont été examinés pour évaluer leur adaptabilité à ces conditions environnementales.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Des graines d'arganier ont été collectées à partir de deux régions (Agadir et Essaouira), pour les utilisées dans le test de germination. Les graines ont été trempées dans l'eau pendant 24 heures, puis placées pour germination dans un substrat composé de la tourbe pendant 3 semaines sous différentes conditions de température (20°C, 30°C, 35°C; ±2°C), et de lumière (ombre et exposition directe à la lumière (16h)). Pour le test de croissance, des plantes de 2 mois sont placées dans les mêmes conditions de la germination pendant une période d'un mois.

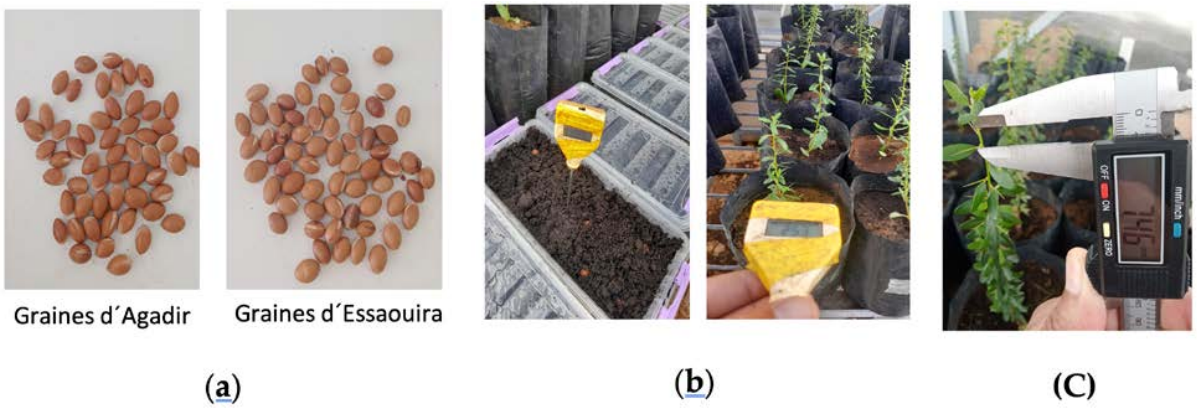


Figure 1 : Matériel utilisé (a) des graines issues de deux écotypes ; (b) graines et plantules sous des conditions contrôlées (température, lumière) ; (c) mesure de la langueur des entre nœuds à l'aide d'un pied à coulisse.

Les paramètres suivis au cours de cette étude sont: le taux de germination, le temps de latence et la longueur des entre nœuds de la tige.

3. RÉSULTATS

3.1. Test de germination

3.1.1. Taux de germination

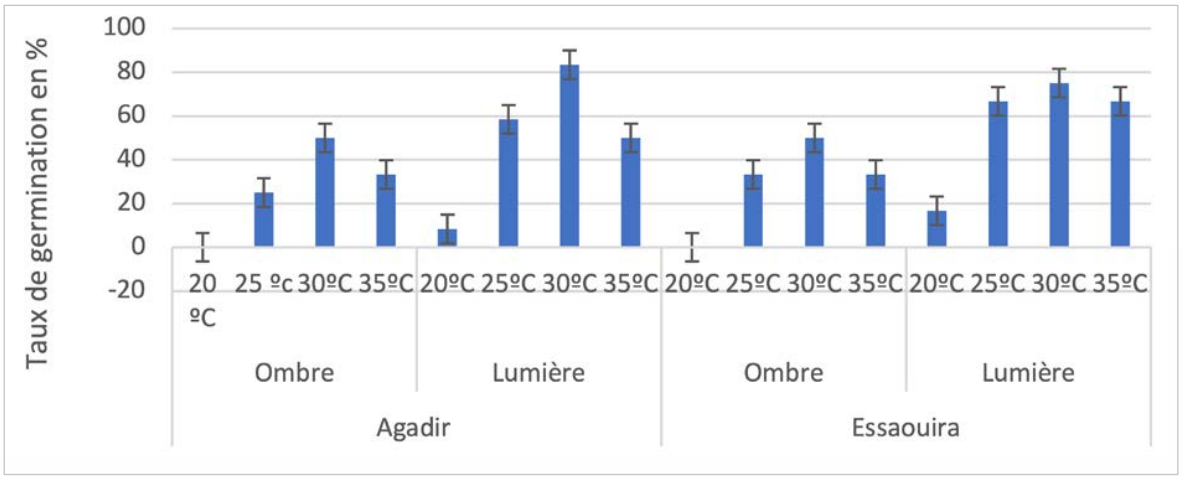


Figure 2 : Taux de germination des graines des deux écotypes en fonction des différents traitements appliqués.

Les résultats montrent que la température et la lumière influencent significativement le taux de germination des graines de l'arganier (tableau 1). Le taux de germination le plus élevé (83,33 %) été obtenus chez les graines issus de l'écotype d'Agadir mis en germi-nation sous la lumière à une température de 30 °C. Dans les autres conditions climatiques (température et lumière), les taux de germination les plus élevés étés enregistrés chez les graines provenant d'Essaouira. À une température de 20 °C et sous l'ombre la germi-nation devient nulle pour les deux écotypes.

Tableau 1: Test statistique ANOVA sur l'effet de la température, de la lumière et de l'écotype sur le taux de germination.

Variables	Probabilité	Signification
Température	0,001650	**
Lumière	0,031858	*
Ecotype	0,761969	-

*** : P<<0,05 (différence hautement significative), * : P<0,05 (différence significative), – : P>0,05 (différence non significative).*

3.1.2. Temps de latence

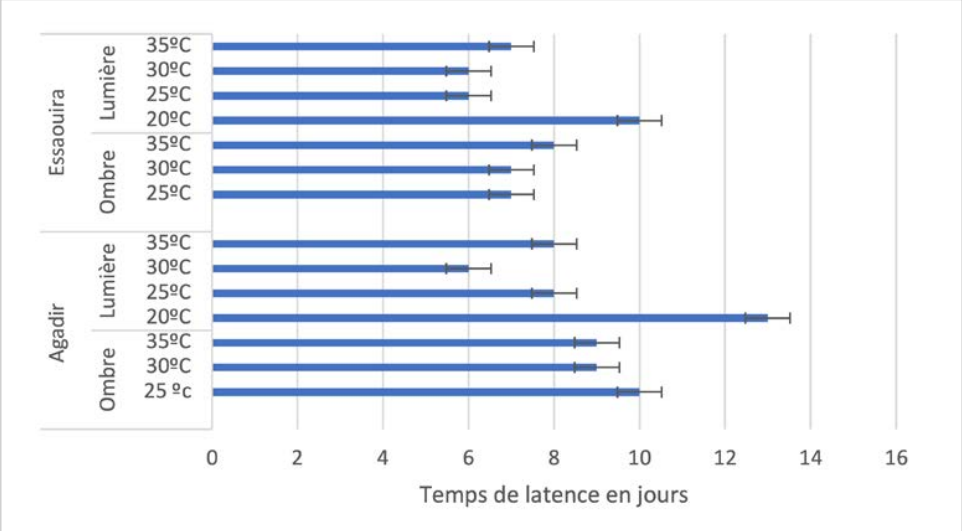


Figure 3 : Variation du temps de latence en fonction de l'écotype, la lumière et la température

Le temps de latence chez les graines d'arganier dépend de leur exposition à la lumière, de la température et de l'écotype ; le temps de latence le plus court (6 jours) été enregistré chez les graines issues d'Essaouira qui ont germées sous la lumière à une température de 25 °C&30 °C, et également chez les graines d'Agadir ayant séjourné sous une température de 30 °C. La température a un effet très significatif sur le temps de latence (tableau 2).

Tableau 2: Test statistique ANOVA sur l'effet de la température, de la lumière et de l'écotype sur le temps de latence.

Variable	Probabilité	Signification
Température	0,002499	**
Lumière	0,148903	-
Ecotype	0,518174	-

*** : P<<0,05 (différence hautement significative), – : P>0,05 (différence non significative).*

3.2 Taille des entre nœuds

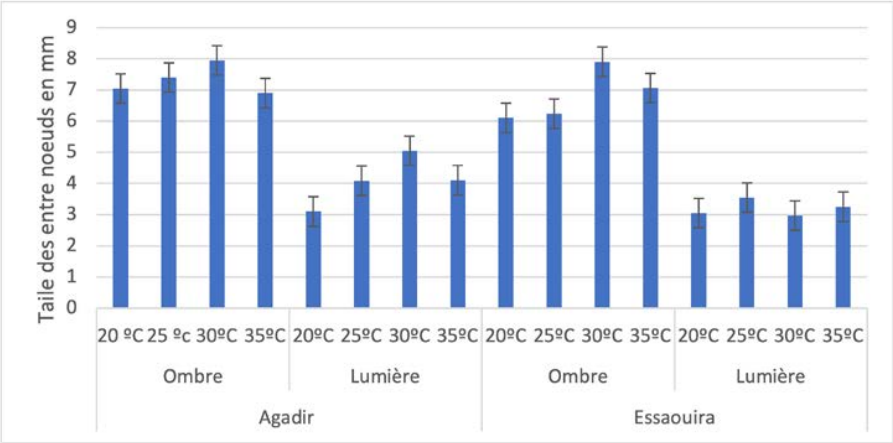


Figure 4 : Variation de la taille des entre nœuds des plantes d'arganier en fonction de l'écotype et de différents facteurs climatiques.

La taille des entre nœuds varie en fonction de la température appliquée, la lumière et de l'écotype. Sous l'ombre, elle augmente, alors que sous la lumière elle reste réduite. Sous l'ombre la taille des entre nœuds est plus longue chez les plants issus d'Agadir en comparaison avec d'Essaouira. Par contre, exposant les plantes à la lumière, la taille des entre nœuds reste plus réduite chez les plantes d'Essaouira. La lumière a un effet hau-tement significatif sur la langueur des entre nœuds (tableau 3).



Figure 5 : Adaptation des plants d'arganier avec les différents facteurs étudiés (a) plant de la région d'Agadir cultivé sous l'ombre à une température de 25 °C ; (b) plant de la région d'Essaouira cultivé en exposition à la lumière à une température de 30 °C.

Tableau 3: Test statistique ANOVA sur l'effet de la température, de la lumière et de l'écotype sur la longueur des entre nœuds.

Variable	Probabilité	Signification
Température	0,890760	-
Lumière	0,000300	**
Ecotype	0,080390	-

*** : P<<0,05 (différence hautement significative), – : P>0,05 (différence non significative).*

4. DISCUSSION

En considérant l'ensemble des résultats obtenus lors de cette étude, on peut conclure que les conditions de température et de la lumière ont un effet considérable sur les paramètres de germination. Avec un effet marqué de l'écotype. Plusieurs études confirment que la lumière et la température ont un effet significatif sur la variation du pourcentage de germination et le temps de latence pour les graines d'arganier [5,6]. L'origine des graines a un impact sur le temps de latence et sur le pourcentage final de germination. Les graines originaires d'Essaouira germent plus vite et facilement en comparaison avec celles ori-ginaires d'Agadir [7]. Nous avons observé que dans des conditions de températures plus basses (20°C) et en absence de la lumière, la germination devient nulle pour les deux écotypes. Donc, on peut considérer ces facteurs comme étant limitants pour la germination des graines de l'arganier. Nous avons remarqué aussi que les plants d'arganier se développent même dans des températures élevées 35 °C. L'arganier peut supporter des températures allant jusqu'à 50 °C [8], en effet l'arganier s'adapte par la variation des conditions climatiques (température, lumière), cette adaptation varie d'un écotype à l'autre. Selon notre étude les plantes d'Essaouira sont mieux adaptées avec les valeurs maximales, alors que les plantes d'Agadir sont plus adaptées avec les valeurs minimales de ces facteurs climatiques, et on peut expliquer ça par la variation génétique et la richesse allélique des plantes issue d'Essaouira. Ces résultats sont confirmés par Alami et al. [9], qui considèrent que cette richesse allélique, générée par la sélection naturelle des allèles, passe par l'effet du changement climatique.

5. CONCLUSIONS

La germination et la croissance de l'arganier influencées par les facteurs climatiques (température, lumière). Cette étude met en évidence les effets différenciés des facteurs climatiques sur la germination et le développement initial de l'arganier, en mettant en lumière l'importance de la diversité génétique pour assurer sa résilience face aux changements environnementaux. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour orienter les stratégies de conservation et de la régénération de cette espèce.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Boudy P. Economie forestière Nord-africaine-Tome 2 : monographies et traitements des essences forestières. 1950; Available from: https://agris.fao.org/search/en/providers/122653/records/64745be62437ad1e5b964b2e.

2. Naggar M. La gestion durable de l'arganeraie et les enjeux de lutte contre la désertification. Espace Géographique et Société Marocaine. 2018 ; Available from: https://revues.imist.ma/index.php/EGSM/article/download/12550/7014.

3. Nouaim R. L'arganier au Maroc: Entre mythes et réalités-Une civilisation née d'un arbre. 2005 ; Available from: https://www.torrossa.com/it/resources/an/5104900.

4. Mezghenni H, Hamrouni L, Hanana M, Jamoussi B, Bouzid S, Khouja ML, et al. Multiplication de l'Arganier *Argania spinosa* (L.) Skeels. Journal of New Sciences. 2014. Available from: https://www.jnsciences.org/agri-biotech/18-volume-10/39-multiplication-de-l-arganier-argania-spinosa-l-skeels.html.

5. Alouani M, Bani-Aameur F. Effet de la lumière sur la germination des graines d'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels). Acta Botanica Gallica. 2003 ; 150 : 59-64.

6. Ferradous A, Lamhamedi MS, Ouhammou A, Alifriqui M. Mise en œuvre opérationnelle du test au tétrazolium de viabilité des graines d'arganier (*Argania spinosa*) conservées plusieurs années. Revue canadienne de recherche forestière. 2017 ; 47 : 1286-92.

7. Elmandouri FZ, Fadli A, Talha A, Chetto O, Omar A, Bahloul YE, et al. Développement de conditions optimales pour la germi-nation des graines d arganier. 2020 Biotechnologie des cellules végétales et biologie moléculaire 21(37&38):57-66 .

8. M'hirit Omar, Benzyane Mohamed, Benchekroune Fouad. L'arganier : Une espèce fruitière-forestière à usages multiples. 1998/ O. M'Hirit, M. Benzyane, F. Benchekroun, et al. Sprimont, Belgique : Mardaga ;

9. Alami M, Belkadi B, Yatrib C, Medraoui L, Pakhrou O, Rabeh K, et al. Dynamique du couvert arboré sur la variation génétique adaptative et le pouvoir évolutif des forêts d'arganiers de la région d'Essaouira au Maroc face au changement

climatique. Dans : Mabrouki J, Mourade A, Irshad A, Chaudhry SA, éditeurs. Technologie avancée pour un environnement et une énergie intelligente. 2023. Cham : Springer International Publishing ;. p. 187-205. Disponible sur : https://doi.org/10.1007/978-3-031-25662-2_16.

Effect of mineral and organic fertilizers, on growth young argan trees (*Argania spinosa* L.)

Naima Chabbi[1,2*] , Abdelaziz Mimouni[2] , Salahddine Chafiki[2,3] , Maryem Telmoudi[1,2] , Said El abbassi [2,4] , Redouan Qessaoui[2] , Rachid Bouharroud[2] , Khadija Bendiab[1] , Driss Hsissou[1] , Naima Ait Aabd[2].

[1] *Laboratory of Agrobiotechnology and Bioengineering, Department of Biology, Faculty of Science Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.*

[2] *Régional Center of Agronomic Research of Agadir, Institut National de Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[3] *AgroBioSciences Department (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University UM6P)*

[4] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, P.O. Box 8106 Agadir, Morocco*

** n.chabbi.ced@uca.ac.ma*

Keywords
Argania spinosa, compost, NPK, vegetative growth

ABSTRACT

In agriculture, organic and inorganic fertilization are important for improving the nutritional status of plants. Our study aims to evaluate the effect of different doses of compost and NPK fertilizers on the vegetative growth parameters of the *Argania spinosa* plant. Eight treatments (con-trol; F1-2.5 kg/plant Compost F1-5 kg/plant Compost; F2-5 kg/plant Compost; F2-10 kg/plant Compost; F1-80.50.70 NPK; F1-125.75.100 NPK; F2-160.100.140 NPK; F2-250.150.200NPK) were applied during 2 years (2021-2023) in two experimental sites. For Tamjlojt site, the highest per-centage increase in height was recorded in T4 (F2-250.150.200NPK), with a gain value of 74.31 ± 12.31% in 2022 and in T8 (F2-10 kg/plant Compost), with a gain value of 39.02 ± 9.44% in 2023. The treatments with the highest collar diameter values in 2022 were T3 and T7 at 115.63 ± 33.88 and 101.09 ± 20.84, respectively. In 2023, the highest collar diameter value was found in T8 at 53.35 ± 23.76. Regarding circumference, T4 had the highest value in 2022 at 187.27 ± 53.54% and T8 had the highest value in 2023 at 74.86 ± 24.72%. For Rasmouka site, the highest percentage increase in height was recorded in T7, with a value of 43.14±10.06 % in 2023 and in T8, with a value of 35.99 ± 8.04% in 2022. In 2023, the treatments with the highest collar diameter values were T8 and T7, measuring 55.05±15.70% and 54.08±9.64%, respectively. Regarding circumference, T8 and T7 had the highest value in 2023 at 53.36±15.11 and 50.34±11.29 respectively.

Mots clés
Argania spinosa, compost, NPK, croissance végétative

RÉSUMÉ

Effet des engrais minéraux et organiques sur la croissance des jeunes arganiers (*Argania spinosa* L.)

En agriculture, la fertilisation organique et inorganique est importante pour améliorer l'état nutritionnel des plantes. Notre étude vise à évaluer l'effet de différentes doses de compost et d'engrais NPK sur les paramètres de croissance végétative de la plante *Argania spinosa*. Huit traitements : Témoin ; F1-2,5 kg/plante Compost ; F1-5 kg/plante Compost ; F2-5 kg/plante Compost ; F2-10 kg/plante Compost ; F1-80.50.70 NPK ; F1-125.75.100NPK ; F2-160.100.140 NPK ; F2- 250.150.200NPK) ont été appliqués pendant 2 ans (2021-2022) dans deux sites expérimentaux. Pour le site de Tamjlojt, le pourcentage le plus élevé d'augmenta-tion de la hauteur a été enregistré dans T4, avec une valeur de 74,31 ± 12,31% en 2021 et dans T8, avec une valeur de 39,02 ± 9,44% en 2022. Les traitements présentant les valeurs de diamètre au collet les plus élevées en 2021

étaient T3 et T7 avec 115,63 ± 33,88 et 101,09 ± 20,84, respectivement. En 2022, la valeur la plus élevée du diamètre du collet a été trouvée dans T8 à 53,35 ± 23,76. En ce qui concerne la circonférence, T4 avait la valeur la plus élevée en 2021 avec 187,27 ± 53,54% et T8 avait la valeur la plus élevée en 2022 avec 74,86 ± 24,72%. Pour le site de Rasmouka, le pourcentage d'augmentation de la hauteur le plus élevé a été en-registré dans le traitement T7, avec une valeur de 43,14±10,06 % en 2022 et dans le traitement T8, avec une valeur de 35,99 ± 8,04 % en 2021. En 2022, les traitements avec les valeurs de diamètre de collet les plus éle-vées étaient T8 et T7, mesurant 55,05±15,70% et 54,08±9,64%, respectivement. En ce qui concerne la circon-férence, les traitements T8 et T7 ont eu la valeur la plus élevée en 2022 avec 53,36±15,11 et 50,34±11,29 respectivement.

1. INTRODUCTION

In today's world, fertilizers play an extremely important role in the enrichment of soil fertility which in turn promotes plant growth (Osman, 2013). Inorganic and organic fertilizers have an important role in increasing agricultural pro-duction (Ilahi et al., 2021). The most commonly used fertilizers presently are the NPK fertilizers, the chemical fertilizers might be essential because it can re-establish soil fertility very quickly and the nutrients are obtainable to the plants as soon as the fertilizers are dissolved (Roba, 2018). Macronutrients are important nutrients for plant growth. Nitrogen, phosphorus and potassium are the prime macronutrients that helps plant growth and development(Hawkesford et al., 2023; Jose, 2022). It is well known that nitrogen (N) is a limiting factor in crop production and that fertilization is necessary for vegetative growth (leaves, stem, and roots) and a high yield of good quality (Alhammad et al., 2023). Additionally, P is the second limiting macronutrient who plays a pivotal role in regulating plant energy generation through ATP synthesis and various transport mechanisms (Cho et al., 2021), in the same way, Potassium is one of the most important plant nutrients and is essential for plant growth, metabolism, and development (Sustr et al., 2019). It is a highly mobile element and is up taken by plants as k+ion. It's the most abundant cation in living plant cells. The purpose of the research was to evaluate the impact of different doses of compost and NPK fertilizer under agro-climatic conditions of two different sites in Morocco on improving the growth characteristics of Argania spinosa .

2. MATERIALS AND METHODS

Study site

The experiment was carried out in the arganiculture platforms among the agricultural development project in vul-nerable areas. Two argan fields located in the the Souss Massa vulnerable areas, represented by two sites, Tamjlojt (Chtouka Ait Baha) and Rasmouka (Tiznit) have been selected to organic and mineral fertilization tests. Therefore, the present experiment was conducted during two consecutive experimental years (2022 and 2023) on young argan trees (four-year-old) planted at 4x10 meters.

Field experiments and treatments

To evaluate the effect of different doses of compost and NPK fertilizers on the growth characteristics, soil proprieties, biochemical and antioxidant potential of Argania spinosa, eight treatments were applied (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 and T8). T0 as a control without fertilizer application.

Table 1: Dose and frequency of chemicals and organic fertilizers application

Treatments	Fertilizers	Dose			Frequency
T0	No fertilizers	0			-
T1	Chemical fertilizers application g/plant	N	P	K	-
		80	50	70	F1
T2		125	75	100	F1
T3		160	100	140	F2
T4		250	150	200	F2
T5	Organic fertilizers application kg/plant	2.5			F1
T6		5			F1
T7		5			F2
T8		10			F2

T1 and T2 (80-50-70 and 125-75-100 g/plant of N-P-K respectively) and T5 and T6 (2.5 and 5 kg of compost/plant) are mineral and organic fertilizer treatments applied twice a year in March and September (F1). T3 and T4 (160-100-140 and 250-150-200 g/plant of N-P-K respectively) and T7 and

T8 (5 and 10 kg of compost /plant) are mineral and organic fertilizer treatments applied once a year (F2).

The characteristics of compost used are presented in the table 3. Four experiments were carried out at each site. The application of different treatments in each experiment was performed using a completely randomized design with three replicates. Each replicate consisted of six plants. The practices adopted in the farm concerning fertilizers application, it was applied twice seasons F1 (March and September) and one season F2 (March) each year.

Vegetative growth parameters

The growth parameters, plant height, collar diameter, and the circumference rate were recorded in each harvest. Plant height and the circumference were measured on 18 selected plants for each treatment with a meter ruler from ground to the base of soil. The collar diameter was measured at a marked point, 3 cm above the ground level. These parameters are expressed by percentage.

3. RESULTS

Vegetative growth parameters

The agronomic performance of Argania spinosa in two sites studied were significantly influenced by inorganic fertilizer (NPK) and organic (compost) treatments over control. In the first year, for Tamjlojt site, all organic and inorganic treatments improved agronomic parameters (height rate, collar diameter and the circumference). For height rate, the results showed that treatments T3 and T4 significantly increased height with percentages of 71.94%±21.15 and 74.31%±12.31 respectively, followed by T1, T7 and T8 with percentages of 52.95%±14.19, 50.52%±13.62 and 49.79%±9.22 respectively. Thus, for the collar diameter, all treatments showed a significant difference. The most notable difference was observed with treatments T3 and T7 with 115.63%±33.88 and 101.09%±20.84 respectively. The least significant difference was observed with T2, with a gain of 40.98%±11.45 compared to the control, which was 20.92%±2.77. Hence, for the circumference, the results showed a significant improvement by the treatments. The treatments T4, T3, and T1 demonstrated the highest gain. The lowest gain was in T6 with 45.67%±12.64, which did not exhibit any significant difference when compared to the controls gain of 23.96%±3.56 5.

In the second year, at the same site, both organic and inorganic treatments increased the measured agronomic pa-rameters. For height rate, the results showed that the treatments T8, T7, T3 and T4 improved the gain with the following percentages 39.02%±9.44, 29.65%±9.10,29.24%±9.11 and 24.31%±4.35 respectively, compared to the control.

The results revealed that the treatments were effective in increasing the collar diameter. The treatment that most significantly increased this parameter was T8 (53.35%±23.76), followed by T7 (26.30%±4.80), and T2 with a gain of 26.31%±4.43 compared to the control. However, the smallest increase was observed with T5 with a diameter of 20.02 ± 4.27 %. For the measurement of circumference, the treatments showed a significant difference were T8 followed by T7, T3 and T4 with values of 74.86%±24.72, 63.99%±21.37, 41.86%±14.96 and 37.10%±11.75 respectively. The other treatments (T1, T2, T5 and T6) showed no significant difference compared to the control.

For Rasmouka site, the height gain was increased significantly in the two years, in 2022 the highest gain was observed in the treatments T8, T7 and T2 with a value of 35.99% ±8.04 , 28.69% ±7.41 and 28.51%± 7.29 respectively, followed with T1 ,T5 ,with a gain of 20.01%±4.81 and 19.3%±4.26 . In 2023, for the same parameter, the treatments with the important increase were T7 and T8 with a value of 43.14%±10.06 and 36.44%± 9.95 followed with T4 ,T3 and T2 with a gain of 19.5% ±2.76, 18.95%±4.61 and 18.57%±4.96 respectively. For collar diameter, in the second year the treatments with a significant increase were founded in T8and T7 with a value of 55.05%±15.7 and 54.08%±9.64. For the circumference parameter, the treatments which increased significantly this parameter were T8 and T7 with a value of 33.79%+-7.88 and 31.19%+-8.59 in 2022 contrary to the year 2023 which we didn't found any significance difference.

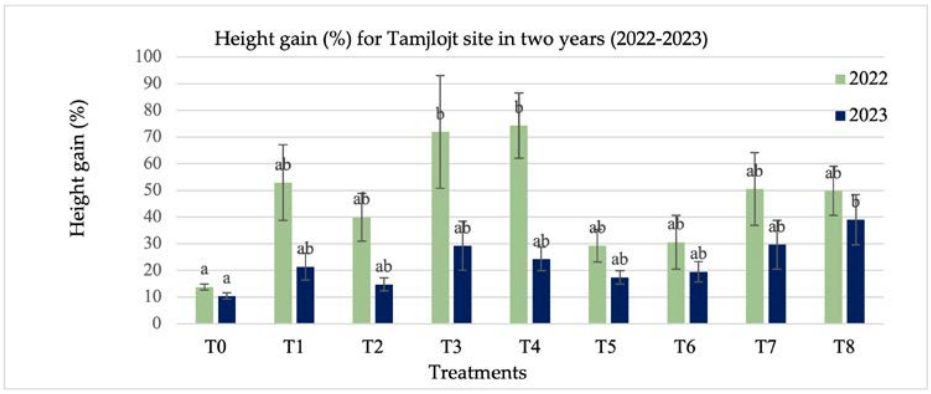


Figure 1 : effect of different treatments on Argania spinosa growth in Tamjlojt site

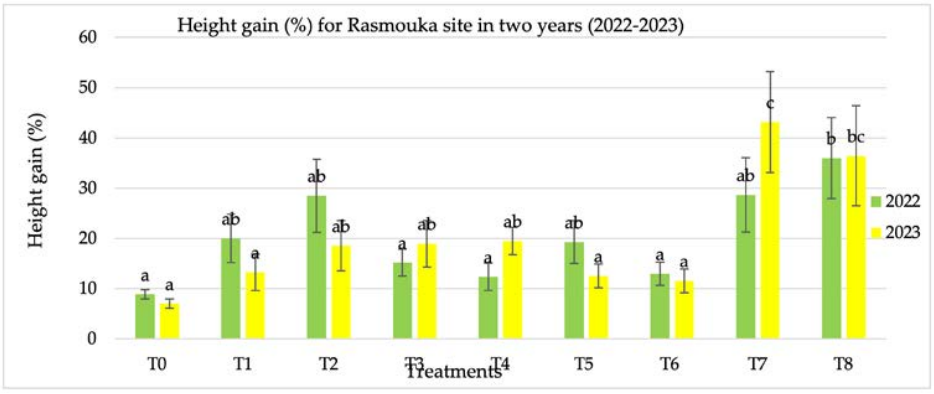


Figure 2 : effect of different treatments on Argania spinosa growth in Rasmouka site

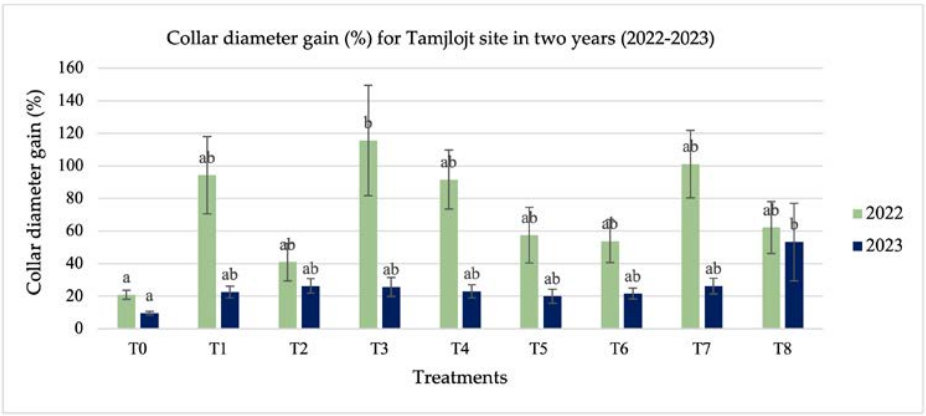


Figure 3 : effect of different treatments on Argania spinosa collar diameter in Tamjlojt site

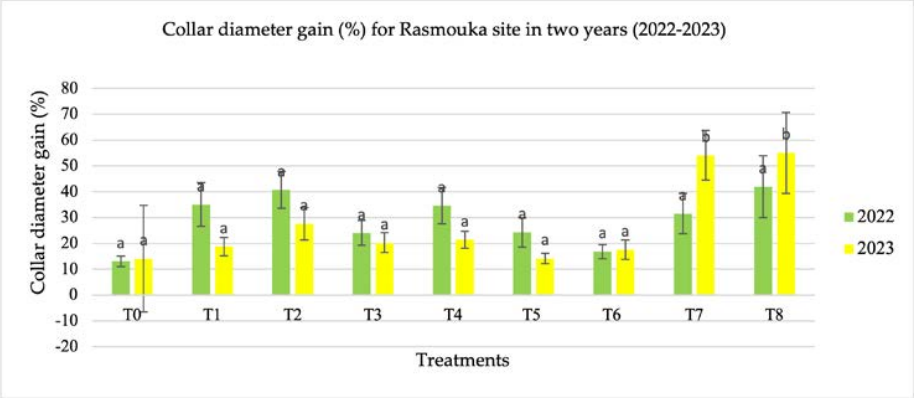


Figure 4 : effect of different treatments on Argania spinosa collar diameter in Rasmouka site

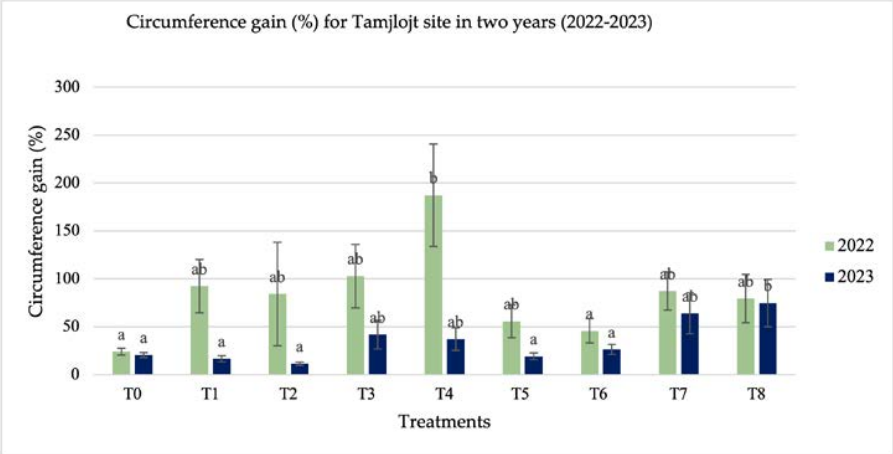


Figure 5 : effect of different treatments on Argania spinosa circumference in Tamjlojt site

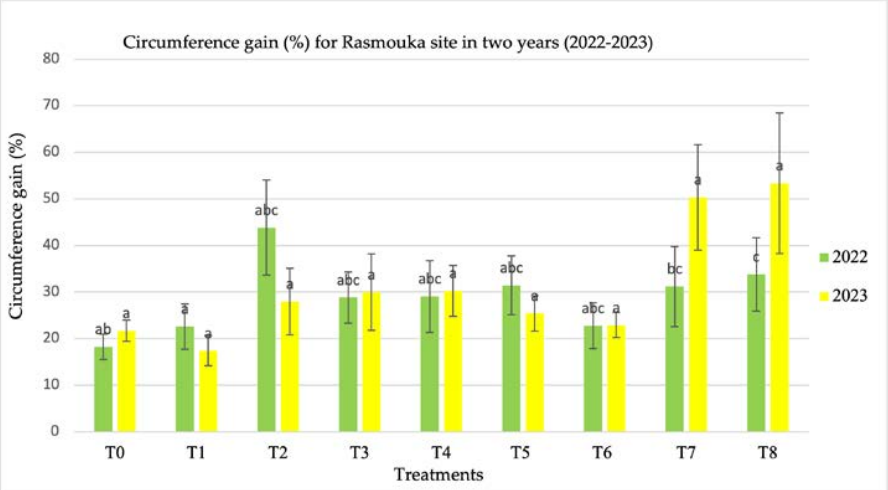


Figure 6: effect of different treatments on Argania spinosa circumference in Rasmouka site

4. DISCUSSION

This study evaluated the effects of different types and doses of fertilizer, both organic and mineral, over a two-year period (2022-2023) at two experimental sites (control; F1-2.5 kg/plant compost; F1-5 kg/plant compost; F2-5 kg/plant compost; F2-10 kg/plant compost; F1-80.50.70 NPK; F1-125.75.100NPK; F2-160.100.140 NPK; F2-250.150.200NPK). The results showed that the application of chemical and organic fertilizers significantly increase the agronomic parameters.

For Tamjlojt site, the highest percentage increase in height was recorded in T4, with a value of 74.31 ± 12.31% in 2022 and in T8, with a value of 39.02% ± 9.44in 2023. The treatments with the highest collar diameter values in 2022 were T3 and T7 at 115.63% ± 33.88 and 101.09% ± 20.84, respectively. In 2023, the highest collar diameter value was found in T8 at 53.35% ± 23.76. Regarding circumference, T4 had the highest value in 2022 at 187.27% ± 53.54 and T8 had the highest value in 2023 at 74.86% ± 24.72. For Rasmouka site, the highest percentage increase in height was recorded in T7, with a value of 43.14%±10.06 in 2023 and in T8, with a value of 35.99% ± 8.04 in 2022. In 2023, the treatments with the highest collar diameter values were T8 and T7, measuring 55.05%±15.70 and 54.08% ±9.64, respectively. Regarding circumference, T8 and T7 had the highest value in 2023 at 53.36%±15.11 and 50.34%±11.29 respectively. These findings were also in accordance with (Mazeh et al., 2021) who reported that both chemical and organic fertilization on Young Potted Olive Trees significantly increased the growth of the trees with respect to the control which similar to our results. The organic fertilizer determined a higher growth than the chemical one, showing a higher increment of both the collar diameter (+22%) and tree height (+30%). The organic fertilizer has also been reported to have a biostimulant action due to the high content of amino acids and protein similarly to the results founded by (Erel et al., 2013) that shows that the collar diameter of olive seedlings is significantly influenced by nitrogen and phosphorus concentrations, the treatments deficient in nitrogen and phosphorus caused smaller collar diameters, while potassium had no effect. Also, (Jakhro et al., 2022) found that the plant height and collar diameter of olea europeae responded significantly to the increased (NPK 50:25:25) and (FYM 2:2) followed by treatment (P 25g alone), treatment (N 50g alone), and treatment (K 25g alone). The importance of phosphorus was confirmed by (Jiménez-Moreno & Fernández-Escobar, 2016), who showed that vegetative growth showed a reduction in growth at the lower doses of P application. However, (Rivest et al., 2011) showed that tree growth (annual shoot elongation) was affected positively by fertilization, especially by nitrogen fertilization. However, collar diameter growth did not respond to phosphorus or nitrogen soil fertilization.

5. CONCLUSION

The current study revealed that mineral and organic fertilization has a positive effect on improving the growth characteristics of Argania spinosa. The organic fertilization presents the important values compared to the mineral one. the results showed that for the two sites, the treatments T7 and T8 had a positive effect where it increases the different parameters studied, the height, the collar diameter and circumference, of Argania spinosa in both years compared to the control.

REFERENCE

1.Alhammad, B. A., Mohamed, A., Raza, M. A., Ngie, M., Maitra, S., Seleiman, M. F., Wasonga, D., & Gitari, H. I. (2023). Optimizing Productivity of Buffel and Sudan Grasses Using Optimal Nitrogen Fertilizer Application under Arid Conditions. Agronomy , 13(8), 2146. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13082146

2.Cho, H., Bouain, N., Zheng, L., & Rouached, H. (2021). Plant resilience to phosphate limitation: current knowledge and future challenges. Critical Reviews in Biotechnology, 41(1), 63–71. https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1825321

3.Croft, H., Chen, J. M., Luo, X., Bartlett, P., Chen, B., & Staebler, R. M. (2017). Leaf chlorophyll content as a proxy for leaf photosynthetic capacity. Global Change Biology, 23(9), 3513–3524. https://doi.org/10.1111/GCB.13599

4.Hawkesford, M. J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L. J., Lambers, H., Schjoerring, J. K., & White, P. J. (2023). Functions of macronu-trients. Marschner's Mineral Nutrition of Plants, 201–281. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00019-8

5.Houborg, R., McCabe, M. F., Cescatti, A., &

Gitelson, A. A. (2015). Leaf chlorophyll constraint on model simulated gross primary productivity in agricultural systems. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 43, 160–176. https://doi.org/10.1016/J.JAG.2015.03.016

6. Ilahi, H., Hidayat, K., & Adnan, M. (2021). Accentuating the Impact of Inorganic and Organic Fertilizers on Agriculture Crop Production: A Review. Indian Journal of Pure and Applied Biosciences, 9(1), 36–45. https://doi.org/10.18782/2582-2845.8546

7. Jose, J. V. (2022). Physiological and molecular aspects of macronutrient uptake by higher plants. Sustainable Plant Nutrition: Molecular Interventions and Advancements for Crop Improvement, 1–21. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18675-2.00010-9

8.Osman, K. T. (2013). Plant Nutrients and Soil Fertility Management. Soils, 129–159. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2_10

9.Roba, T. B. (2018). Review on: The Effect of Mixing Organic and Inorganic Fertilizer on Productivity and Soil Fertility. Journal, 5, 4618. https://doi.org/10.4236/oalib.1104618

10.Roca, L. F., Romero, J., Bohórquez, J. M., Alcántara, E., Fernández-Escobar, R., & Trapero, A. (2018). Nitrogen status affects growth, chlorophyll content and infection by Fusicladium oleagineum in olive. Crop Protection, 109, 80–85. https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2017.08.016

11. Sustr, M., Soukup, A., & Tylova, E. (2019). Potassium in Root Growth and Development. Plants , 8(10), 435. https://doi.org/10.3390/PLANTS8100435

12.Zivdar, S., Arzani, K., Souri, M. K., Moallemi, N., & Seyyednejad, S. M. (2016). Physiological and Biochemical Response of Olive (Olea europaea L.) Cultivars to Foliar Potassium Application. J. Agr. Sci. Tech, 18, 1897–1908.

Fusarium solani, un pathogène responsable de la pourriture racinaire et de dépérissement des plants d'arganier des pépinières au Maroc

Mohamed EL RHOCH[1*], Soukaina MAAZOUZI[1], Mohamed OUAJDI[1], Zineb SELLAL[1], Najoua MOUDEN[1], Karima SELMAOUI[1], Amina OUAZZANI TOUHAMI[1], Moulay Abdelaziz EL ALAOUI[1], Amar RABHI[2], Allal DOUIRA[1].

[1] *Laboratoire des Productions Végétales, Animales et Agro-industrie, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc*

[2] *Centre d'Innovation, de Recherche et de Formation, Agence Nationale des Eaux et Forêts, Rabat Agdal 10050, Maroc*

** elrhochmohamed123@gmail.com*

Mots clés
Argania spinosa, plants, pépinières, pourriture racinaire, dépérissement, Fusarium solani, postulat de Koch.

RÉSUMÉ

L'extension de la culture de l'arganier pourra connaitre des problèmes liés aux maladies fongiques. Fusarium solani a été détecté en 2023 chez des plants d'arganier des pépinières du sud-ouest du Maroc montrant des dépérissements. Le postulat du Koch a été étudié chez des plants inoculés par Fusarium solani isolé des plants malades. Les plants inoculés, après 8 à 10 semaines de culture, ont montré différents types de symptômes, nécroses, pourriture racinaires et dépérissement de la partie végétative. Le pathogène a été ré isolé à partir des racines, et à partir de différents niveaux des plants, avec un pourcentage de ré isolement de 80% par rapport aux plants témoins qui n'ont pas présenté de symptômes. L'origine des symptômes a été discutée dans cette étude.

Keywords
Argania spinosa, seedling, nurseries, root rot, dieback, Fusarium solani, Koch's postulate

ABSTRACT

Fusarium solani, causing root rot and dieback symptom of Argan plants from nurseries in Morocco.

Fungal disease can be a serious concern in commercial Argania spinosa nurseries. In Morocco, severe Fusarium-diaback symptoms were observed in argan seedlings planted in nursery located in southwestern area of Morocco while a prospecting trial was conducted on 2023. Using traditional isolation methods, the causal agents, was identified as Fusarium solani before pathogenicity test was carried out. Healthy argan seedlings was inoculated through root deep-inoculation method and monitored for 8 to 10 weeks from transplants. Symptomatic plants showed root necrosis, root rot and stunted growth affecting vegetative parts. Koch's postulate was verified by re-isolating the F. solani isolate from diseased plants at different levels, with a percentage of 80% compared to control plants. No disease symptoms were detected in control plants. The main source of infection and disease symptoms are discussed in this research.

1. INTRODUCTION

La production des plants dans les pépinières constitue le principal maillon de la chaîne des reboisements dont dépend leur réussite (El Asri et al., 2013 et 2014). La qualité des plants produits en pépinière est considérée comme l'un des facteurs limitant l'installation et la survie des jeunes semis en site de plantation (Zine El Abidine et Lamhammedi, 1994 ; Zine El Abidine et al., 2016). Ces plants doivent être vigoureux, ayant les caractéristiques biologiques et physiologiques requises pour assurer leur survie et leur croissance après transplantation (Ammari et al., 2020).

L'état sanitaire des plants forestiers dans les pépinières est peu connu au Maroc. La présente étude concerne la qualité sanitaire des plants d'arganier élevés dans des pépinières situées dans le sud-ouest du Maroc présentant des symptômes de dépérissement. Un complexe fongique a été isolé à partir de ces plants, y compris Fusarium solani. Le pouvoir pathogène de cette espèce fongique tellurique à l'encontre des plants d'arganier a été étudié pour la première fois au Maroc.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Des plants d'arganier des pépinières de Sud-Ouest du Maroc, présentant des symptômes de desséchement, de dépérissement, jusqu'à 60%, et des nécroses racinaires (figure 1). Ces plants sont ramenés au laboratoire et des isolements sont effectués à partir des racines, et des rameaux desséchés. Les échantillons sont découpés en fragments de 1 à 2 cm, désinfectés avec l'alcool, déposés sur milieu PSA (Potato Sucrose Agar : 200 g de pomme de terre, 20 g saccharose, 15 g agar, 1000 ml eau distillée) et les cultures sont incubées à 25°C. L'identification des espèces fongique isolées a été effectuée à l'aide d'observations microscopiques des cultures, après purification sur différents milieux de culture.

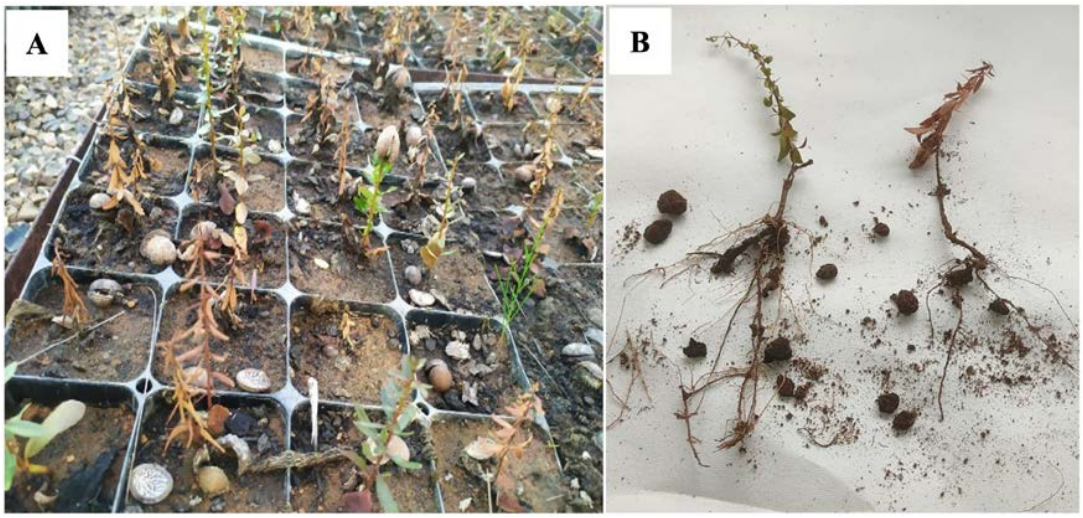


Figure 1 : Plants d'arganier élevés au niveau de la pépinière montrant des symptômes de dépérissement et des nécroses racinaires.

Les observations microscopiques ont permis d'identifier les espèces fongiques après avoir calculé leurs pourcentages d'isolement :

$Pi = NSX/ NT \times 100$

NSX : Nombre de colonies du champignon X

NT : Nombre total de colonies de toutes les espèces isolées.

Parmi les espèces fongiques isolées, un isolat de Fusarium solani a été choisi au hasard pour inoculer des plants d'arganier. L'inoculum est préparé après 10 jours de culture de ce champignon sur milieu PSA à une température de 25°C. La suspension de spores est préparée en grattant les cultures dans l'eau distillée stérile puis ajustée à l'aide d'un hématimètre à 105 spores ml-1.

Des plants d'arganier, âgés de 10 semaines, développés à partir des graines désinfectées sont d'abord dépotés, les racines sont lavées sous un courant d'eau puis rincées avec de l'eau distillée

stérile. Les plants sont, par la suite, trempés pendant une heure dans une suspension sporale préparée. Après, les plants sont plantés dans des sachets remplis de sols de Maamora et arrosés avec 250 ml de la suspension sporale. La même opération a été effectuée pour les plants témoins, sauf que la suspension sporale a été remplacée par l'eau distillée stérile.

Tous les plants sont placés dans une serre et irriguées chaque semaine avec l'eau de robinet. Le développement des symptômes a été suivi pendant 2 mois chez les plants d'arganier inoculés. Le réisolement de Fusarium solani à partir des plants d'arganier inoculés a été réalisé également 2 mois après inoculation des racines. Les plants inoculés ont été déterrés et débarrassés de substrat de culture, lavés abondamment à l'eau courante. Des coupes transversales au niveau des racines, des tiges desséchés et des pétioles des feuilles ont été déposés séparément dans l'alcool à 90° pendant 1 à 2 minutes, rincées abondamment à l'eau stérile, séchées sur un papier filtre stérile. Les fragments des plants ainsi préparés sont déposés dans des boîtes de Petri contenant le milieu gélosé (20 g de gélose/ l d'eau distillée). L'observation des coupes est faite après une semaine à température de 25°C.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Des isolements effectués à partir des racines et de la partie végétative des plants d'arganier présentant des symptômes de dépérissement ont permis de noter la présence de Fusarium solani (pourcentage d'isolement de 80%), Aspergillus sp. (14%) et d'autres espèces fongiques (Penicillium sp. Alternaria sp. et autres) (6%) (Figure 2 et Tableau 1).

Tableau 1 : Pourcentage d'isolement des espèces fongiques à partir des plants d'arganier montrant les symptômes de desséchement et de dépérissement.

Espèce fongique	Pourcentage d'isolement (%)
Fusarium solani	80 a
Aspergillus sp.	14 b
Autres (*Penicillium* sp. et *Alternaria* sp.)	6 c

Deux résultats lus sur la même colonne suivis de deux lettres différentes, diffèrent significativement au seuil de 5%.

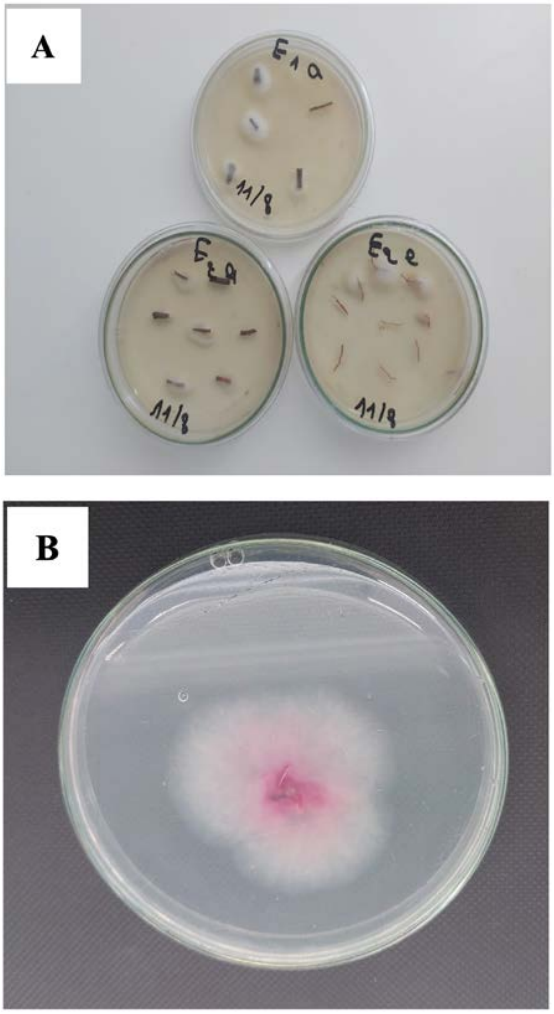


Figure 2 : Développement des colonies de Fusarium solani autour des fragments des racines et des tiges des plants d'arganier (A et B) montrant des symptômes de dépérissement.

Sur milieu PSA (figure 3), F. solani forme des colonies plus ou moins cotonneuse de couleur blanche à crème avec un revers pale, cette description est conforme avec celle de Chermette et Bussieras (1993). Chez les cultures âgées, le mycélium blanc cotonneux prend la couleur mauve ou blanc rose. Sous microscope, F. solani est caractérisé par un mycélium septé et la présence de microconidies (12.3 µm) uni ou bicellulaire de formes variées (ovoides, fusiformes, cylindriques, piriformes) et de macroconidies pluricellulaires (17.2 à 19, 1µm) fusiformes et cloisonnées. Les spores de résistance sont des chlamydospores (Figure 3) en position terminale, latérale ou intercalaire. Ces informations sont identiques à celles rapportées par Chliyeh et al. (2017).

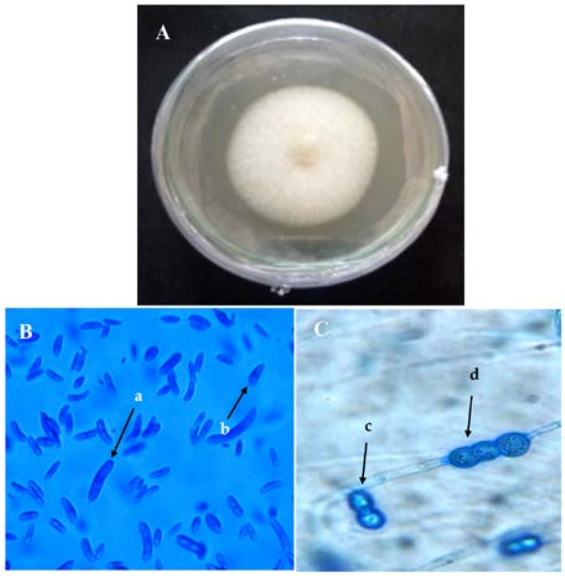


Figure 3 : Fusarium solani : colonie après 10 jours de culture sur milieu PSA (A), observation microscopique (B et C) de macroonidies (a), microconidies (b), et chlamydospores latérale (c) et intercalaires (d)

L'isolat de F. solani testé a pu induire, 2 mois après inoculation, des symptômes de desséchement et de dépérissement chez les plants d'arganier (Figure 4). Le desséchement survient du haut vers le bas puis se généralise.

F. solani a pu provoquer également une pourriture sèche des racines des plants inoculés, les racines se cassent et se détachent de la base des plants. F. solani a été ré-isolé (90%) à partir des racines, des tiges desséchés et des pétioles des feuilles (figure 5).



Figure 4 : Plants d'arganier témoins (T) et inoculés par F.solani (Fs), montrant des symptômes de dépérissement et de pourriture racinaire, après 8 semaines de culture.

Au Maroc, des champignons telluriques, cas de Rhizoctonia solani, Fusarium solani et de Phytophthora cinnamoni sont à l'origine des symptômes de dépérissement des plants forestiers au niveau des pépinières, cas de Tetraclinis articulata (El Haddadi et al., 2019, 2021 et 2022) et de Cupressus virens (Cupressus sempervirens) (Touati et al., 2014). D'autres espèces fongiques ont été rapportées comme agents de dépérissement des plants d'olivier au niveau des pépinières, Verticillium dahliae (Chliyeh et al., 2014), Phytophthora palmivora (Chliyeh et al., 2013 ; Msairi et al., 2017), Fusarium solani (Chliyeh et al., 2017), et Rhizoctonia solani (Msairi et al., 2023).

La commercialisation des plants infectés et leur transfert vers différentes zones de culture pourra contribuer à la propagation et au développement de la maladie, ce qui constituera, avec le temps, un réel danger pour la culture de l'arganier au Maroc. F. solani a été rencontré pour la première fois au niveau des pépinières des plants d'arganier et cette espèce est responsable de dépérissement des plants. L'origine de substrat de culture utilisé au niveau des pépinières est en cours d'analyse pour donner plus d'informations sur la présence de la fusariose au niveau des pépinières.

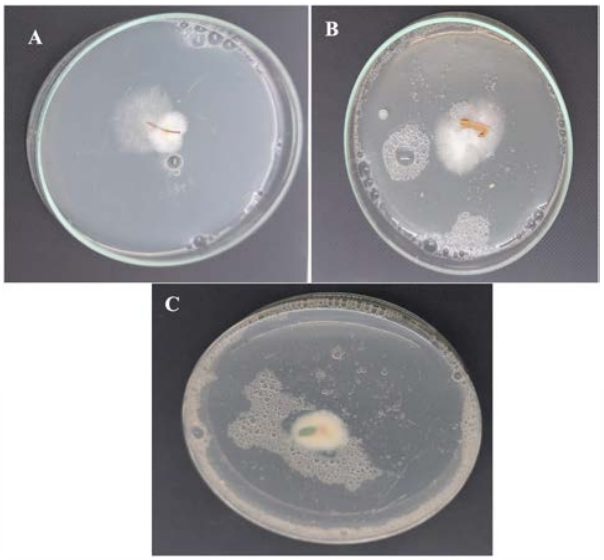


Figure 5 : Ré-isolement positif de F.solani a partir des racines (A), tiges (B), et pétioles des feuilles (C) aprés 8 semaines de culture des plants inoculés.

4. CONCLUSION

Les symptômes de dépérissement et de pourriture racinaire observés chez les plants d'arganier se développant dans les pépinières du Sud-ouest du Maroc sont induits par Fusarium solani, identifié sur la base des caractères morphologiques et microscopiques. Le postulat de Koch a été vérifié par le l'inoculation des plants d'arganier avec F. solani, isolé des plants malades, et son ré isolement à partir de plants artificiellement inoculés après 8 semaines de culture. C'est la première fois que F. solani a été identifié comme responsable de la pourriture des racines et de dépérissement des plants d'arganier au niveau des pépinières au Maroc.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.Ammari, M., Othman, H., Rtibi, K., Sakly, M., & Abdelmelek, H. (2020). The effects of Carob (Ceratonia siliqua L.) on emotional behavior impairment and metabolic disorders induced by estrogen deficiency in rats. Journal of medicinal food, 23(9), 961-966.

2. Chermette, R., & Bussieras, J. (1993). Parasitologie vétérinaire. Mycologie, Edité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort.

3. Chliyeh, M., Ouazzani Touhami, A., Filali-Maltouf, A., El Modafar, C., Moukhli, A., Oukabli, A., Benkirane, R. & Douira, A. (2013). Phytophthora palmivora: A new pathogen of olive trees in Morocco. Atlas Journal of Biology, 2(2), 130-135.

4.Chliyeh, M., Rhimini, Y., Selmaoui, K., Ouazzani Touhami, A., Filali-Maltouf, A., El Modafar, C., Moukhli, A., Oukabli, A., Benkirane, R. & Douira, A. (2014). Survey of the fungal species associated to olive-tree (Olea europaea L.) in Morocco. International Journal of Recent Biotechnology, 2(2), 15-32.

5. Chliyeh, M., Msairi, S., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., & Douira, A. (2017). Detection of Fusarium solani as a pathogen causing root rot and wilt diseases of young olive trees in Morocco. Annual Research & Review in Biology, 13(5), 1-7.

6. El Asri, A., Ait Aguil, F., Douaik, A., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2013). Study of the effect of irrigation on the growth of carob plants in eastern Morocco: planting with seedlings a year. Journal of Animal and Plant Sciences, 19(3), 2941-2947.

7. El Asri, A., Talbi, Z., Ait Aguil, F., Chliyeh, M., Sghir, F., Touati, J., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R. and Douira, A. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with rhizosphere of carob tree (Ceratonia siliqua L.) in Morocco. Int. J. Pure App. Biosci, 2(3), 286-297.

8. El Haddadi, R., Errifi, A., Msairi, S., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2019). First report of Fusarium solani causing damping-off disease on Tetraclinis articulata seedlings. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology, 20(23), 1106-1114.

9. El Haddadi, R., Errifi, A., Msairi, S., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2020). First report of Rhizoctonia solani causing damping-off and root rot disease on Tetraclinis articulata seedlings. Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology, 21(15-16), 23-33.

10. El Haddadi, R., Errifi, A., Msairi, S., Ouazzani Touhami, A., & Douira, A. (2021). Effect of interaction between and on damping-off and root rot disease of seedlings. Forestry Studies, 75(1), 166-175.

11. Msairi, S., Chliyeh, M., Selmaoui, K., Mouria, A., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R., & Douira, A. (2017). New appearance of Phytophthora palmivora as a pathogen of the olive trees in Sidi Kacem Region (Morocco). Annual Research & Review in Biology, 11(5), 1-7.

12. Msairi, S., Chliyeh, M., El Gabardi, S., El Alaoui Moulay, A., Selmaoui, K., Mouria, A., Benkirane, R., Ouazzani Touhami, A., and Douira, A. (2023). Effect of Endomycorrhizae on the Pathogenicity of Rhizoctonia solani and the Growth of Olive Plants. Lecture. International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development, Volume 3 - Advanced Intelligent Systems on Agriculture and Health in J. Kacprzyk et al. (Eds.): AI2SD 2022, LNNS 713, pp. 743–756, 2023.

13. Touati, J., Chliyeh, M., El Asri, A., Ait Aguil, F., Selmaoui, K., Ouazzani Touhami, A., Benkirane, R. & Douira, A. (2014). First report of Phytophthora cinnamomi associated with decline of the Cypress plants (Cupressus sempervirens) in Morocco's nurseries. Int. J. Recent Sci. Res, 5, 855-860.

14. Zine El Abidine, A., Bouderrah, M., & Moustahssen, A. (2016). Relations hydriques et croissance de plants soumis à un déficit hydrique

édaphique graduel-Cas du cèdre de l'Atlas, du pin maritime de montagne et du cyprès de l'Atlas. Forêt Méditerranéenne, 37(4), 327-342.

15. Zine El Abidine, A. et M.S. Lamhamedi. (1994). Production des plants et techniques de plantation des Eucalyptus au Maroc. Dans Les Eucalyptus au Maroc. Eds. Fechtal, M. et E.K. Achhal. p. 84-104. ISBN: 9981 9796 00.

Étude approfondie de la diversité lipidomique : comparaison des populations d'arganiers dans diverses régions du Maroc

El faqer Abdelmoiz[1], Rabeh Karim[1], Rachidi Farid[2], El arroussi Hicham[2,3], Belkadi Bouchra[1*]

[1] *Équipe de Microbiologie et de Biologie Moléculaire, Centre des Bio-technologies Végétales et Microbiennes, Biodiversité et Environnement, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc*

[2] *Laboratoire de Biotechnologie Verte, Fondation Marocaine pour la Science Avancée, l'Innovation et la Recherche (MAScIR), Centre de Design de Rabat, Rabat, Maroc*

[3] *AgroBioSciences (AgBS), Université Polytechnique Mohammed VI, Benguérir, Maroc*

** b.belkadi@um5r.ac.ma*

Mots clés
Arganier, Chromatographie en Phase Gazeuse-Spectrométrie de Masse (GC-MS), profils lipidomiques, diversité métabolique.

RÉSUMÉ

L'arganier (*Argania spinosa* L.), essentiel à l'écosystème et l'économie marocains via l'huile de ses graines, reste peu étudié en ce qui concerne la composition lipidique de ses feuilles. Cette composante est cruciale pour comprendre son adaptabilité et guider les efforts de conservation. Les variations environnementales (sol, climat, altitude) influent sur les profils métaboliques des plantes, affectant croissance et utilité. Notre étude analyse la composition lipidique des feuilles d'arganiers de Chtouka Ait Baha, Essaouira et Tiznit via Chromatographie en Phase Gazeuse-Spectrométrie de Masse (GC-MS), visant à identifier et quantifier les lipides (acyls gras, Prénol, stéroïdes) et examiner la variabilité régionale. Les résultats préliminaires indiquent une prédominance des acyls gras avec des variations régionales significatives, révélant des profils métaboliques distincts liés à l'environnement. Grâce à l'Analyse en Composantes Principales (PCA) et l'Analyse Discriminante des Moindres Carrés Partiels (PLS-DA), nous démontrons la diversité métabolique des populations d'arganier et identifions les métabolites clés pour la différenciation régionale, offrant ainsi des perspectives pour la conservation et une caractérisation régionale via les profils lipidiques.

Keywords
Argan tree, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), lipidomic profiles, Metabolic diversity

ABSTRACT :

Exploring Lipidomic Diversity : A Comparative Analysis of Argan Tree Populations Across Moroccan Regions

The argan tree (*Argania spinosa* L.), native to Morocco, plays a crucial role in local ecosystems and economies, particularly through the oil from its seeds. Despite extensive research on its oil, the lipid composition of argan tree leaves—an aspect potentially vital for understanding the tree's adaptability and informing conservation efforts remains largely unexplored. Environmental factors such as soil, climate, and altitude signifi-cantly influence plant metabolic profiles, impacting their growth and utility. In this study we investigates the lipid composition of argan tree leaves from three Moroccan regions (Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit) using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The research aims to identify and quantify the major lipid classes (fatty acyls, prenol lipids, and steroids) in the leaves, examining the variability across regions. Preliminary findings reveal that fatty acyls are the dominant lipid class, with notable regional differences in lipid class abundance, suggesting distinct metabolic profiles tied to environmental conditions. Using the Principal Component Analysis (PCA)

and Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA), we underscore the metabolic diversity across argan populations and pinpoint key metabolites for regional dif-ferentiation. This study highlights the adaptability of the argan tree, providing conservation insights and enabling regional characterization through lipid profiles.

1. INTRODUCTION

The argan tree (Argania spinosa L.), native to Morocco, is a vital resource that plays a significant role in both the economy and ecology of the region. Its products, particularly the oil derived from its seeds, are highly valued for their nutritional, cosmetic, and medicinal properties. Moreover, the argan tree's remarkable resilience in arid environments makes it an essential component of environmental conservation strategies and socio-economic development initiatives in Morocco [1]. Environmental factors play a pivotal role in shaping the lipid composition of plant species, including the argan tree [2]. Variations in soil composition, climate, altitude, and other environmental stressors can significantly impact the synthesis and accumulation of lipids within plant tissues [3]. These factors influence the metabolic pathways that lead to the production of specific lipid molecules, thereby affecting the overall lipidomic profile of the plant. For instance, temperature fluctuations and water availability can alter the fatty acid composition, leading to an increase in unsaturated fatty acids under stress conditions, which helps maintain membrane fluidity and plant resilience [4]. Similarly, soil nutrient availability can influence the biosynthesis of certain lipid classes, such as phospholipids and glyco-lipids, which are crucial for cell membrane structure and function [5]. Therefore, the study of lipidomics, becomes indispensable in understanding these complex biochemical responses to environmental stimuli [6].

By analyzing the lipid profiles of argan trees from different regions, lipidomics offers a window into the trees' adaptive strategies to their respective ecological niches. This comprehensive analysis not only elucidates the influence of environmental factors on lipid composition but also highlights the potential of lipidomic profiling as a tool for assessing plant health, stress tolerance, and adaptation mechanisms [7]. Consequently, lipidomics holds significant promise for enhancing our understanding of plant-environment inter-actions, guiding conservation efforts, and optimizing the use of plant resources based on their metabolic capabilities. Through the detailed characterization of argan tree lipidomes, this study contributes to the growing field of environmental lipidomics, offering insights that could lead to the development of strategies for sustainable management and exploitation of this valuable species. Despite the extensive utilization and cultural sig-nificance of this species, the lipidomic diversity within argan tree populations across different Moroccan regions remains underexplored. Lipidomics, the comprehensive study of an organism's lipid profile, is a critical tool for understanding how plants adapt metabolically to their environments, offering insights into stress responses, growth, and environmental adaptation.

This study aims to illuminate the lipidomic profiles of argan trees from three distinct Moroccan regions: Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit. Utilizing Gas Chromatog-raphy-Mass Spectrometry (GC-MS), we conducted a detailed analysis of the lipid com-position in the leaves of argan trees from each region. Preliminary findings reveal sig-nificant variability in the distribution of lipid molecular species across these regions, with fatty acyls emerging as the predominant component. This variability suggests that argan trees exhibit unique metabolic profiles that reflect the specific environmental conditions of each area, potentially influencing their growth, survival, and utility.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Sites and Plant Material Collection

This study focused on argan trees (Argania spinosa L.) from three distinct regions in Morocco: Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit (table 1) . The selection of these sites was based on their varied climatic and soil conditions, representing a broad spectrum of environments where argan trees naturally grow. For each region, leaves were collected

from ten randomly selected trees during the peak fruiting season. The samples were immediately frozen in liquid nitrogen and transported to the laboratory for storage at -80°C until lipid extraction.

Tableau 1 Climate and Geographic Characteristics of Selected sites from three distinct regions in Morocco (Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit)

Peuplement	T_mean (°C)	Prec. (mm)	Longitude	Latitude	Altitude
Retmana	19	320	9° 19'25. 9"	32° 02'18. 7"	70
Retmana	19	320	9° 19'24. 4"	32° 02'21. 0"	70
Ouled Lhaj	19	317	9° 24'04. 4"	31° 56'10. 6"	116
Jbel Kourat	18	331	9° 23'59.9"	31° 47'26. 2"	364
Mramer	18	284	9°09'58. 1"	31° 38'36. 8"	376
Rbai	19	300	9° 28'38. 6"	31° 32'08.4"	276
Rbai	19	300	9° 28'38. 4"	31° 32'03.0"	280
Tamesrart	17	305	9° 22'46. 3"	31° 21'37. 1"	559
Timzgidah Oufetass	18	255	9° 48'12. 6"	31°00'16.9"	204
Tizi Ntest	16	408	8° 23'49. 2"	30° 48'54. 5"	1204
Admine	20	206	9° 21'37. 9"	30° 19'59. 3"	75
Admine	20	206	9° 21'46. 4"	30° 19'59. 6"	90
MNIZLA	20	235	9° 05'28. 8"	30° 33'49. 4"	249
IMOUZZER	15	317	9° 30'44. 1"	30° 39'56. 7"	1050
IMOUZZER	15	317	9° 30'49. 6"	30° 39'56. 5"	1040
Ait Baha	19	222	9° 13' 42, 4"	30° 06' 29,1"	52
Lakhssas	17	193	9° 42' 50, 3"	29° 24' 11, 1"	975
Lakhssas	17	193	9° 42' 49, 8"	29° 24' 08, 3"	987

**T_mean (°C) : Mean Temperature in degrees Celsius, Prec. (mm): Precipitation in mil-limeters*

2.2. Lipid Extraction and Preparation

Lipid extraction and preparation were performed with modifications to the method de-scribed by Datta et al. [8]. Initially, 300 mg of ground fresh material was combined with 4 mL of a chloroform: methanol solution (2:1, v/v) along with 10 µL of dodecane (0.75 g/mL) as an internal standard. This mixture was subjected to vigorous vortexing before incubation at 85 °C for 2 hours. Following the initial incubation, the samples were vor-texed again and then sonicated at 60 °C for 1 hour in an ultrasound bath. An additional 2 mL of methanol was introduced to the mixture, which was then sonicated for another 2 hours at 60 °C. To facilitate phase separation, 1 mL of water was added, and the mixture was thoroughly vortexed.

2.3. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Analysis

The lipid extracts underwent analysis using an Agilent 7890A Series Gas Chromatograph coupled with an Agilent 5975C Mass Spectrometer. A volume of 4 microliters of the prepared sample was injected into a capillary column (123-BD11, 15 m × 320 µm × 0.1 µm) employing a splitless injection technique. The temperatures of the quadrupole and the ion source were maintained at 280 °C and 230 °C, respectively. Helium gas served as the carrier at a flow rate of 3 mL per minute, facilitating the separation and identification of volatile metabolites within the samples.

2.4. Data Analysis

Data processing was conducted using Metabo-Analyst 5.0 software [9] (https://www.metaboanalyst.ca/) , an online statistical package. Quantification of identi-fied lipids was based on internal standards and normalized to the total ion count. Statistical analysis to compare lipid profiles among regions was performed using R software, version 4.3.2. Principal component analysis (PCA) and Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) were performed to identify patterns and differences in lipidomic profiles.

3. RESULTS

3.1.Lipidomic Profiling of Argan Trees from Different Moroccan Regions

The analysis revealed significant variations in the lipid compositions across the 3 regions. Fatty acyls emerged as the predominant lipid class, constituting 53% of the total identified lipids, followed by prenols, which accounted for 41%. Steroids and their derivatives were the least prevalent, making up only 6% of the lipidome (Figure 1). The comparative analysis highlighted the differences in lipid class distribution among the regions. Fatty acyls were most abundant across all regions, with the highest proportion found in Tiznit (60%), followed by Chtouka Ait Baha (57%) and Essaouira (55%). Prenol lipids were notably high in Chtouka Ait Baha (57%), equal to Tiznit (60%), and slightly lower in Essaouira (55%). Steroids showed minimal presence, with the lowest concentration in Chtouka Ait Baha (3%) (Figure 2).

Quantitative differences in metabolite concentrations further highlighted the regional disparities. For instance, fatty acyl concentrations were highest in Essaouira (6178.02 µg g−1) and lowest in Tiznit (657.08 µg g−1). Prenols and steroids also exhibited significant variations across the regions, reflecting the unique metabolic profiles shaped by the local environmental conditions (Figure 3).

3.2. Metabolic Diversity and Regional Discrimination

Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) were performed to explore the metabolic diversity among the argan tree populations. The PCA revealed clear regional segregation, with PC1 and PC2 accounting for a significant portion of the variance (Figure 4.a). The PLS-DA scores further enhanced the discrimination between regions, indicating a robust model for classifying argan trees based on their metabolic content (Figure 4.b). Variable Importance in Projection (VIP) scores identified key metabolites contributing to regional differences. Linoleic acid (M36) and alpha-cyperone (M123) were among the metabolites with the highest VIP scores, indicating their significant roles in distinguishing the argan tree populations. These findings suggest that specific fatty acyls and prenols are closely associated with the metabolic adaptation's characteristic of each region (Figure 4.c).

3.3. Figures, Tables et Diagrams

4. Tableau 2 Climate and Geographic Characteristics of Selected sites from three distinct regions in Morocco (Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit)

Peuplement	T_mean (°C)	Prec. (mm)	Longitude	Latitude	Altitude
Retmana	19	320	9° 19'25. 9"	32° 02'18. 7"	70
Retmana	19	320	9° 19'24. 4"	32° 02'21. 0"	70
Ouled Lhaj	19	317	9° 24'04. 4"	31° 56'10. 6"	116
Jbel Kourat	18	331	9° 23'59.9"	31° 47'26. 2"	364
Mramer	18	284	9°09'58. 1"	31° 38'36. 8"	376
Rbai	19	300	9° 28'38. 6"	31° 32'08.4"	276
Rbai	19	300	9° 28'38. 4"	31° 32'03.0"	280
Tamesrart	17	305	9° 22'46. 3"	31° 21'37. 1"	559
Timzgidah Oufetass	18	255	9° 48'12. 6"	31°00'16.9"	204
Tizi Ntest	16	408	8° 23'49. 2"	30° 48'54. 5"	1204
Admine	20	206	9° 21'37. 9"	30° 19'59. 3"	75
Admine	20	206	9° 21'46. 4"	30° 19'59. 6"	90
MNIZLA	20	235	9° 05'28. 8"	30° 33'49. 4"	249
IMOUZZER	15	317	9° 30'44. 1"	30° 39'56. 7"	1050
IMOUZZER	15	317	9° 30'49. 6"	30° 39'56. 5"	1040
Ait Baha	19	222	9° 13' 42, 4"	30° 06' 29,1"	52
Lakhssas	17	193	9° 42' 50, 3"	29° 24' 11, 1"	975
Lakhssas	17	193	9° 42' 49, 8"	29° 24' 08, 3"	987

**T_mean (°C) : Mean Temperature in degrees Celsius, Prec. (mm): Precipitation in mil-limeters*

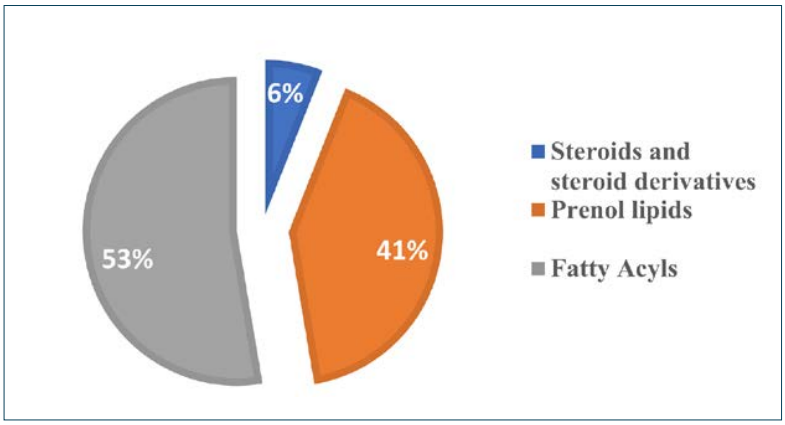


Figure 1. Distribution of lipid types detected by GC–MS in the three regions

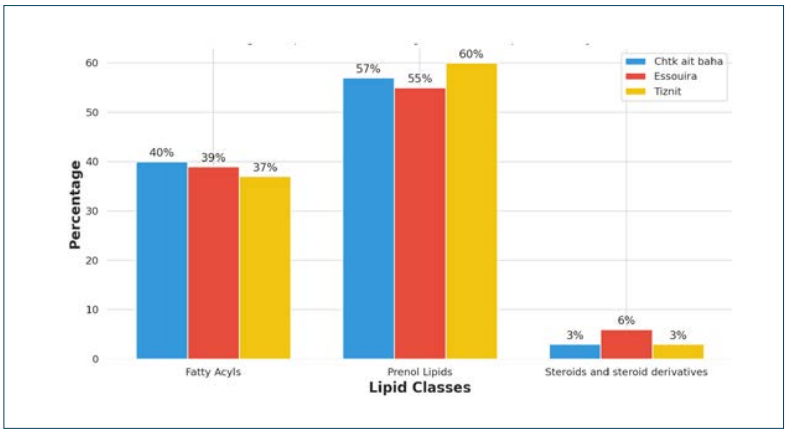


Figure 2. Comparative distribution of lipid Classes of argan trees leaves from three distinct Moroccan regions: Chtouka Ait Baha, Essaouira, and Tiznit.

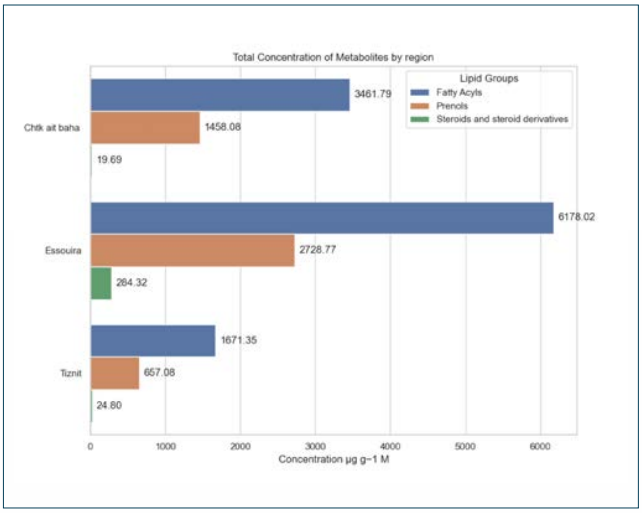


Figure 3. Quantitative Comparison of lipid metabolite concentrations in argan tree leaves by region.

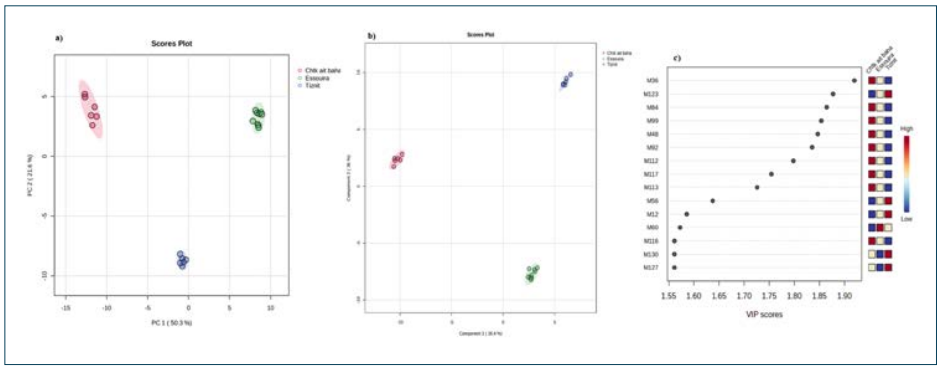


Figure 4. Multivariate analysis of lipidomic data from Argan tree leaves: (a) PCA, (b)PLS-DA Score Plots and (c) VIP Scores by Region.

DISCUSSION

The lipidomic analysis revealed significant regional variations in the distribution of lipid molecular species, with fatty acyls and prenol lipids being the most abundant components across the sampled populations. These findings underscore the metabolic diversity and adaptability of argan trees to their respective environments. The higher concentration of fatty acyls in Essaouira compared to the other regions could be indicative of a metabolic adaptation to environmental stressors such as salinity and drought, which are prevalent in coastal areas. Fatty acyls, particularly linoleic acid and arachidic acid, play crucial roles in maintaining cell membrane integrity and fluidity under stress conditions 10. The sig-nificant presence of these metabolites in the Essaouira region suggests a possible bio-chemical strategy for enhancing stress tolerance.

Prenol lipids, including notable metabolites like lupeol and alpha-cyperone, exhibited a considerable variation across regions, with a notably high proportion in Chtouka Ait Baha. Prenols are known for their antioxidant properties, which could be beneficial in coping with environmental stresses such as oxidative damage induced by high solar radiation levels 11. The distinct prenol lipid profiles observed may reflect the trees' ad-aptation mechanisms to their specific local climates. The Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) further elucidated the metabolic distinctions among the argan tree populations. The clear segregation of samples based on region in the PCA and PLS-DA plots underscores the influence of geographical factors on the metabolic phenotype of argan trees. These analytical techniques provided a robust framework for understanding the complex metabolic diversity and its underlying environmental drivers.

5. CONCLUSIONS

The study highlights the complex lipidomic landscape of argan trees across three different Moroccan regions, revealing significant regional differences in metabolite profiles. Further, the variations in fatty acyl and prenol lipid concentrations among the populations suggest a nuanced adaptation strategy of argan trees to their specific environmental conditions. The distinct metabolic profiles characterized by the abundance of certain fatty acyls and prenols are indicative of the trees' biochemical responses to stressors such as salinity, drought, and oxidative damage, which vary across different geographical lo-cations.

REFERENCES

1. Guillaume D, Charrouf Z. Argan oil and other argan products: Use in dermocosmetology. European Journal of Lipid Science and Technology. 2011;113(4):403-408.

2. Welti R, Shah J, Li W, et al. Plant Lipidomics: Discerning Biological Function By Profiling Plant Complex Lipids Using Mass Spectrometry. Frontiers in Bioscience: A Journal and Virtual Library. 2007;12. doi:10.2741/2250

3. Higashi Y, Saito K. Lipidomic studies of membrane glycerolipids in plant leaves under heat stress. Progress in Lipid Re-search. 2019;75:100990. doi:10.1016/j.plipres.2019.100990

4. Gao L, Jiang H, Li M, et al. Genetic and lipidomic analyses reveal the key role of lipid metabolism for

cold tolerance in maize. Journal of Genetics and Genomics. July 2023. doi:10.1016/j.jgg.2023.07.004

5. Peng Y, Lou H, Tan Z, et al. Lipidomic and Metabolomic Analyses Reveal Changes of Lipid and Metabolite Profiles in Rapeseed during Nitrogen Deficiency. Plant and Cell Physiology. October 2023:pcad128. doi:10.1093/pcp/pcad128

6. Kehelpannala C, Rupasinghe T, Hennessy T, Bradley D, Ebert B, Roessner U. The state of the art in plant lipidomics. Molec-ular Omics. 2021;17(6):894-910.

7. Buffagni V, Zhang L, Senizza B, et al. Metabolomics and lipidomics insight into the effect of different polyamines on tomato plants under non-stress and salinity conditions. Plant Science. 2022;322:111346.

8. Datta A, Kamthan A, Kamthan M, Chakraborty N, Chakraborty S. A simple protocol for extraction, derivatization, and analysis of tomato leaf and fruit lipophilic metabolites using GC-MS. 2012. https://www.researchsquare.com/article/nprot-2524/v1. Accessed February 28, 2024.

9. LI P cheng, YANG X yi, WANG H miao, et al. Metabolic responses to combined water deficit and salt stress in maize pri-mary roots. Journal of Integrative Agriculture. 2021;20(1):109-119.

10. Wang Y, Zhang X, Huang G, et al. Dynamic changes in membrane lipid composition of leaves of winter wheat seedlings in response to PEG-induced water stress. BMC Plant Biol. 2020;20(1):84. doi:10.1186/s12870-020-2257-1

11. Ling T, Boyd L, Rivas F. Triterpenoids as Reactive Oxygen Species Modulators of Cell Fate. Chem Res Toxicol. 2022;35(4):569-584. doi:10.1021/acs.chemrestox.1c00428

Contribution à l'étude de la germination et de la levée des graines d'arganier (*Argania spinosa* L.) en relation avec la forme des noix et leur provenance

Salaheddine Essaghi [1,*], Mohammed Yessef [1], Mohamed Ouajdi [2], Ilham Belkho [1], El Antry Salwa [2], Oubrahim Hayat [2], Jalila Aoujdad [2], Najib Magr

[1] *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II ;*

[2] *Centre d'Innovation, de Recherche et de Formation Forestières, Agence Nationale des Eaux et Forêts ;*

** s.essaghi@iav.ac.ma ;*

Mots clés
Arganier (Argania spinosa L.), noix d'argan, forme, germination, levée, plant, régénération.

RÉSUMÉ

L'arganier est soumis à une dégradation intense qui s'aggrave avec les conditions actuelles de changement climatique. Des programmes de reboisement sont une solution primordiale pour palier à ce problème, quoique ces programmes pâtissent de plusieurs obstacles dont principalement un taux d'échec important. De ce fait, l'objectif de notre étude est d'optimiser le choix des graines d'arganier destinés à l'élevage en pépinière par leurs caractères morphologiques (la forme) et leurs provenances. Les échantillons ont été récoltés à partir de trois provenances du Centre marocain. Six formes différentes de noix d'argan « ellipsoïde, ovale, sphéroïde, ovale pointu, ellipsoïde truncatée et fusiforme » ont été distinguées. La provenance n'a pas un effet significatif sur les critères de germination et de levée des plants, contrairement à la forme qui a un effet significatif sur ces paramètres. La forme ovale a donné les meilleurs résultats de germination avec un taux de 50,22%, suivie par la forme sphérique (36,67%). Toutefois, les formes ovale et ovale pointu ont montré des taux de levée plus élevés (72,86 et 87,50 % respectivement). La forme ovale donne également la meilleure hauteur de plant qui est en moyenne de 7,70 cm après 48 jours de suivi.

Keywords
Argan tree (Argania spinosa L.), argan nuts, shape, germination, seedling emergence, plant, regeneration.

ABSTRACT

Contribution to the Study of Germination and Seedling Emergence in Argan Trees (*Argania spinosa* L.) in Relation to Nut Shape and Origin

The degradation of the argan tree is intensifying due to climate change, making reforestation efforts crucial. However, these efforts often face high failure rates. Our study aims to enhance the selection of argan seeds for nursery cultivation based on their morphological traits and source. We collected samples from three central Moroccan locations and identified six argan nut shapes: ellipsoid, oval, spheroid, pointed oval, truncated el-lipsoid, and fusiform. Our findings indicate that shape significantly impacts germination and emergence, but source does not. Oval nuts had the highest germination rate at 50.22%, followed by spheroid nuts at 36.67%. Moreover, oval and pointed oval shapes had the most successful emergence rates of 72.86% and 87.50%, respectively. Notably, the oval shape also resulted in the tallest plants, with an average height of 7.70 cm over a 48-day growth period.

1. INTRODUCTION

L'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels), seul représentant de la famille des Sapotacées dans toute l'Afrique du Nord, couvre une superficie de 951 910 ha (DEF, 2022). Il est la deuxième espèce en termes de superficie au Maroc après le chêne vert (Quercus rotundifolia L.) qui occupe environ 1 480 000 ha [1]. L'Arganier est une espèce endémique du Sud-Ouest Marocain, s'étendant du bord de la mer jusqu'à 1 600-1 700 mètres d'altitude sur les versants Sud du Haut-Atlas Occidental et sur l'Anti-Atlas [2]. Malgré son statut de forêt, l'arganier est, en fait, un arbre à usages et intérêts multiples. D'abord, il présente un intérêt économique direct en fournissant l'huile, le fourrage et le bois. Ensuite, son intérêt socio-culturel important réside principalement dans les opportunités de travail fourni surtout pour les femmes qui travaillent dans les coopératives d'extraction d'huile d'argan [3]. En outre, l'arganier joue un rôle incontournable dans l'équilibre écologique et la préservation de la diversité faunistique et floristique [4] et aussi dans la lutte contre la désertification et l'érosion du sol, d'où sa déclaration comme première Réserve de Biosphère de l'UNESCO.

Malgré son importance, l'arganeraie connaît une dégradation en termes de densité et de superficie. Ceci peut être le résultat d'une série de facteurs anthropiques, qui se manifeste dans la collecte des noix, le ramassage du bois, l'expansion de l'agriculture et la croissance démographique intensive. Cette dernière engendre une augmentation d'urbanisation aux dépens de massifs d'arganier. Pour les facteurs non anthropiques, on trouve le changement climatique, la succession des années de sècheresse, etc. [5]. Ces facteurs affectent d'une manière directe ou indirecte la régénération naturelle de l'arganier, qui devient de plus en plus rare [6]. Selon l'évaluation des ressources forestières mondiales [7], les superficies des arganeraie connaissent une régression alarmante, de 740 ha/an. Au fil du temps, la dégradation s'accentue. A Tiznit par exemple, la perte est d'environ 1 140 ha/an entre 1987 et 2002 contre 1 533 ha/an entre 2002 et 2017 [8]. Ce qui fait que la régénération artificielle à travers des programmes de reboisement est devenue une solution incontournable.

La production de semis reste un processus fiable et à fort potentiel pour la régénération des plantes [9]. Pour cela, des projets de régénération sont mis en place par le Département des Eaux et Forêts, par plantation des plants d'arganier produits en pépinière afin de reconstituer l'écosystème [10]. Toutefois plusieurs mesures doivent être mise en place pour produire des plants vigoureux de bonne qualité, ce qui n'est pas le cas généralement car il y a plusieurs problèmes rencontrés à différents niveaux, à savoir : I/ lors du test de germination où le taux de germination faible ne dépasse pas habituellement 27 % [11]. En effet, la sélection des semences est cruciale dans le but de choisir les noix permettant d'avoir un meilleur taux de germination et un bon développement de plant, surtout que, les noix d'arganier se caractérisent par une grande variabilité génétique et morpho-physiologique [12]; II/ lors du développement du plant où un mauvais choix de conteneur peut causer des problèmes de malformation racinaire [13], et aussi lors du choix du substrat car il affecte la densité apparente de sol, facteur important pendant les opérations de plantation au terrain [14] et III/ lors de la transplantation sur le terrain qui connaît aussi plusieurs échecs.

Pour optimiser la multiplication sexuée de l'arganier et dans le but d'avoir de bons plants capables de garantir une régénération réussie, une sélection adéquate des graines avant leurs mises en culture est nécessaire. Cependant, plusieurs auteurs ont rapporté que l'arganier présentait une grande diversité des trais morphologiques liée à la forme, au poids et aux dimensions des fruits et des graines (longueur et largeur) [15], Les travaux de [16] basées sur la détermination visuelle et l'analyse des caractères morphométriques sur trois sites, ont déterminé six formes de fruits et trois formes de noix.

Des travaux antérieurs ont porté sur la variabilité génétique des noix d'argan et son effet sur la germination et le développement de plant sans pour autant éclaircir l'effet de chaque forme sur les derniers aspects [17]. Par ailleurs, une corrélation significative a été établie entre la capacité germinative des noix d'argan et la variabilité des formes qu'ils présentent, dans l'arganeraie de Tindouf en Algérie, les noix de forme sphérique de petite taille ont présenté une meilleure germination par rapport aux autres formes [18].

Toutefois, à notre connaissance, aucune étude qui éclaircie la relation entre chaque forme différente des graines et ses caractéristiques de germination et de croissance des plants n'a était précédemment établie au centre de l'aire de répartition naturelle de l'arganier ; la différence des conditions géographique, environnementale et génétique entre les sites pouvant causer des résultats différentes.

Pour cela, en vue d'optimiser le choix des graines dédiées à la régénération artificielle, le but principal de ce travail est de tester la germination de différentes formes de noix d'argan au centre de l'aire de répartition naturelle de l'arganier et de suivre leur développement en pépinière en vue de déceler d'éventuelle formes et provenances les plus enclin à produire les meilleurs plants possibles.

Les objectifs spécifiques de notre étude se présentent comme suit:

- Identifier les différentes formes de noix qui peuvent exister au centre de l'aire de répartition naturelle de l'arganier ;
- Evaluer l'effet des différentes formes des noix d'argan sur la germination ;
- Evaluer l'effet de ces formes sur la levée des plants ;
- Identifier les plants de bonne qualité par comparaison des indicateurs de qualité en fonction des formes des graines.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les fruits et les graines (après un dépulpage manuel) ont été triés selon leurs formes, le tri a été fait en se basant sur les six formes de fruits et les trois formes de noix décrites par Bani-Aameur et al. (1998). Quatre paramètres morphométriques ont été mesurés avec un pied à coulisse a affichage numérique : la longueur fruit (LoF), largeur fruit « Diamètre » (LaF), et après dépulpage : la longueur noix (LoN), largeur noix (LaN). Le poids fruit (PF) et poids noix(PN) ont été mesuré avec une balance. Un indice de forme (If = D/LoN) a également été calculé pour les noix, dans le but d'avoir une idée claire sur les différentes formes et leurs différenciation selon les traits morphométriques réalisés.

Préparation et réalisation de test de flottaison

Premièrement, les noix ont été triées par sites et par formes. Deuxièmement, un test de flottaison est réalisé pour tester la viabilité des graines avant leurs mises en germination, car le plus grand problème qui fait face à la germination est l'absence de viabilité des semences. Les noix flottantes ont étaient éliminées dans cette étape.

Stratification

Les noix ont été bien rincées avec l'eau courante. Après, ils ont été trompées avec de l'eau dans des bacs et à température ambiante pendant 24h dans le but de faciliter leur éclatement et l'accès de l'oxygène à l'embryon [19].

Pour chaque forme, trois répétitions de 25 noix ont été réalisées, donc 75 noix par forme, au total 825 graines sont utilisés pour le test de germination. Ces derniers sont misent dans des conteneurs en plastique bien troué de dimension : 33cm, 23cm, et dans un tissu épais pour garder leur l'humidité. L'arrosage se fait régulièrement par le système de micro asperseurs au niveau de la pépinière.

Une graine est considérée comme germée quand la radicule a percé les téguments et atteint 1mm de longueur [20]. Le suivi de germination est réalisé chaque deux jours, chaque noix germée est mise dans les alvéoles pour le suivi de la levée.

Le traitement phytosanitaire avec un fongicide a Propamocrabe HCL (722g/l), a été fait une fois par semaine pour éliminer les fentes de semis remarquées au début de l'expérience. Des mesures dendrométriques de hauteur et diamètre au collet, ont été prises au profil des plants levés durant deux semaines.

Analyse des données

La saisie des données collectées et la réalisation des graphes, tableaux et les diagrammes ombrothermique des différents sites de récolte ont été faits à l'aide de Microsoft Excel 2010.

Le logiciel IBM SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 26, a était utilisé pour le traitement des données :

-Pour la caractérisation des mesures biométriques (Longueur, Diamètre, D/Lo et la masse) réalisé au

profil des noix, des analyses de la variance à un seul facteur ont été réalisée dans le but d'affirmer l'existence de nouvelles formes de noix repérées et différenciées visuellement.

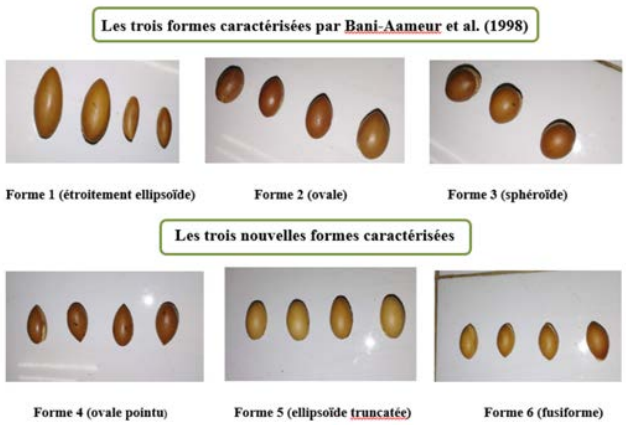
• Pour identifier la relation entre la variation des formes et des sites géographique avec les caractéristiques de germination calculer. Une analyse de la variance à un facteur a été effectuée avec un test de comparaison des moyennes deux à deux ainsi que le test post hot de Tukey avec un intervalle de confiance de 95 %, pour bien distingué les groupes homogènes en fonction de chaque facteurs (Forme et Site géographique).

• Pour tester l'effet de l'interaction des deux facteurs site et forme sur les critères de germination et la levée des différentes noix, une analyse de la variance a deux facteurs (ANOVA 2) a été réalisé.

3. RÉSULTATS

3.1. Caracterisation morphométrique des fruits et noix

Selon l'indice de forme on constate qu'il y a différence très hautement significatif entre les six formes caractérisées, ce qui affirme notre hypothèse de départ après la caractérisation visuelle des formes et qui sont différent les uns des autres par leurs critères morphologiques. Au même titre que les travaux de Bani-Aameur et al. [21], cette combinaison des paramètres visuels avec les critères biométriques permet de confirmer l'existence de différentes formes de noix d'arganier, sauf qu'on a pu caractériser d'autres nouvelles formes ce qui est dû à la grande variabilité génétique de l'arganier.



La longueur des noix varie de 10,49 mm à 29,30 mm avec une moyenne de 19,48 mm et un écart-type Sd de 3,17. Le diamètre, quant à lui, s'étend de 7,44 à 18,75 mm avec une moyenne de 12, 339 mm et un Sd de 1,79. Le poids des différentes noix varie de 0,30 à 4,40g avec une moyenne de 1,59g et un Ecart type de 0,61.

3.2. Réponse des tests de germination

La comparaison des moyennes par le test de Tukey de 5%, a permis de distinguer significativement 2 groupes en fonction de la vitesse de germination (Annexe 10 ; Figure 25) :

• Le premier groupe (A) qui est caractérisé par la germination la plus rapide. Ce groupe est composée uniquement de la forme ovale (2) ;

• Le deuxième groupe (B) est composé des formes ellipsoïde, sphéroïde, ovale pointu, ellipsoïde truncatée et fusiforme (1, 3, 4, 5 et 6) qui affiche une vitesse de germination inférieur.

3.3. La levée et la croissance des plants

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré qu'il existe une différence très hautement significative entre les variances des taux de levée selon les formes des noix. La comparaison des moyennes deux à deux des différentes formes selon leur taux de levée a montré qu'une différence hautement significative est enregistrée entre la forme ellipsoïde et ovale, la forme ellipsoïde et ovale pointu, la forme ovale et fusiforme, sphéroïde et fusiforme, ovale pointu et fusiforme et entre la forme ellipsoïde truncatée et fusiforme.

La comparaison des moyennes par le test de Tukey de 5%, a permis de distinguer (Figure 28) :

Le premier groupe (A) rassemble la forme ellipsoïde et la forme fusiforme (1et 6) et qui ont le taux de levée le plus significativement le plus bas;

Le deuxième groupe (B) rassemble la forme sphéroïde et ellipsoïde truncatée (3 et 5) avec un taux de levée moyen;

Le troisième groupe (C) rassemble les formes ovale et ovale pointu (2 et 4) avec le taux de levée le plus élevé.

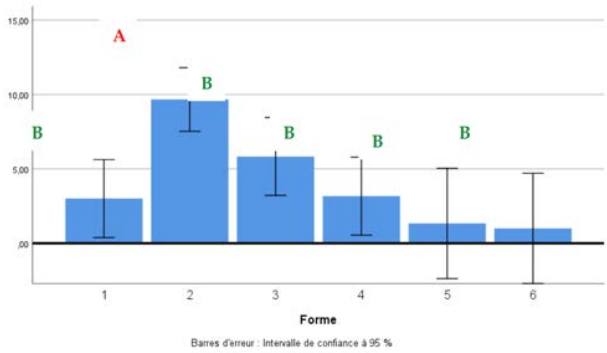


Figure 1. La variation des moyennes de la vitesse de germination selon les formes. L'assignation aux mêmes lettres signifie que les moyennes ne sont pas significativement différentes.

Tableau 1: Effectif de noix utilisés par site et par forme.

Site	Forme	N
1	1	141
	2	704
	3	121
	4	177
	Total	1143
2	2	162
	5	477
	Total	639
3	6	385
	Total	385
Total	1	141
	2	866
	3	121
	4	177
	5	477
	6	385
	Total	2167

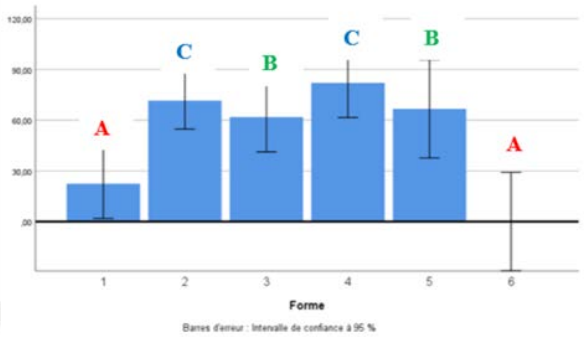


Figure 2. La variation des moyennes du taux de levée (TL) selon les formes. L'assignation aux mêmes lettres signifie que les moyennes ne sont pas significativement différentes.

4. DISCUSSION

A cause des problèmes de régénération de l'arganier, l'objectif principal de cette étude est de trouver des solutions pertinentes, plus précisément de trouver la relation entre les caractères morphométriques des graines et leurs capacité de germination. Le taux de germination est une caractérisation de l'arbre mère mais certains caractéristiques des pierres comme la forme peuvent influencer la germination (Nouaim et chaussod, 1995 ; Berka et al., 2019), en guise d'exemple, une étude réaliser sur la Cordia africana en Ethiopie (Abraham et al., 2005), ils ont trouvé que les caractères morphométriques des semences présentent une corrélation positif significat sur la capacité de germination et aussi l'origine géographique des échantillons.

Dans le même sens nous avons obtenu après le test de germination et l'analyse des résultats que la forme ait un effet significatif sur le taux et la vitesse de germination conformément au résultat obtenu par Berka et al. (2019) dans le cas de l'arganeraie de Tindouf, l'Algérie ; ils ont trouvé que la capacité de germination dépend de la forme de noix, ou la capacité de germination la plus élevée était celle des pierres sphériques et celles des pierres ovoïdes et les noix de forme allongé ont eu les plus faibles capacités.

Lors de notre cas d'étude, nous avons dans le même sens des résultats de l'étude de (Berka et al., 2019), les formes ovale et sphéroïde qui ont données les meilleurs taux de germination qui sont de 50,22 et 36, 67% respectivement, suivi par la forme ovale pointu et ellipsoïde avec un taux de 20 et 14%, après la forme ellipsoïde truncatée et fusiforme (5,33 et 4%) avec les faibles taux de germination.

Les formes ovale et sphéroïde qui ont donné un bon résultat de germination sont les formes qui ont les plus petite taille, leurs indices de forme sont de 0, 78 et 0,66 (Tableau 10) ce qui affirme les résultats de Berka et al. (2019), ils ont trouvé que les noix de taille petite donnent des bons résultats de germination. Cela est dû à la facilité de l'imbibition par rapport à la coque (ces deux formes ont une coque plus fine par rapport aux autres), c'est parce que dans le processus de la germination, les limites déterminants qui peuvent intervenir sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule (Mazilak et al., 1982).

Le test de viabilité aussi confirme cette hypothèse. Les résultats du test après les 45 jours de test de germination ont donné des pourcentages de viabilité importante pour les deux formes de noix testés, ce qui signifie que les semences sont viables. Alors ces formes qui ont des taux de germination faibles (ellipsoïde truncatée et fusiforme) présentent une dormance tégumentaire, nous pouvant parler aussi des noix facile à casser et des autres difficiles ce qui est confirmer par des enquêtes chez la population qui vis des arganeraie surtout les femmes qui travaillent dans la production d'huile (Nouaïm, 2007), les forces de concassage sont corrélées à l'épaisseur de la coque et sont nettement plus faibles pour les noix faciles à casser. Lorsqu'on parle de la force de concassage ça signifie aussi de la difficulté ou la facilité d'imbibition de l'eau.

Le site de récolte n'a pas d'effet significatif ni sur le taux de germination ni sur la vitesse de germination, car la grande variabilité morphologique existe entre les familles monoparentales avec des fondements génétiques chez les semences d'arganier (Ferradous et al., 2017).

Il s'avère d'après notre étude que la forme ovale des noix serait la plus convenable pour la réussite des opérations de régénération.

5. CONCLUSIONS

Seule la forme de la noix a un effet significatif sur la germination et la levée des plants d'arganier, contrairement à la provenance pour le cas de notre travail, il n'impacte pas significativement des derniers paramètres. La forme ovale a présenté le taux de germination le plus élevé (50,22 %), suivie de la forme sphéroïde (36,67 %), alors que la forme fusiforme a affiché le taux de germination le plus bas (4 %). La forme ovale a montré également la germination la plus rapide (10 graines par jour), suivi par la forme sphéroïde avec une vitesse de 6 graines par jour, tandis que la forme ellipsoïde truncatée et la forme fusiforme ont affiché la germination la plus lente (1 graine par jour). Le temps de latence le plus court a été trouvé chez la forme ovale (5 jours), suivi par la forme sphéroïde (7 jours), au moment où le temps de latence le plus long a été trouvé chez la forme ellipsoïde truncatée (15 jours). Au final, il s'avère que c'est la forme ovale qui présente les meilleures caractéristiques de germination parmi toutes les formes testées.

Les formes ovale et ovale pointue ont donné des taux intéressants de levée (70,86 et 87,50 % respectivement) et la hauteur de plant la plus importante (7,70 cm) après 48 jours d'observation selon les résultats préliminaires en cours de suivi en pépinière. La forme ellipsoïde a, par contre, montré le diamètre au collet le plus élevé (2,57 mm) dans les mêmes conditions suscitées.

A partir de ce qui précède, il paraît que la forme ovale des noix d'argan est la forme la plus prometteuse en termes de germination, de levée et de production de plants pouvant aboutir à des arbres vigoureux attestant d'une régénération réussie..

Remerciements : Nous remercions des étudiants de l'Institut Technique Royal des Eaux et Forêts pour leur appui technique durant les travaux de pépinière.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Guillaume, D., Charrouf, Z. (2011). Argan oïl and other argan products: Use in dermocosmetology. European journal of lipid science and technology, 113(4), 403-408.

2. Alifriqui, M. (2004). L'écosystème de l'arganier. Étude réalisée à la demande du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD-Maroc).

3. Zaaraoui, H. (2013). Contribution à l'analyse des coûts de revient et des marges de l'huile d'argan dans la région de Taroudant. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Ingénieur, Agronome.

4. M'hirit O., Benzyane M., Benchekroun F., El yousfi S.M., Bendaanoun M. (1998). L'Agranier, une espèce fruitière -forestière à usages multiples. pp: 85-97. 150 p.

5. Waroux, Y. L. P. (2013). Dégradation environnementale et développement économique dans l'arganeraie d'Aoulouz (Maroc). Science et changements planétaires/Sécheresse, 24(1), 29-38.

6. Bellefontaine, R. (2010). De la domestication à l'amélioration variétale de l'arganier (Argania spinosa L. Skeels). Science et changements planétaires/Sécheresse, 21(1), 42-53.

7. FAO (2010). Forest Resources Assessment: Morocco Country Report. Rome: Fao, Evaluation des ressources forestières mondiales, FRA 2010/139, 2010, 63 p.

8. Sinsin T., Mounir F., El Aboudi, A. (2019). Analyse comparative de la dynamique spatio-temporelle dans l'écosystème d'Arganiers de plaine et de montagne. Actes du cinquième Congrès international de l'arganier, Agadir, 10-11.

9.Tazi, M. R., Berrichi, A., Haloui, B. (2003). Effet du polyéthylène glycol sur la germination et la croissance in vitro de l 'arganier (Argania spinosa L. Skeels) des Beni-Snassen (Maroc oriental). Science et changements planétaires/Sécheresse, 14(1), 23-27.

10.Defaa, C., Achour, A., Hossayni, A., Bellefontaine, R., El Mousadik, A., Msanda, F. (2011). Analyse de l'itinéraire tech-nique d'un périmètre réussi de régénération d'arganier. Actes du Premier Congrès international de l'arganier, Agadir, 15-17.

11.Alouani, M., Bani-Aameur, F. (1998). Effect of light on germination of Argan (Argania spinosa (L.) Skeels) seeds. Acta botanica gallica, 150(1), 59-64.

12. Abouyoub, S., Rahmouni, I., Oumouss, S., Tobi G ., Kabbour, R., El Bahloul Y. (2019). Qualité phytochimiques des gyno-types séléctionnés d'arganier. (Argania spinosa (L.) Skeels). Actes du cinquième Congrès international de l'arganier, Agadir, 10-11.

13. Bellefontaine, R., Souidi, Z., Benhassaini, H. (2012). Sauvegarde des arganiers algériens: techniques et outils à notre disposition.

14.Ferradous, A., Hafidi, M. (2017a). Production de plants d'arganier (Argania spinosa) au Maroc: choix du conteneur et du substrat. Bois et Forêts des tropiques, 334, 37-47.

15. Cornu, M. M. (1897). Note sur la structure des fruits de l'argan du Maroc (Argania sideroxylon). Bulletin de la Société Botanique de France, 44(2), 181-187.

16. Bani-Aameur, F., Alouani, M. (1999). Viabilité et dormance des semences d'Arganier (Argania spinosa (L.) Skeels). Eco-logia mediterranea, 25(1), 75-86.

17. Ferradous, A., Lamhamedi, M. S., Ouhammou, A., Alifriqui, M. (2017b). Mise en application opérationnelle du test de viabilité au tétrazolium chez les semences d'arganier (Argania spinosa) stockées pendant plusieurs années. Canadian Journal of Forest Research, 47(9), 1286-1292.

18. Berka, S., Himrane, H., Kouidri, K. M., Taguemount, D., Aïd, F. (2019). Morphological and germination capacity of Argania spinosa's (L) Skeels of Algeria South-West population: variability of fruit and stone morphotypes. Forest Sys-tems, 28(2), e012-e012.

19. Berka, S., Himrane, H., Taguemount, D., Tabet, M., Aïd, F. (2018). Contribution à l'étude de la germination et de la con-servation des graines d'Argania spinosa (L.) Skeels de la région de Tindouf (Algérie). Revue d'Ecologie, Terre et Vie, 73(3), 309-317.

20. Côme, D. (1970). Obstacles to germination.

21. Bani-Aameur, F., Louali, L., Dupuis, P. (1998). Maturation et chute des fruits de l'arganier. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 18(3), 151-158.

Contribution à l'étude de l'effet du choc thermique sur la germination de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels)

Salaheddine Essaghi [1*], Mohammed Yessef [1], Mohamed Ouajdi [2], Nuxi Maro [1], Salwa El Antry [2], Hayat Oubrahim [2], Jalila Aoujdad [2], Najib Magri [2]

[1] *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II ;*

[2] *Centre d'Innovation, de Recherche et de Formation Forestières, Agence Nationale des Eaux et Forêts ;*

* *s.essaghi@iav.ac.ma*

Mots clés
Arganier (Argania spinosa L.), noix d'argan, choc thermique, germination, graine.

RÉSUMÉ

L'écosystème de l'arganeraie subit une dégradation progressive, exacerbée par le faible taux de reprise des plants et de régénération, interrogeant la qualité des plants, les graines, les substrats, la préparation du sol, le suivi et l'entretien sur le terrain. L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du choc thermique sur la germination des graines d'arganier. Les résultats obtenus ont permis de déterminer l'existence d'un effet très hautement significatif du traitement par choc thermiques sur la germination des graines d'arganier. Le traitement à 120°C/1 minute enregistre les meilleures performances en termes de taux de germination (88%) et la vitesse de germination (83%). Ces performances constituent des légères améliorations non significatives par rapport à celles des témoins. Par contre, les performances des graines soumises à des fortes températures supérieures ou égales à 120°C pendant une longue période de 15 minutes donnent les plus faibles performances et présentent des différences très hautement significatives par rapport à celles des témoins. L'application des fortes températures pendant une longue durée sur les noix d'argan augmente la détérioration de la capacité de germination.

Keywords
Argan tree (Argania spinosa L.), argan nuts, thermal shock, germination, seed.

ABSTRACT :

Contribution to the Study of the Effect of Thermal Shock on the Germination of the Argan Tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels)

The argan tree ecosystem is facing significant challenges due to declining seedling survival and regeneration rates. This study explored the poten-tial of heat shock treatments to enhance argan seed germination. Findings revealed a significant effect of heat shock on germination, with the most favourable results obtained at 120°C for one minute, for which germi-nation percentage and rate reached respectively 88% and 83%. However, prolonged exposure to extreme temperatures (over 120°C for 15 minutes) significantly reduced germination (below 19% for both germination percentage and rate), indicating that the duration and intensity of heat shock treatments must be carefully controlled to avoid detrimental effects on seed germination capacity.

1. INTRODUCTION

Argania spinosa L. Skeels est une espèce endémique du Maroc couvrant une superficie de 951 910 ha [1] . Cette espèce appartient à la famille tropicale des Sapotaceae. Elle joue des rôles sociaux, économiques et écologiques très importants. Elle présente des services écosystémiques multiples (huile végétale, bois de chauffage, fourrage…). L'arganier permet de contribuer à la création de 800 milliers de jours de travail et de 3 millions d'emplois dans le monde rural [2]. En d'autres termes, l'arganier constitue une source de revenu pour toutes personnes travaillant dans la chaîne de production de l'huile d'argan [3]. En effet 90% de l'économie rurale de la région d'arganier dépend de l'agroforesterie à base d'arganier (culture de céréale, fourrage des caprins). Cette activité permet également de constituer une barrière contre l'érosion et la désertification [4].

Cependant, c'est un écosystème qui est menacé par la surexploitation exercée par l'homme (prélèvement excessif des noix et le surpâturage des animaux.). Cette espèce rencontre un important problème de régénération naturelle expliqué par une dormance tégumentaire et embryonnaire et également par des contaminations des graines [5] qui limitent la germination. De plus, il est difficile de produire des plants en pépinière dû à la fonte de semis de pré-émergence et de post-émergence et sans oublier les faibles taux de réussite de transplantation sur le terrain, ce qui est expliqué principalement par la qualité des plants produits en pépinière en-dessous de la norme [6]. De ce fait des actions devraient être entreprises pour restaurer cet écosystème à travers le développement de méthodes de régénération artificielle plus efficaces.

En effet, de nombreuses études ont été réalisées dans ce sens pour apporter des solutions à cette problématique de la dormance. On cite la scarification de l'endocarpe, permettant à l'embryon de germer facilement, la stratification ou le stockage au froid des graines [7,8], l'immersion des graines dans de l'acide gibbérellique (GA2) [8], la stérilisation des graines des noix d'argan et le trempage dans de l'eau [9], l'exposition des graines à la lumière [8] ou encore la combinaison de deux ou plus de ces différentes méthodes [10]. Toutefois, des travaux antérieurs ont mis en évidence l'effet positif du choc de chaleur sur la germination des graines des légumineuses, d'arbustes et d'arbres [11,12]. Ces mêmes travaux ont montré que la dormance tégumentaire peut être levée soit par le choc de chaleur seul ou une scarification suivie d'un traitement chimique et/ou thermique. La température et la durée d'application diffèrent selon l'espèce.

Dans la présente étude, on s'intéressera à l'effet du choc thermique sur la germination de l'arganier. À notre connaissance, aucun travail n'avait, auparavant, testé l'effet du choc thermique sur la germination des graines d'arganier.

Afin de considérer l'ensemble des manifestations de cet effet, il s'agira, dans le présent document, d'adopter les objectifs spécifiques suivants :

- Tester la germination des graines d'arganier suite à l'application de différentes températures et de différentes durées d'exposition à la chaleur ;
- Identifier les conditions de germination les plus convenables à l'arganier.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Les échantillons de graine utilisés se limitent à ceux ayant réussi le test de flottaison.

Une étuve (Figure 1) est utilisée pour l'application du choc de chaleur. Quatre températures sont couplées avec trois durées qui sont respectivement 60, 90, 120, 150°C et 1 min, 5 min et 15 min [12]. Un lot de témoins de noix n'ayant subi aucun choc de chaleur a été réservé. Au total 13 traitements sont étudiés dans cette expérience. Chaque traitement a été appliqué sur trois répétitions de 25 noix chacune.



Figure 1 : Etuve pour laboratoire Biobase Stainless Steel Bov-V125f

La mise en germination est menée au niveau de la pépinière du Centre de Recherche Forestière (CRF) de Rabat, sous une condition ambiante et à l'air libre sous le soleil. Elle a commencé à partir de fin juillet. La mise en germination est réalisée selon la méthode de serpillère [6].

Afin de garder l'humidité des serpillères, l'arrosage est assuré au besoin avec l'eau provenant d'un puits. Un suivi tous les deux jours est fait pour comptabiliser le nombre de graines germées. Les paramètres de suivi sont :

• Le taux de germination : Il s'agit du pourcentage des graines qui ont germées (S) par rapport au nombre total de graines mise en condition de germination (L). Elle s'obtient par la formule suivante [13] : %G = S/L * 100

G : germination

S : nombre de graines germées

L : Nombre total de graines

• La vitesse de germination (Cv) : elle caractérise la fluctuation des graines germées dans le temps depuis l'apparition de la première radicule jusqu'à la stabilisation de la germination. Elle est calculée de différentes manières

▫ Le taux de germination obtenu à un moment t

▫ Le temps mis pour obtenir 50% de germination

▫ Le coefficient de vélocité [14] avec le temps moyen de germination (Tm)

$$Cv = ((N1 + N2 + N3 + \ldots + Nn)/(N1T1 + N2T2 + N3T3 + \ldots + NnTn)) \times 100$$

et

$$Tm = (N1T1 + N2T2 + N3T3 + \ldots + NnTn) / (N1 + N2 + N3 + \ldots + Nn)$$

N1 : Nombre de graines germées au temps T1

N2 : Nombre de graines germées au temps T2

N3 : Nombre de graines germées au temps T3

Nn : Nombre de graines germées au temps Tn

▫ La somme des pourcentages partiels de germination obtenus à un moment t (TIMPSON, 1965)

$$Zn = N1 + N2 + N3 + \ldots + Nn$$

N1 : pourcentages de graines germées après 1 jour

N2 : pourcentage de graines germées après 2 jours

N3 : pourcentage de graines germées après 3 jours

Nn : pourcentage de graines germées après n jours

Le 15ème jour est choisi comme moment t pour déterminer la vitesse de germination.

• Durée moyenne de germination : il s'agit du temps écoulé entre l'observation de la première germination et la dernière germination.

Une graine est considérée germée lorsque la radicule sort des téguments et arrive à atteindre 1 mm de longueur [13].

Analyse statistique

Les données de suivi de la germination ont été collectées sur Excel. Elles ont été analysées par la méthode de l'analyse de la variance (ANOVA 1) à un facteur (combinaison de température et des durées d'application) pour déterminer l'existence de l'effet du choc thermique sur les différents paramètres étudiés [15].Le test de Dunnett a été utilisé pour comparer chaque traitement avec le témoin et le test de Tukey pour comparer les traitements entre eux [15]. L'analyse est effectuée à l'aide du logiciel SPSS. L'hypothèse nulle est l'existence d'une différence entre les moyennes.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractérisation des échantillons

Les fruits d'arganier récoltés ont été pesés puis dépulpés. Les résultats des pesées sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des pesées des fruits d'arganier utilisés

PESÉE	Poids Fruits (g)	Nombre Fruit	Poids Noix (g)	Nombre noix
1	1000	335	586	335
2	1000	405	614	388
3	1000	388	573	388
4	1000	379	527	375

Par déduction à partir de ces données, un lot de 1000 g de fruits contient en moyenne 377 fruits et donnant 371 noix correspondant à un poids moyen de 575 g. La différence du nombre de fruit et de graines est expliquée notamment par l'absence de noix dans les fruits lors de la récolte. Il peut être constaté également que le poids d'une noix est approximativement la moitié de celui du fruit. En effet un fruit pèse en moyenne 2,65 g contre 1,54 g pour celui de la noix.

3.2. Réponses de la germination des graines au choc thermique

Il peut être constaté à partir du tableau 2 et de la figure 1 que les taux de germination obtenus sont assez importants. Les taux de germination de tous les traitements sont supérieurs à 50% à l'exception de deux traitements en l'occurrence ceux des traitements à 120°C et 150°C pendant 15 minutes. Le traitement 120°C avec un temps d'exposition de 1 min présente le taux de germination le plus élevé équivalent à 88% tandis que celui de 120°C avec 15min comme temps d'exposition a le taux de germination le plus faible égal à 13,33%.

Quant à la vitesse de germination, les graines soumises à la température de 120°C pendant une durée d'une minute enregistrent la vitesse la plus rapide et la plus lente est accordée aux graines traitées à une température égale à 120°C durant 15 minutes.

Les durées moyennes de germination sont différentes en fonction de traitement. La combinaison 60°C et 5min enregistre la durée moyenne de germination (DMG) la plus longue (28 jours) suivi de celle de 90°C et 1min (26 jours). La DMG la plus faible est celle du traitement 120°C pendant 15min (0,67 jours).

Tableau 2 : Caractéristiques de germination des graines d'arganier en fonction des différents traitements (température x durée) appliqués. Dans une même colonne, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différents.

T (°C)	t (min)	TG (%)	VG (%)	DMG (jour)
60	1	65,33 ± 3,52a	42,67 ± 3,52a,b	25,33 ± 2,44a
	5	66,67 ± 11,39a	56,00 ± 10,06a	28,00 ± 5,03a
	15	78,67 ± 6,66a	60,00 ± 8,32a	16,67 ± 1,76 a,b
90	1	85,33 ± 7,42a	70,67 ± 7,42a	26,00 ± 4,00a
	5	81,33 ± 7,05a	68,00 ± 10,58a	18,67 ± 2,90 a,b
	15	65,33 ± 3,52a	52,00 ± 2,30a	21,33 ± 2,66 a,b
120	1	88,00 ± 6,92a	82,67 ± 5,81a	18,00 ± 6,00 a,b
	5	65,33 ± 4,80a	53,33 ± 4,81a	16,00 ± 2,30 a,b
	15	13,33 ± 5,33b	13,33 ± 5,33b	0,67 ± 0,67b
150	1	77,33 ± 4,80a	62,67 ± 8,11a	22,67 ± 3,71a
	5	60,00 ± 9,23a	50,67 ± 4,80a	19,33 ± 5,45a,b
	15	18,67 ± 2,66b	18,67 ± 2,66b	6,00 ± 1,15b
TO		78,67 ± 3,52a	60,00 ± 4,00a	21,33 ± 6,35 a,b

TG : Taux de Germination ; VG : Vitesse de Germination ; DMG : Durée Moyenne de Germination ; T : Température ; t : temps d'exposition
Les chiffres suivis d'une même lettre sur une colonne donnée ne sont pas différents au seuil de 5 % par le test de Tukey.

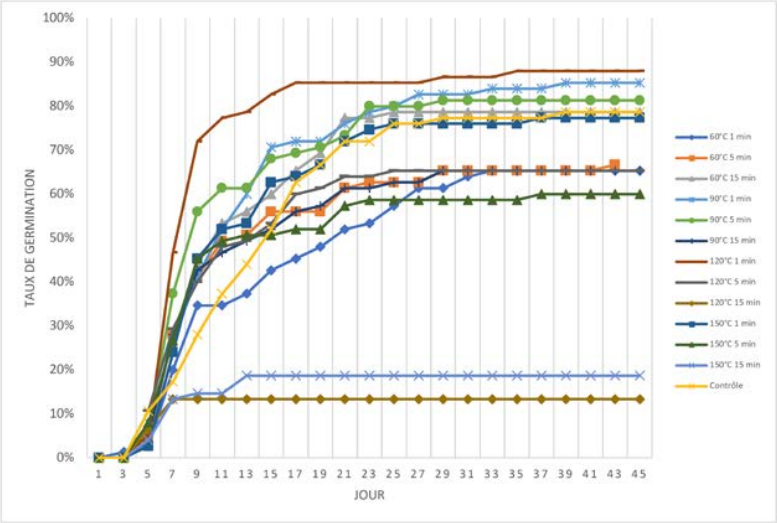


Figure 1: Taux de germination cumulés de tous les traitements

4. DISCUSSION

Il faut se rappeler que l'objectif principal de ce présent travail est de répondre si le traitement par choc thermique a un effet sur la germination des graines d'arganier afin de donner une conclusion pratique à la régénération du peuplement d'arganier. Ce travail a pour but d'enrichir les techniques déjà existantes pour l'amélioration de la germination d'arganier.

Plusieurs travaux ce sont intéressés à l'étude de l'effet du traitement par choc thermique sur la germination des graines de différentes espèces. En guise d'illustration, on cite Herrero et al. [12] qui a travaillé sur l'Acacia senegal et l'Acacia seyal, Mbaye et al. [16] qui testé le choc thermique sur les graines de Zornia glochidiata ou encore Valbuena [15] qui a mené une expérience de choc thermique sur la germination de Quercus pyrenaica

Des améliorations statistiquement significatives du taux de germination (TG) et de la vitesse de germination (VG) sont constatées aux traitements (90°C et 1 min), (90°C et 5 min) et (120°C et 1 min). La durée moyenne de germination (DMG) est significativement écourtée par les traitements aux températures 120 et 150°C respectivement pendant 15 minutes. En effet, suite aux traitements susmentionnés, les graines ont présenté des fissures au niveau du tégument. Etant donné que le traitement par choc de chaleur ramollit les téguments durs, il permet d'assurer un meilleur contact de l'eau et de l'air avec l'embryon [16]. En d'autres termes, les téguments deviennent plus perméables à l'eau et à l'air.

Ces résultats ne se concordent pas avec ceux de Herrero et al. [12] qui n'a pas trouvé de différence significative pour des TG légèrement supérieurs ou légèrement inférieurs au témoin.

Par contre, l'exposition des graines à des fortes températures pendant une longue durée est nocive pour l'embryon. Les différents auteurs ayant travaillé sur le choc thermique ont indiqué unanimement que les graines exposées à ces traitements extrêmes perdent leur capacité de germination [12,15]. Il est important de souligner que la capacité de résistance des graines au couple température-durée d'exposition à la chaleur varie selon les caractéristiques des téguments qui diffèrent selon l'espèce. Dans notre cas, les limites des graines d'arganier sont les températures supérieures ou égales à 120°C avec une durée d'exposition de 15 minutes. Exposées à ces traitements, seuls quelques graines germent et ne dépassant pas un TG de 20%.

5. CONCLUSIONS

Le traitement par choc de chaleur entre 90°C et 120°C pendant une minute améliore les caractéristiques de germination. Les meilleures valeurs TG, VG et la plus courte DMG sont enregistrées à une température de 120°C. à les traitements aux températures 120°C et 150°C pendant 15 minutes sont caractérisés par les valeurs les plus faibles de TG (13% et 19%) et VG (13 et 19%). Toutefois, DMG (2 jours et 6 jours) et le temps de latence (0%) sont réduits. L'application de

ces traitements détériore drastiquement la capacité germinative et la capacité d'émergence des graines. Une mise en culture des graines s'avère intéressante afin d'évaluer l'effet des traitements par choc de chaleur à plus long terme. Il serait, donc, judicieux de cerner la levée des graines ainsi que la croissance des plants en vue de déterminer l'utilité du traitement au choc thermique dans la germination, la levée des graines et la croissance des plants d'arganier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] DEF, Formations forestières: l'arganier, Département des Eaux et Forêts, Rabat, Morocco, 2022. http://www.eauxetforets.gov.ma/ForetsMarocaines/Formations/Pages/Feuillus.aspx.

[2]F.Z. Elmandouri, A. Fadli, A. Talha, O. Chetto, Y. El Bahloul, R. Benkirane, A. Benyahia, Development of optimal conditions for the germination of Argan seeds (Argania Spinosa (L.) Skeels), Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology (2020) 57–66.

[3] H. Faouzi, J. Martin, Soutenabilité de l'arganier marocain, Revue Franco-Brésilienne de Géographie 20 (2014).

[4]Z. Charrouf, 20 ans de recherche-action pour faire de l'arganier un levier du développement durable du milieu rural marocain, in: Rabat, Morocco, 2007: p. 10p.

[5] M. Alouani, F. Beni-Aameur, Can the Tetrazolium-staining test be used as an alternative to the germination test in assessing Argan seed viability, Journal of Research in Environmental and Earth Science (2018) 7p.

[6] D. Hmouni, L. Zidane, H. El Yacoub, K. Kaibi, F. Maskour, I. Ouallal, Y. Abbas, A. Rochdi, Multiplication de l'arganier (Argania spinosa L.) par germination, bouturage et microbouturage, in: Agadir, Morocco, 2013: p. 6p.

[7] S. Berka, H. Himrane, K. Maamar Kouidri, D. Taguemount, F. Aid, Morphological and germination capacity of Argania spinosa's (L) Skeels of Algeria South-West population: variability of fruit and stone morphotypes, Forest Syst 28 (2019) e012. https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14170.

[8] M. Alouani, F. Beni-Aameur, Effect of light on germination of Argan (Argania spinosa (L.) Skeels) seeds, Acta Botanica Gallica (2003) 7p.

[9] Z. Benaouf, A. Miloudi, M. Belkhodja, Germination tests of seeds of argan tree (Argania spinosa (L.) skeels) of two sources (Tindouf and Mostaganem) in the semi-arid western Algerian, Academic Journals (2014) 11p.

[10] Berka (S.), HARFOUCHE (Abdelkader), Effets de quelques traitements physico-chimiques et de la température sur la faculté germinative de la graine d'Arganier., Rev. For. Fr. (2001) 125. https://doi.org/10.4267/2042/5219.

[11] M.L. Valbuena, E. Luis, Influence of Heat on Seed Germination of Cistus Laurifolius and Cistus Ladanifer, International Journal of Wildland Fire (1992) 7p.

[12]C. Herrero, A. Kassa, V. Pando, F. Bravo, R. Alía, Effect of heat shock on the germination of seeds of the species Acacia senegal L. and Acacia seyal Del. from sub-Saharan Africa (Ethiopia)., Forest Syst 28 (2019) e006. https://doi.org/10.5424/fs/2019282-14227.

[13]D. Côme, Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale), Masson et Cie, Paris, France, 1970.

[14] F. Kotowski, Temperature relations to germination of vegetable seeds, in: Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 1926: pp. 176--184.

[15]M.L. Valbuena, L'influence de la chaleur et de la scarification mécanique sur la capacité de germination des graines de Quercus pyrenaica, New Forests (1998) 11p.

[16] N. Mbaye, A.T. Diop, M. Guèye, A.T. Diallo, C.E. Sall, P.I. Samb, Etude du comportement germinatif et essais de levée de l'inhibition tégumentaire des graines de Zornia glochidiata Reichb. Ex DC., légumineuse de fourragère, Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux (2002) 47–53.

Détermination de l'activité antioxydante et de la teneur en polyphénols totaux dans les extraits méthanoliques des cals de l'arganier (*Argania spinosa* L.)

Koufan Meriyem[1], Mazri Mouaad Amine[1], Najat El Manssoury[1], Belkoura Ilham[2]

[1] *National Institute of Agricultural Research, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Mo-rocco*

[2] *National School of Agriculture, BP S/40, 50001 Meknes, Morocco*

Mots clés
Argania spinosa, cal, activité antioxydante, polyphénols totaux, extrait méthanolique.

RÉSUMÉ

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une espèce agroforestière endémique du Maroc, actuellement menacée et particulièrement prisée pour ses propriétés nutraceutiques. Cette étude vise à évaluer l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols totaux dans les extraits méthanoliques des cals de l'arganier. Les résultats démontrent une variabilité dans l'induction et la morphologie des cals en fonction du type d'explants. Un taux d'induction de cal particulièrement élevé (97,5 %) a été obtenu à partir d'explants de cotylédons. Les valeurs d'activité de piégeage des radicaux libres de 82 et 83,6 % ont été obtenues dans les extraits de cals issus des cotylédons et des feuilles, respectivement. Les teneurs en polyphénols totaux varient également en fonction de l'origine du cal. Ces résultats suggèrent que la culture de cals d'arganier pourrait constituer une méthode prometteuse pour la production durable et continue de composés bioactifs.

Keywords
Argania spinosa, callus, antioxidant activity, total polyphenols, methanolic extract.

ABSTRACT

Determination of Antioxidant Activity and Total Polyphenol Content in Methanolic Extracts of Argan Tree (*Argania spinosa* L.) Callus

The Argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) is an endemic agroforestry species in Morocco, currently threatened yet highly valued for its nutraceutical properties. This study aims to evaluate the antioxidant activity and total polyphenol content in methanolic extracts from Argan tree callus cultures. The results demonstrate variability in callus induction and morphology depending on the type of explant used. A particularly high callus induction rate (97.5%) was achieved from cotyledon explants. Free radical scavenging activities of 82% and 83.6% were observed in callus extracts derived from cotyledons and leaves, respectively. Total polyphenol contents also varied according to the origin of the callus. These findings suggest that Argan tree callus culture could represent a promising method for sustainable and continuous production of bioactive compounds.

1. INTRODUCTION

Au Maroc, les activités d'extraction et de transformation des dérivés de l'arganier sont une source de revenus pour environ un cinquième de la population locale dans les zones où cet arbre est cultivé [1]. Cependant, malgré cette importance économique, la culture des cals, qui sont une source de métabolites primaires et secondaires importante, n'a jamais fait l'objet d'études approfondies pour cette espèce endémique.

Les recherches sur la caractérisation des extraits méthanoliques de l'arganier et leurs activités biologiques sont peu nombreuses. De plus, ces extraits renferment des composés très convoités, tels que les polyphénols totaux, qui possèdent des activités biologiques permettant leur utilisation potentielle dans l'industrie pharmaceutique et alimentaire, comme l'ont souligné plusieurs études [2-3]. Ce sont des molécules bioactives connus pour leur activité antioxydante et leur rôle dans la prévention de nombreuses maladies dé-génératives [4-6]. Dakiche et al. [7] ont évalué la teneur totale en polyphénols et en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des feuilles de l'arganier et ont signalé leurs activités antioxydantes et antibactériennes ainsi que leurs propriétés cytotoxiques contre les cellules cancéreuses de la prostate humaine PC3. Samane et al. [8] ont indiqué que les extraits méthanoliques des amandes et du tourteau d'arganier pouvaient être utilisés contre certaines maladies chroniques graves tandis que Guinda et al. [9] ont déterminé la composition en composés triterpéniques des extraits éthanoliques de feuilles et de fruits d'arganier.

Ce travail a donc comme objectif de déterminer et comparer, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des extraits méthanoliques des cals issus des feuilles et des graines de l'arganier.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

Pour réaliser cette étude, des échantillons de fruits mûrs d'arganier (Argania spinosa L.) ont été prélevés à partir d'un génotype issu de la station expérimentale Melk Zhar (30 ° 02'33.0 "N 9 ° 33'04.0" O) de l'Institut National de Recherche Agronomique du Maroc (INRA), Centre Régional d'Agadir (CRRA-Agadir). Les graines ont été extraites des fruits immédiatement après la récolte, puis concassées pour extraire les amendons.

2. Conditions de culture in vitro

La germination des graines et le développement des plantules ont été effectués sous une photopériode de 16h. Pour l'induction et la multiplication des cals, les cultures ont été maintenues dans des conditions d'obscurité. Avant utilisation, les cals ont été lyophilisés pendant 48h à -60 °C, broyés en poudre fine puis stockés à 4 °C.

3. Induction des cals

Les graines d'arganier ont été dépulpées, concassées et désinfectées suivant le protocole ci-après : Les amendons ont été d'abord lavés à l'eau distillée stérile, puis ont été désinfectés sous la hotte pendant 10 minutes, dans une solution composée de 50% d'eau de Javel commerciale (5% d'hypochlorite de sodium) et 50% d'eau distillée stérile, ensuite ont été rincés à l'eau distillée stérile pendant 10 minutes trois fois de suite.

Deux types d'explants ont été utilisés pour induire la callogenèse. Dans le premier cas, les graines ont été cultivées pendant un mois sur un milieu gélosé, composé de 0,6% d'agar dissous dans de l'eau distillée. Après germination, les plants ont été transférés au milieu 1/2 MS supplémenté avec 1 mg l-1 AIA et 1 mg l-1 BAP pendant deux mois. Les feuilles développées ont été utilisées comme explants. Dans le deuxième cas, des embryons zygotiques ont été excisés aseptiquement des graines et leurs parties cotylédonaires ont été utilisées comme explants. Pour l'induction et la multiplication des cals, les explants ont été cultivés sur le milieu MS/2 supplémenté avec 1 mg l-1 ANA et 1 mg l-1 2,4-D, suggéré par Lamaoui et al. [10].

4. Préparation de l'extrait méthanolique

La préparation des extraits méthanoliques a été réalisée selon le protocole proposé par Yesil-Celiktas et al. [11]. Dans un bain de sonication, 1 g de poudre fine des cals a été mélangé avec 20 ml de méthanol pendant 45 min à 20 kHz et à 50 °C. Le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide.

5. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

La détermination de la teneur en polyphénols totaux a été définie selon Yesil-Celiktas et al. [11]. En effet, 2 ml du méthanol sont ajoutés à 14 mg de l'extrait méthanolique déjà préparé. Ensuite, une aliquote de

10 µl a été mélangée avec de l'eau ultra pure (pour avoir un volume final de 10 ml). Un volume de 0,5 ml du réactif Folin-Ciocalteu a été ajouté au mélange. La solution a été agitée par vortex puis laissée au repos pendant 5 min. Le mélange a été neutralisé avec 1,5 ml de la solution de carbonate de sodium saturé, puis agité vigoureusement et laissé à nouveau au repos pendant 1 h à température ambiante. L'absorbance a été déterminée par spectrophotométrie à 760 nm. La teneur en polyphénols totaux a été exprimée en équivalents d'acide gallique (EAG) (mg par gramme d'extrait sec) en utilisant l'équation suivante, basée sur la courbe d'étalonnage : y = 0,0144 x + 0,034, où y est l'absorbance.

6. Détermination de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante a été déterminée en utilisant l'activité de piégeage des radicaux libres DPPH. Une quantité de 500 µg de l'extrait stocké a été ajustée à 4 ml à l'aide du méthanol, puis un volume de 0,5 ml de DPPH méthanolique (1 mM) y a été ajouté [11]. Le mélange a été agité par vortex pendant 30 s puis laissé au repos pendant 30 min à température ambiante. L'absorbance a été déterminée par spectrophotométrie à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible à 517 nm. La capacité de piéger du radical DPPH a été calculée en utilisant l'équation suivante : % d'activité de piégeage du radical libre (RSA) = ((A DPPH – A Echantillon) / A DPPH) * 100 où A DPPH est l'absorbance de la solution de DPPH et A échantillon est l'absorbance de l'échantillon.

7. Analyse statistique

Pour l'induction des cals, huit explants ont été cultivés par boîte de Pétri et dix répétitions ont été effectuées. Tous les résultats sont présentés sous forme de moyenne ± écart-type. Toutes les données ont été soumises à une analyse de variance univariée (ANOVA) dans un dispositif complètement aléatoire en utilisant SPSS v.21.

3. RÉSULTATS

1. Induction des cals

Le taux de germination avait atteint les 100%. Après transfert des plants dans un milieu MS/2 supplémenté avec 1 mg l-1 AIA et 1 mg l-1 BAP, un allongement des pousses et le développement de nouvelles feuilles ont été observés. Après 2 mois de culture, de jeunes feuilles ont été prélevées sur les pousses en croissance et transférées dans un milieu d'induction de cal. Le taux d'induction de cals était de 97,5% sur la partie cotylédonaire des embryons. En ce qui concerne les feuilles, le taux d'induction des cals était 75%. En revanche, la morphologie du cal varie en fonction de l'explant. Les cals dérivés des explants issus de la partie cotylédonaire des embryons (CC) étaient blancs et friables tandis que ceux issus des feuilles (CL) avaient une couleur jaune à brune et étaient compacts.

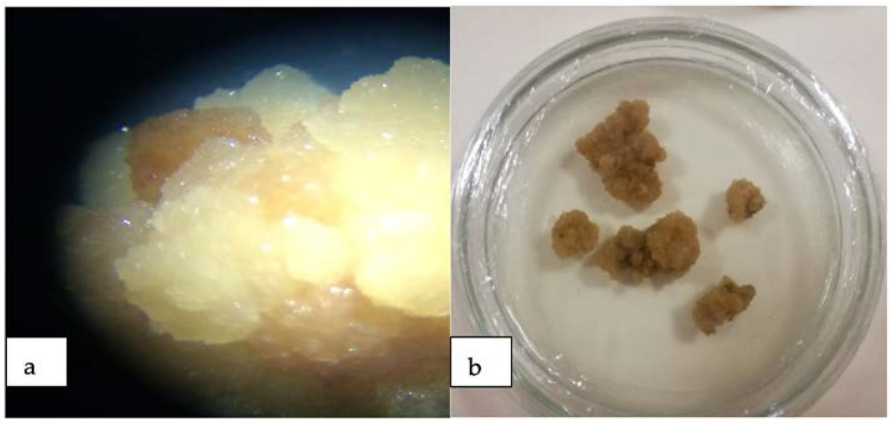


Figure 1 : Induction de cals chez l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) : a. Cals issus de la partie cotylédonaire des embryons (CC) et b. Cals issus des feuilles (CL).

2. Teneur en polyphénols totaux et activité antioxydante

La teneur en polyphénols totaux varie en fonction de la nature des cals utilisés. Les extraits des cals ont montré des valeurs de 0,72 mg EAG / g MS dans les extraits méthanoliques de CL et de 1,55 mg EAG / g MS dans les extraits méthanoliques de CC.

Tableau 1. La teneur en polyphénols totaux (PPT) et l'activité antioxydante dans les différents extraits d'arganier.

Echantillon	Teneur en PPT **(mg EAG / g MS)**	Activité antioxydante (%)
CC-G84	**1.55 + 0.60 a**	**82.0 + 0.79 a**
CL-G84	**0.72 + 0.28 a**	**83.6 + 0.13 b**

Les données sont des moyennes + écart type (n = 3). Origine du matériel végétal : CC, cal obtenu à partir d'explants de cotylédons ; CL, cal obtenu à partir de feuilles issues de semis.

L'activité de piégeage du radical libre variait également selon l'origine du cal. L'activité antioxydante la plus élevée (83,6%) a été observée dans les extraits méthanoliques des cals de feuilles.

4. DISCUSSION

Les études sur la callogenèse de l'arganier sont rares. Lamaoui et al. [10] ont constaté que la formation de cals dépend fortement du type d'explant, de la nature et la concentration des régulateurs de croissance. Ces auteurs ont rapporté que la combinaison de 1 mg/l de l'ANA et 1 mg/l du 2,4-D conduit au taux de formation de cals le plus élevé (95%) et que les explants de bourgeons axillaires présentaient un taux de callogenèse plus élevé par rapport aux feuilles, aux tiges et aux bourgeons apicaux. La combinaison des régulateurs de croissance suggérée par Lamaoui et al. [10] nous a permis d'avoir des taux de callogenèse différents selon la nature de l'explant, qui atteint jusqu'à 97,5%. En effet, il a été constaté que l'induction des cals dépend de la source d'explant, tel que le taux d'induction était significativement plus élevé sur les parties cotylédonaires des embryons par rapport aux feuilles. Les résultats de la présente étude ont montré également que la morphologie des cals varie en fonction de l'explant. Lamaoui et al. [10] ont rapporté que les cals obtenus à partir des différents explants étaient jaunâtres et friables. Néanmoins, nos résultats ont montré que ceux induits à partir des explants de la partie cotylédonaire des embryons étaient blancs et friables, tandis que ceux induits à partir des feuilles étaient généralement jaunes à bruns. L'effet du type d'explant sur la morphologie des cals a été également observé chez d'autres espèces végétales telles que le ray-grass italien [12] et la ciboulette chinoise [13].

Les polyphénols sont des composés chimiques qui ont des fonctions biologiques impor-tantes, notamment des activités antimicrobiennes, antioxydantes et neuroprotectrices [14-15]. Des études antérieures ont montré que les polyphénols extraits de l'huile d'argan vierge ont des effets anti-prolifératifs et pro-apoptotiques sur les lignées cellulaires de cancer de la prostate humaine [16], et préviennent les maladies cardiovasculaires en protégeant les lipoprotéines de basse densité de l'oxydation et en augmentant le transport inverse du cholestérol à partir des macrophages THP-1 humains [17]. Une étude menée par Rincon-perez et al. [18] avait montré que la teneur en PPT des cals de Thevetia pe-ruviana était de 2,8 mg EAG /g MS. Cependant, les recherches menées par Robles-Martinez sur le cactus avaient montré que la teneur en polyphénols totaux des cals issus des graines d'Opuntia varie entre 19,41 et 14,03 mg EAG/g MS selon la variété. Dans le même sens, des travaux antérieurs menés par Krishnan et al., [19] sur les cal de feuille, de tige et les cal développés sur la racine de Gynura procumbens, ont montrés que la teneur en polyphénols était de l'ordre de 0,483, 0,559 et 0,891 mg EAG /g MF, respectivement.

5. CONCLUSIONS

Nous avons évalué et comparé l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols totaux dans les extraits méthanoliques de deux types de cals. L'induction et la prolifération des cals varient considérablement en fonction du type d'explant. Les valeurs de l'activité de piégeage des radicaux libres étaient élevées dans les deux échantillons. Le contenu en

polyphénols totaux variait selon le matériel végétal utilisé. D'autres études devraient être menées sur la prolifération et l'utilisation des cals de l'arganier comme source renouve-lable de production durable des métabolites. La détermination de la composition phé-nolique détaillée (en l'occurrence, la nature des polyphénols) des différents extraits de l'arganier et l'évaluation de leur pertinence biologique pour une éventuelle application dans les industries thérapeutiques sont également recommandées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.Metougui ML, Mokhtari M, Maughan PJ, Jellen EN, Benlhabib O (2017) Morphological variability, heritability and correlation studies within an argan tree population (Argania spinosa (L.) Skeels) preserved in situ. Int J Agric For 7:42–51

2. Lin KH, Shih MC, Wang P, Yu YP, Lu CP (2018) Effect of different ethanolic concentrations on antioxidant properties and cytoprotective activities of Platostoma palustre Blume. Nat Prod Res 32:2959–2963

3.Mayouf N, Charef N, Saoudi S, Baghiani A, Khennouf S, Arrar L (2019) Antioxidant and anti inflammatory effect of Asphodelus microcarpus methanolic extracts. J Ethnopharmacol 239:111914

4.Hättenschwiler S, Vitousek PM (2000) The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. Trends Ecol Evol 15:238–243

5.Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M (2005) Polyphenols: antioxidants and beyond. Am J Clin Nutr 81(suppl):215S-217S

6.Abbas M, Saeed F, Anjum FM, Afzaal M, Tufail T, Bashir MS, Ishtiaq A, Hussain S, Suleria HAR (2017) Natural poly-phenols: an overview. Int J Food Prop 20:1689–1699

7. Dakiche H, Khali M, Abu-el-Haija AK, Al-Maaytah A, Al-Balas QA (2016) Biological activities and phenolic contents of Argania spinosa L (Sapotaceae) leaf extract. Trop J Pharm Res 15:2563–2570

8. Samane S, Noël J, Charrouf Z, Amarouch H, Haddad PS (2006) Insulin-sensitizing and anti-proliferative effects of Ar-gania spinosa seed extracts. eCAM 3:317–327

9.Guinda A, Rada M, Delgado T, Castellano JM (2011) Pentacyclictriterpenic acids from Argania spinosa. Eur J Lipid Sci Technol 113:231–237

10. Lamaoui M, Chakhchar A, Benlaouane R, El Kharrassi Y, Farissi M, Wahbi S, El Modafar C (2019) Uprising the anti-oxidant power of Argania spinosa L. callus through abiotic elicitation. Comptes Rendus Biol 342:7–17

11. Yesil-Celiktas O, Nartop P, Gurel A, Bedir E, Vardar-Sukan F (2007) Determination of phenolic content and antioxidant activity of extracts obtained from Rosmarinus officinalis' calli. J Plant Physiol 164:1536–1542

12. Takahashi W, Komatsu T, Fujimori M, Takamizo T (2004) Screening of regenerable genotypes of Italian ryegrass (Loli-um multiflorum Lam.). Plant Prod Sci 7:55–61

13.Matsuda Y, Adachi T (1996) Plant regeneration via embryogenesis in commercial cultivars of Chinese chive (Allium tu-berosum Rottl.).Plant Sci 119:149–156

14. De Martino L, De Feo V, Fratianni F, Nazzaro F (2009) Chemistry, antioxidant, antibacterial and antifungal activities of volatile oils and their components. Nat Prod Commun 4:1741–1750

15.Kim YC (2010) Neuroprotective phenolics in medicinal plants. Arch Pharm Res 33:1611–1632

16. Bennani H, Drissi A, Giton F, Kheuang L, Fiet J, Adlouni A (2007) Antiprofilative effect of polyphenols and sterols of virgin argan oil on human prostate cancer cell lines. Cancer Detect Prev 31:64–69

17.Berrougui H, Cloutier M, Isabelle M, Khalil A (2006) Phenolicextract from argan oil (Argania spinosa L.) inhibits human low-density lipoprotein (LDL) oxidation and enhances cholesterol efflux from human THP-1 macrophages. Atheroscle-rosis 184:389–396

18.Robles-Martínez M, Barba-de la Rosa AP, Guéraud F, Negre-Salvayre A, Rossignol M, Santos-Díaz MS (2016) Estab-lishment of callus and cell suspensions of wild and domesticated Opuntia species: study on their potential as a source of metabolite production. Plant Cell Tissue Organ Cult 124:181–189

19.Krishnan, V., Ahmad, S., & Mahmood, M. (2015). Antioxidant potential in different parts and callus of Gynura procum-bens and different parts of Gynura bicolor. BioMed Research International, 2015.

Un nouveau micro-organisme isolé des arbres d'arganiers au Maroc : Pestalotia populi-nigrae

Soukaina Maazouzi [1-2*], Amina Ouazzani Touhami[2], Soukaina Msairi [3], Zineb Sellal [2], Karima Selmaoui[2], Allal Douira [2]

[1] *Institut Supérieur Des Professions Infirmiers Et Des Techniques De Santé (ISPITS) Dakhla, com ;*

[2] *Laboratoire des Productions Végétales, Animales et Agro-industrie, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Morocco.*

[3] *Équipe de Botanique et Valorisation des Ressources Végétales et Fongiques, Faculté des Sciences, Université Mohamed V, Rabat, Maro*

** maazouzisoukaina0@gmail.com*

Mots clés
Maroc, Pestalotia, Pestalotia populi-nigrae, chlorose, conidies.

RÉSUMÉ

Au Maroc, *Pestalotia populi-nigrae* a été isolée pour la première fois à partir des plants d'arganiers montrant des symptômes de chlorose, des tâches foliaires, brûlure des aiguilles, brûlure de la pointe, et pourriture des bourgeons. Elles sont formées de 5 cellules fusiformes, trois cellules intermédiaires, et deux cellules apicale et basale, hyalines de forme triangulaire à conique. Les conidies possèdent deux à trois sétules simples (généralement trois) de 33,06 µm de longueur et un pédicelle court de 8,99 µm de longueur.

Keywords
Morocco, Pestalotia, Pestalotia populi-nigrae, chlorosis, conidia

ABSTRACT

A new microorganism isolated from argan trees in Morocco: Pestalotia populi-nigrae.

In Morocco, up until now, the Pestalotia species has never been reported or described on argan trees. For the first time, *Pestalotia populi-nigrae* has been isolated from argan plants. Samples of leaves showing symptoms of chlorosis, leaf spots, needle blight, tip burn, and bud rot were collected. They are composed of 5 fusiform cells, three intermediate cells, and two apical and basal cells that are hyaline and triangular to conical in shape. The conidia have two to three simple setae (usually three), measuring 33.06 µm in length, and a short pedicel of 8.99 µm in length.

1. INTRODUCTION

Les espèces fongiques appartenant au genre Pestalotia ou Pestalotiopsis, sont des Ascomycètes de la famille des Amphisphaeriaceae [1-2]. Ces champignons sont importants, non seulement en raison de leur pathogénicité, mais également en tant qu'endophytes couramment isolés des plantes et qui produisent une large gamme de nouveaux métabolites chimiques [3]. Ils ne sont pas spécifiques, mais présentent la capacité d'infecter une gamme d'espèces végétales [4-5]. Tejesvi et al.[6] ont signalé que les champignons du genre Pestalotia s'attaquent aux plantes en hivers, avec une fréquence de colonisation variables en fonction de l'âge de l'espèce végétale ([7-8-9].

Des prospections réalisées dans les arganeraies de la région d'Agadir (Tiznit, Taghazoute), ont permis d'observer des nécroses foliaires, des brûlures des aiguilles et des desséchements des bourgeons de certains arganiers. Dans cette étude, nous avons essayé de déterminer l'agent causal de ces symptômes.

2. MATERIEL ET MÉTHODES

Des observations effectuées en 2018, dans la région d'Agadir (Tiznit, Taghazoute), ont révélé que des feuilles d'Agania spinosa présentent des nécroses foliaires, des brûlures des aiguilles et des desséchements des bourgeons. Sur les feuilles, les symptômes se présentent au début sous forme de petites taches circulaires de couleur brune de 1 à

2 mm de diamètre, avec parfois des petits boutons noirs qui sont les acervules. Après les feuilles se nécrosent et les bourgeons se dessèchent (Figure 1). Les feuilles présentant les symptômes sont collectées, lavées à l'eau courante, découpées en fragments puis placées stérilement dans des boîtes de Petri contenant trois rondelles de papier filtre (buvard) préalablement stérilisées puis humidifiées à l'eau distillée stérile. Les boîtes sont ensuite incubées sous lumière continue. Après 7 jours, les fragments sont examinés sous microscope optique afin de noter la présence des fructifications des champignons. Les conidies ainsi développées sont transférées une à une sur le milieu PDA (Potato Dextrose Agar) à l'aide d'un capillaire en verre étiré. Les cultures monosporales réalisées ont été incubées pendant 8 jours à 28° C pour l'identification des espèces.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Cinq espèces fongiques ont été isolées et identifiées: Penicillium sp., Aspergillus sp., Rhizopus sp., Alternaria sp. et Pestalotia populi-nigrae . Quatre à six jours après repiquage de cette dernière espèce, les acervules sont apparues sous forme de points noirs dispersés sur le milieu de culture PSA (Figure 2). Les conidies isolées sont observées sous microscope, elles sont de 23,64 µm de long et 9,57 µm de large. Elles sont formées de 5 cellules fusiformes, droites ou légèrement incurvées, parfois légèrement resserrées. Les trois cellules intermédiaires sont versicolores avec deux cellules foncées (brun foncé) et une plus claire (brun jaune). Les deux cellules apicale et basale sont hyalines de forme triangulaire à conique. Les conidies possèdent deux à trois sétules simples (généralement trois) de 33,06 µm de longueur et un pédicelle court de 8,99 µm de

longueur (Figure 1). Cette description est conforme à celle donnée par Guba [10]. Il s'agit du premier signalement de Pestalotia populi-nigrae causant des nécroses foliaires et des desséchements des bourgeons foliaire chez l'arganier au Maroc. Jeewon et al. [11] et Tejesvi et al. [12] ont montré que les espèces de Pestalotia ou de Pestalotiopsis présentent une diversité morphologique considérable et que les isolats sont regroupés en fonction de similitudes dans la morphologie conidienne. Hu et al. [13] ont constaté que les caractères des conidies tels que la longueur et la largeur des conidies, la longueur médiane des cellules et la couleur des cellules médianes sont des caractères stables chez les espèces de ce genre. Cependant, la longueur des appendices apicaux et basaux sont variés.

En 2009, Bakry et al. [14] ont noté chez les plants de l'arganier se développant au niveau des pépinières, des jaunissements et des nécroses localisés au niveau des pétioles et au niveau de la surface foliaire, ces symptômes développent parfois des acervules noires. Le genre Pestalotiopsis ou Pestalotia est pathogène, mais considéré comme un parasite faible qui infecte également de nombreuses plantes économiquement importantes telles que Washingtonia (Pestalotiopsis

palmarum) [15], Olive (Pestalotia fici) [16]. Yamni [17] a isolé également P. cruenta à partir des feuilles de Pyrus mamorensis de la forêt de Maâmora au Maroc et il semble que ce pathogène infecte également Chamaerops humilis dans l'écosystème du chêne liège [18].



Figure 1. A, B, C, D : Différents symptômes observés sur les feuilles et les fruits de l'arganier, s: symptômes, a : acervules (photos Zineb Sellal, 2018).

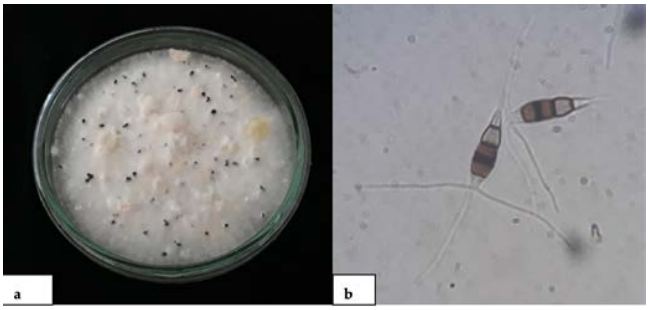


Figure 2. a: les acervules dispersés sur le milieu de culture PSA, b. les conidies de Pestalotia populi-nigrae (photos Maazouzi Soukaina, 2019)

4. CONCLUSION

Les symptômes observés sur les feuilles des arganiers hébergent Pestalotia populi-nigrae. Cette espèce fongique a été rencontrée pour la première fois au Maroc sur les arganiers. L'étude du pouvoir pathogène d'une population de Pestalotia populi-nigrae semble judicieuse pour connaitre l'importance de ce pathogène au niveau des arganeraies marocaines.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Kang, J.C.; Kong R.Y.C.; Hyde K.D. Studies on the Amphisphaeriales. 1. Amphisphaeriaceae (sensu stricto) and its phylogenetic relation-ships inferred from 5.8 S rDNA and ITS2 sequences. Fungal Diversity, 1998, 1: 147–157.

2. Kang, J.C.; Hyde K.D.;Kong R.Y.C. Studies on Amphisphaeriales: the Amphisphaeriaceae (sensu stricto). Mycological Research, 1999, 103: 53–64.

3. Sajeewa, M. ; Liang-Dong, G. ; Ekachai Ch. ; Bahkali, A.H. ; Kevin, D.H. Pestalotiopsis morphology, phylogeny, biochemistry and diversity, Fungal Diversity, 2011, 50 :167–187. DOI 10.1007/s13225-011-0125-x

4. Hopkins, K.E.; McQuilken, M.P. Characteristics of Pestalotiopsis associated with hardy ornamental plants in the UK. Eur J Plant Pathol, 2000, 106:77–85. DOI: 10.1023/A: 1008776611306

5. Keith, L.M.; Velasquez, M.E.; Zee, F.T. Identification and characterization of Pestalotiopsis spp. causing scab disease of guava, Psidium guajava in Hawaii. Plant Dis, 2006, 90:16–23. DOI: 10.1094/PD-90-0016

6. Tejesvi, M.V. ; Mahesh, B. ; Nalini, M.S. ; Prakash, H.S. ; Kini, K.R. ; Subbiah, V. ; Shetty H.S. Endophytic fungal assemblages from inner bark and twig of Terminalia arjuna W and A. (Combretaceae). World J Microbiol Biotechnol, 2005, 21:1535–1540. DOI 10.1007/s11274-005-7579-5

7. Wei, J.G. ; Xu, T. ; Guo, L.D. ; Liu, A.R. ; Zhang, Y. ; Pan, X.H. Endophytic Pestalotiopsis species associated with plants of Podo-carpaceae, Theaceae and Taxaceae in southern China. Fungal Divers, 2007, 24:55– 74.

8. Watanabe, K.; Motohashi, K.; Ono, Y. Description of Pestalotiopsis pallidotheae: a new species from Japan. Mycoscience, 2010, 51:182–188. DOI: 10.1007/s10267-009-0025-z

9. Aly, A.H.; Debbab, A.; Kjer, J.; Proksch, P. Fungal endophytes from higher plants: a prolific source of phytochemicals and other bioactive natural products. Fungal Divers, 2010, 41(1):1–16. DOI: 10.1007/s13225-010-0034-4

10. Guba, E.F. Monograph of Monochaetia and Pestalotia Harvard University Press, Cambridge, MA, USA, 1961, 342 p.

11. Jeewon, R. ; Liew, E.C.Y. ; Simpson, J.A. ; Hodgkiss, I.J. ; Hyde, K.D. Phylogenetic significance of morphological characters in the taxonomy of Pestalotiopsis species. Mol Phylogenet Evol, 2003, 27:372–383. DOI: 10.1016/S1055-7903(03)00010-1

12. Tejesvi, M.V. ; Tamhankar, S.A. ; Kini, K.R. ; Rao, V.S. ; Prakash, H.S. Phylogenetic analysis of endophytic Pestalotiopsis species from ethnopharmaceutically important medicinal trees. Fungal Divers, 2009, 38:167–183.

13. Hu, H.L.; Jeewon, R.; Zhou, D.Q.; Zhou, T.X.; Hyde, K.D. Phylogenetic diversity of endophytic Pestalotiopsis species in Pinus armandii and Ribes spp.: evidence from rDNA and βtubulin gene phylogenies. Fungal Divers, 2007, 24:1–22.

14. Bakry, M. ; Bussières, G. ; Lamhamedi, M.S; Margolis, H ; Stowe, D.C. ; Abourouh, M. ; Blais, M. ; Bérubé, J.A. A first record of Pestalotiopsis clavispora in Argan mass cutting propagation: Prevalence, prevention and consequences for plant production. Phytoprotection, 2009, 9(3): 89-132. DOI:10.7202/045780ar

15. Selmaoui, k. ; Touati, J. ; Chliyeh, M. ; Ouazzani Touhami, A. ; Benkirane, R. ; Douira, A. Study of Pestalotiopsis palmarum path-ogenicity on

Washingtonia robusta (Mexican palm) International Journal Of Pure & Applied Bioscience, 2014, 2 (6): 138-145.

16. Chliyeh, M.; Rhimini, Y.; Selmaoui, K.; Touhami Ouazzani, A.; Filali-Maltouf, A.; El Modafar, Ch.; Moukhli, A.; Oukabli, A.; Benkirane, R.; Douira, A. First Report of Pestalotia fici Causing Leaf Chlorosis and Fruit Rot on Olive (Olea Europaea L.) In Morocco, International Journal of Recent Scientific Research, 2014, Vol. 5, Issue, 1, pp.136-141.

17. Yamni, K.; Dohou, N.; Outcoumit, A.; Ouazzani Touhami, A.; Douira, A. First report of Pestalotia subcuticularis on Pyrus ma-morensis in Morocco. Phytopathologia Mediterranea, 2006, 45: 40-42. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-1811

18. Khey, A.; Ouabbou, A; Selmaoui, K.; Ouazzani Touhami, A.; Benkirane, R.; Douira, A. Chamaerops humilis un nouvel hôte de Pestalotiopsis cruenta (Kleb.) Steryaert au Maroc. Lebanese Science Journal, 2013, 14: 129-132.

Nouvel outil de performance pour la sélection chez l'*Argania spinosa* L. Skeels : Plasticité phénotypique des feuilles chez des génotypes sélectionnés, en réponse à l'impact environnemental

Siham Oumous[1,2], Ilham Rahmouni[1,2], Ghizlane Tobi[1,2], Mohammed Bouksaim[2], Yasmina El Bahloul[1,*]

[1] *Unité de Recherche en Amélioration des Plantes Conservation et Valorisation des Ressources Phytogénétiques Centre Régional de la Recherche Agronomique de Rabat, INRA- Maroc.*

[2] *Laboratoire Eco-valorisation, Centre Régional de la Recherche Agronomique CRRA – Rabat.*

** yasmina.elbahloul@yahoo.com*

Mots clés
Adaptation, Argania spinosa, environnement, génotype, morphométrie géométrique, morphologie des feuilles

RÉSUMÉ

La plasticité phénotypique est le reflet du comportement variable des génotypes face aux différentes conditions environnementales. Ce volet interactif de l'arganier avec son environnement n'a pas été suffisamment étudié. De ce fait, nous avons jugé utile d'élucider les réponses d'adaptation, exprimées au niveau de la forme et la taille des feuilles, comme l'organe le plus sensiblement influencé par les contraintes de l'environnement. Pour cela, vingt groupes différents de génotypes (de trois demi-frères/groupe) d'Argania spinosa (L.) Skeels ont été évalués quant à leurs performances et leurs interactions génotype × environnement (G x E). L'accent ayant été mis sur les principes de la morphométrie géométrique appliqués, pour analyser la morphologie des génotypes dans trois sites géo-climatiquement contrastés (Centre, Nord-Ouest et Sud-Ouest du Maroc). Les résultats obtenus ont montré que les valeurs des distances de Mahalanobis ont atteint 35,53 entre les emplacements du Sud-Ouest et du Nord-Ouest, 21,88 entre les emplacements du Nord-Ouest et du Centre et 18,29 pour les emplacements du Sud-Ouest et du Centre. La différenciation entre les groupes en utilisant la valeur des variations canoniques a montré un effet significatif de l'environnement sur les génotypes d'arganier étudiés. En effet, des feuilles de petite taille et des limbes étroits ont été observés dans la zone centrale caractérisée par un climat semi-aride, par rapport aux autres localités. Cependant, les feuilles originaires de la zone Sud-Ouest, à climat aride, avaient principalement une forme ovale. Les mêmes génotypes ont présenté un spectre élevé de variation de forme, allant de la forme obovale à la forme ovale dans les autres régions.

L'interaction GxE sur la morphologie des feuilles de l'arganier a été bien démystifiée dans la présente étude, il s'agit d'un impact important à prendre en considération dans les programmes de sélection spécifique ou à large adaptation de l'arganier.

ABSTRACT

New performance tool for *Argania spinosa* L. Skeels breeding : phenotypic plasticity of leaf shape selected genotypes, in response to environmental impact

Phenotypic plasticity refers to the differential behavior of genotypes through variable environmental conditions. Argan genotype environment interaction has not been sufficiently studied. Therefore, we considered useful to elucidate the adaptive responses, on shape and size of leaves, as the organ

most significantly influenced by environmental constraints. For that, twenty different groups of genotypes (of three half-siblings/group) of Argania spinosa (L.) Skeels were evaluated for their performance and genotype × environment interactions (G x E). To perform this, geometric morphometric principles were applied to analyze genotypes morphology in three geo-climatically contrasting sites (Central, North-Western and South-Western of Morocco).

Obtained results showed that the Mahalanobis distances values among locations reached 35.53 between South-Western and North-Western locations, 21.88 North-Western and Central locations and 18.29 for South-Western and Central location. The differentiation between the groups using the Canonical Variations value showed a significant effect of the environment on the studied argan tree genotypes.

Indeed, small leaves and narrow blades were observed in Central location characterized by a semi-arid climate, when compared to others localities. However, leaves originated from South-Western location, with an arid climate, had mainly an ovate shape. The same genotypes presented a high spectrum of shape variation varying from obovate to ovate in the other regions.

The GxE interaction on leaf morphology of argan has been well demystified in the present study, this is a big important impact to be considered in specific or broadly adapted breeding programs of argan.

Keywords
Adaptation, Argania spinosa, environment, genotype, geometric morphometrics, leaf morphology.

1. INTRODUCTION

Les caractéristiques des plantes sont déterminées par une combinaison du patrimoine génétique (génotype) et de la capacité à répondre aux changements environnementaux [1]. L'expression phénotypique variable du même génotype dans différents environnements est un signal de l'adaptation, souvent appelée plasticité phénotypique [2]. Les réponses de plasticité sont exprimées à différents niveaux, les feuilles parmi les organes les plus sensibles aux changements environnementaux au cours de l'évolution et présentent une large variabilité phénotypique comme réponse adaptative [3,4].

La variation des caractéristiques des feuilles pourrait considérée comme des indicateurs pour sélectionner les espèces ayant d'excellentes performances de croissance et productivité élevée de la biomasse [5].

L'interaction Génotype-Environnement (G x E) est l'un des défis majeurs de la sélection végétale, en raison de la grande diversité des conditions climatiques et des propriétés pédologiques des régions [6]. Afin de mieux comprendre les interactions G x E, la mise en place des essaies expérimentaux multi-environnements est indispensable. Ce type d'études et les mécanismes d'adaptation chez l'arganier [Argania spinosa (L.) Skeels] ne sont pas suffisamment étudiés jusqu'à présent, malgré l'importance et les rôles irremplaçables de cette espèce à l'échelle nationale et internationale.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est d'analyser l'impact des interactions G x E chez vingt groupes différents de génotypes (de trois demi-frères/groupe) d'arganier sélectionnés menés en essais exclusifs, dans des régions à environnements contrastés. Pour cette étude nous avons utilisé les feuilles pour :

a) Déterminer la variabilité morphologique de la forme et de la taille des feuilles entre des génotypes sélectionnés dans les conditions climatiques différentes de trois sites au Maroc.

b)Identifier la réponse des génotypes étudiés dans différents environnements contrastés.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

Dans le but d'évaluer les interactions G x E et l'impact de l'environnement sur les feuilles, 60 génotypes d'arganier ont été sélectionnés dans trois essais multi-locaux. Cinq feuilles par génotype ont été échantillonnées en avril 2018 à partir des 20 arbres sélectionnés dans chaque site d'étude expérimental (100 feuilles au total par site d'étude). Les feuilles

ont été échantillonnées à une hauteur de 0,5 à 1,5 m autour de la couronne à partir des branches primaires de chaque génotype. Au total 300 feuilles d'arganier ont été caractérisées.

2.2. Sites d'évaluation G x E

Les essais multi-locaux ont été conduits au champ dans trois stations expérimentales de l'INRA dont les conditions environnementales sont différentes. Le but est de déterminer le comportement des génotypes et leur réponse à différentes conditions, ce qui permet d'évaluer leur adaptation. Les stations sont situées au :

•Sud-Ouest : latitude 30° 30' N, longitude 9° 33' W, altitude 80 m. Le sol est alcalin (pH = 8,45) et de texture argileuse. Le climat aride qui prédomine la région, avec une saison sèche bien définie, une température moyenne variant de 11 à 28,9 °C et des précipitations annuelles moyennes d'environ 290 mm ;

• Nord-Ouest : latitude 35° 08' N, longitude 6° 08' W, altitude 39 m. Il est caractérisé par un sol sableux et alcalin (pH = 8,1). Le climat est subhumide, avec une période hivernale douce. Les températures moyennes varient de 9 à 28,3 °C. Les précipitations annuelles moyennes annuelle moyenne est d'environ 630 mm ;

• Centre : latitude 33° 56' N, longitude 5° 12' W, altitude 550 m. Le sol est argileux et neutre. Le site bénéficie d'un climat semi-aride, avec une température minimale moyenne de 2,8 °C, une température maximale moyenne de 37 °C et une température moyenne de 18,3 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 470 mm.

Les sites ont été choisis pour leurs conditions climatiques contrastées et leurs caractéristiques pédologiques diversifiées.

2.3. Caractérisation géo-morphométrique des feuilles

La caractérisation des feuilles est basée sur la mesure de la longueur, largeur ainsi que les analyses géo-morphométriques. Les feuilles ont été caractérisées morphologiquement, séchées et scannées en utilisant le scanner HP Scanjet G4010. La procédure de numérisation a été répétée deux fois pour estimer l'erreur de numérisation. Les images scannées sont ensuite utilisées pour enregistrer les points de repère sur les côtés gauche et droit de chaque feuille.

2.4. Logiciels appliqués et analyse statistique

La caractérisation de la feuille entière a été réalisée sur la base d'un ensemble de 61 points de repères qui renseignent sur la taille relative et la forme approximative. Tout d'abord, pour chaque feuille, 7 points de repère (PR) sont fixés et ils sont situés comme suit : PR 1 et 7, début du pétiole ; PR 2 et 6, jonction du limbe avec pétiole ; PR 3–5, la plus grande largeur de la feuille limbe ; PR 4, apex du limbe. Ensuite, les points restants (54 points de repère) ont été placés entre les points fixes pour avoir des données plus précises sur la taille et la forme (Figure 1).

Pour caractériser les feuilles géo-morphométriquement, les logiciels de la série TPS ont été utilisés pour créer des fichiers pour la manipulation et la numérisation des données [7].

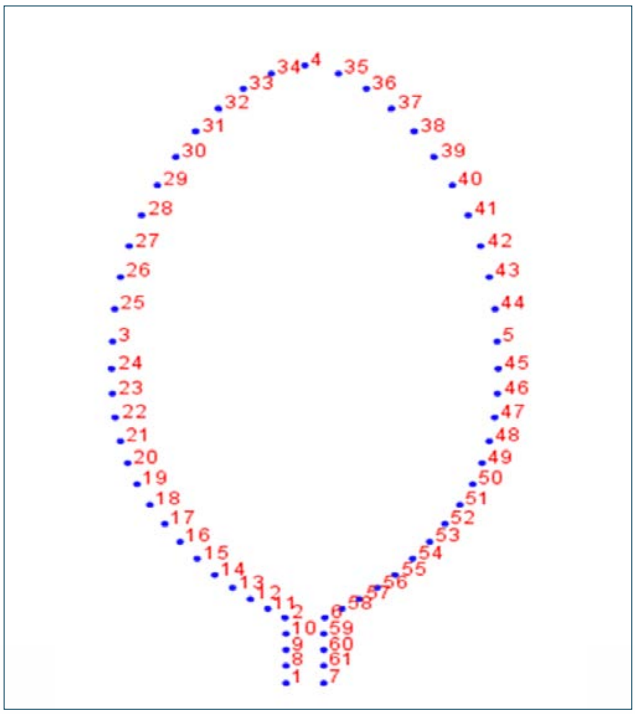


Figure 1. Schéma des 61 points de repère pour les mesures géo-morphométriques des feuilles.

Au début, un fichier TPS est créé dans TPSUtil32 version 1.74 avec l'extension TPS. Ensuite, le fichier est ouvert dans TPSDig2W32 version 2.30 pour numériser les 61 points de repère dans le même ordre sur chaque feuille, après avoir défini un facteur d'échelle. Par la suite, le TPS est converti en fichier NTS pour réorganiser les données sous

forme de matrice avec des lignes correspondant aux échantillons et des colonnes correspondant aux coordonnées.

L'Analyse de la Variation Canonique (AVC) a été réalisée dans MorphoJ pour tester et tracer les différences entre les groupes. La signification statistique a été évaluée avec des tests de permutation (10000 permutations par test) en utilisant la distance de Mahalanobis [8]. Les fonctions d'interpolation spline en plaque mince ont été utilisées dans chaque extrémité des axes en forme des grilles de déformation et représentent la variation de forme entre les génotypes.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les feuilles constituent l'organe le plus important dans la photosynthèse et la croissance de la plante [9]. La forme et la taille de cet organe reflètent les stratégies de survie et d'adaptation des plantes pour faire face aux changements environnementaux [10]. L'arganier est l'une des espèces caractérisées par une grande variation phénotypique. Alors que les études sur la morphologie et la variabilité des feuilles sont très limitées. Les premières descriptions ont montré que les feuilles d'arganier sont entières, coriaces, alternes et souvent unies en fascicules [11]. Elles sont plus ou moins pétiolées, glabres et la nervure médiane est clairement marquée. La forme des feuilles des jeunes plantules est le plus souvent elliptique [12]. Néanmoins, l'arbre adulte présente des formes lancéolées, oblongues-lancéolées, spatulées, obovées ou oblancéolées [13-14]. Sur un même arbre, deux types de feuilles coexistent, des feuilles simples et les feuilles groupées sur les pousses ligneuses [15].

Dans la présente recherche, la diversité phénotypique des feuilles a été étudiée pour déterminer la réponse de génotypes sélectionnés à leur environnement.

3.1. Regroupement des feuilles selon les sites

Suite à l'analyse de la variation canonique, les distances de Mahalanobis entre les sites étaient de 35,53 entre le site du Sud-Ouest et le site du Nord-Ouest, de 21,88 entre le site du Nord-Ouest et le site du Centre et de 18,29 entre le site du Sud-Ouest et le site du Centre. La projection des scores sur les deux premiers axes CV a montré que les feuilles dans chaque station ont été distinctes les unes des autres. Le premier axe CV1 expliquant 91,65% de la variance totale, a séparé les demi-frères de chaque région à part. Cependant, le deuxième axe CV2 (8,34%) a différencié les génotypes de la région centrale des autres stations (Figure 2). Les feuilles des génotypes de ce site ont été distinctes de celles des génotypes de Nord-Ouest et Sud-Ouest par des feuilles ovales de petites tailles et un pétiole court. Les génotypes de Nord-Ouest ont été caractérisés par des feuilles elliptiques et larges. En ce qui concerne le site de Sud-Ouest, les génotypes ont été marqués par des feuilles grandes et ovales. Les génotypes de Sud-Ouest se sont distingués de ceux de Nord-Ouest par un grand pétiole, une forme ovale et un apex obtus.

La séparation des groupes selon les CV évoque un effet environnemental significatif sur les génotypes étudiés. Chaque station a été caractérisée par des conditions environnementales distinctes (Température, texture du sol, altitude) qui agissent différemment sur les feuilles des arbres sélectionnés. Ce résultat est en accord avec ceux de [16] sur Ziziphus jujuba Mill. En effet, certaines caractéristiques importantes de la morphologie des feuilles de jujubier ont été influencées par des facteurs climatiques tels que la température annuelle moyenne et les précipitations annuelles moyennes. Les auteurs ont constaté que, dans les régions humides, le jujubier chinois a tendance à avoir une surface foliaire et un périmètre foliaire plus élevés que les variétés soumises à un stress de sécheresse. Une influence similaire des facteurs environnementaux a été signalée chez Populus nigra L., la comparaison de neuf métapopulations de Populus nigra dans deux sites d'expérimentation a révélé que la morphologie des feuilles et la structure des feuilles présentent une variation génétique et une plasticité phénotypique substantielles qui représentent toutes les deux des déterminants potentiellement importants de la capacité des populations à réagir aux variations environnementales [17].

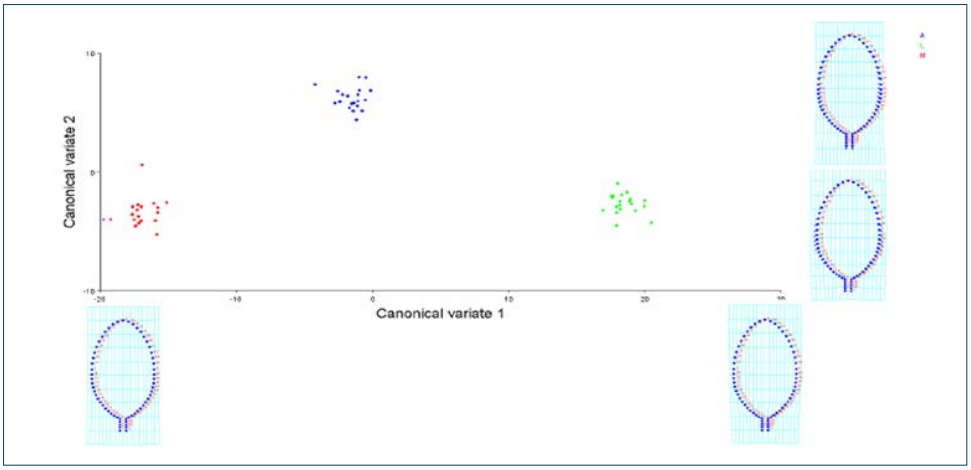


Figure 2. Projection des individus selon les variables canoniques extraites par l'Analyse des Variations Canoniques (AVC). CV1 et CV2 expliquant 91,65% de la variance totale.

Le facteur environnement semble jouer un rôle fondamental dans la variation observée sur AVC. Ainsi, les génotypes du site central ont été caractérisés par des feuilles étroites par rapport aux autres stations. La réduction de la taille des feuilles a été probablement affectée par l'altitude élevée de la station expérimentale (550 m) et la température basse qui atteint 2,8 C°. Ce résultat est en accord avec des études antérieures sur Eucalyptus pauciflora, Acer rubrum et Quercus kelloggii qui ont révélé que la taille des feuilles diminue avec l'augmentation d'altitude [1,18]. Cette diminution de taille a été attribuée aux températures basses et aux processus de photosynthèse [19].

Les résultats montrent que le génotype génère un effet plus important sur la taille et la forme des feuilles que celui de l'environnement. En outre, l'interaction G x E a une influence significative sur les feuilles. La variation morphologique foliaire a été observée chez d'autres espèces ligneuses comme Quercus petraea [20], Eucalyptus sideroxylon [21] et Quercus rugosa [4] qui poussent dans des conditions différentes. Ces travaux de recherche ont montré que l'effet génotypique est associé aux variations foliaires dans diverses conditions. La différence entre les génotypes et les demi-frères pourraient être expliquée chez l'arganier par l'influence des conditions environnementales sur l'expression des gènes liés aux feuilles et aussi par la diversité génétique considérable due à l'allogamie d'arganier.

Dans la présente étude, la variation des feuilles peut être due à la plasticité phénotypique expliquée par l'interaction des gènes et de l'environnement. De plus, les résultats ont indiqué une forte variabilité et plasticité chez certains génotypes issus du même arbre mère. Par exemple, le génotype G10 (Figure 3) a montré divers aspects en réponse à différents environnements, les feuilles dans la région centrale (A) ont été petites et leur forme a été strictement obovale. Cependant, elles ont été plus grandes et elles ont présenté une forme ovale au Sud-Ouest (B) et elliptique au Nord-Ouest (C).

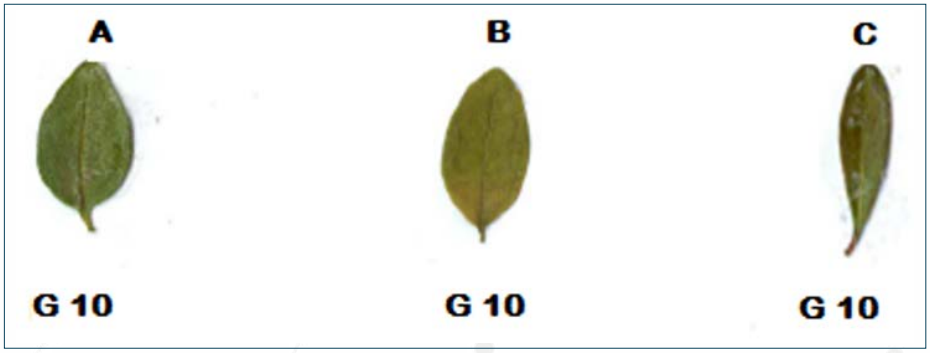


Figure 3. Variation morphologique des feuilles du génotype 10 à travers les trois stations, A : Site central ; B : Site du Nord-Ouest ; C : Site du Sud-Ouest.

5. CONCLUSION

La plasticité phénotypique constitue une réponse de l'individu à un changement environnemental qui lui permettra de s'acclimater aux changements de conditions du milieu. Les observations réalisées à travers les trois sites d'étude ont mis en évidence une large plasticité phénotypique de la performance des demi-frères en interaction avec les divers environnements. La réponse des génotypes étudiés sous différents environnements contrastés varie en fonction du génotype et la localisation. Ainsi, les feuilles des vingt génotypes dans la localisation centrale semblent être petites et caractérisées par un limbe étroit par rapport aux autres localisations. Cependant, les feuilles du site du Sud-Ouest étaient caractérisées par une forme ovale et les mêmes génotypes dans les autres régions présentaient un très large spectre de variation et leurs formes varient d'obovale à ovale. Le génotype et la variation environnementale sont des indicateurs importants de la variabilité morphologique, jouant le rôle d'adaptation des plantes à des conditions hétérogènes. En outre, l'approche morphométrique géométrique a produit une variation observable pour les soixante génotypes d'arganiers étudiés, étant particulièrement pour la détection des différences de forme qui peuvent refléter l'adaptation de l'arganier à différents endroits. Cette étude peut fournir de nouvelles informations sur l'adaptation potentielle de l'arganier face aux changements climatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Royer, D.L.; McElwain, J.C.; Adams, J.M.; Wilf, P. Sensitivity of leaf size,and shape to climate within Acer rubrum and Quer-cus kelloggii. New Phytologist, 2008, 179(3), pp. 808–817.

2.Gratani, L. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. Advances in Botany, 2014, ID 208747.

3. Bruschi, P.; Grossoni, P.; Bussotti, F. Within and among tree variation in leaf morphology of Quercus petraea (Matt.) Liebl. Natural populations, 2003, Trees 17, pp. 164–172.

4. Uribe-Salas, D.; Sáenz-Romero, C.; González-Rodríguez, A.; Téllez-Valdéz, O.; Oyama, K. Foliar morphological,variation in the white oak Quercus rugosa Nee (Fagaceae) along a latitudinal gradient in Mexico: Potential implications for management and conservation. Forest Ecology and Management, 2008, 256(12), pp. 2121–2126.

5. Bunn, S.M.; Rae, A.M.; Herbert, C.S.; Taylor, G. Leaf-level productivity traits in Populus grown in short rotation coppice for biomass energy. Forestry, 2004, 77(4), pp. 307-323.

6. Vencovsky, R.; Ramalho, M.A.P.; Toledo, F.H.R.B. Contribution and perspectives of quantitative genetics to plant breeding in Brazil. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 2012, 12, pp. 07-14.

7. Rohlf, F.J. Tps Series. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, New York, 2010. Retrieved June 8, 2011 from http://life.bio.sunysb.edu/morph/

8.Iwaizumi, R.; Kaneda, M.; Iwahashi, O. Correlation of length of terminalia of males and females among nine species of Bac-trocera (Diptera: Tephritidae) and differences among sympatric species of B. dorsalis complex. Annals of the Entomological Society of America, 1997, 90(5), pp. 664-666.

9. Coleman, J.S.; McConnaughay, K.D.; Ackerly, D.D. Interpreting phenotypic variation in plants. Trends Ecology and Evolution, 1994, 9(5), pp. 187–191.

10. Tsukaya, H. Leaf shape: genetic controls and environmental factors. The International Journal of Developmental Biology, 2005, 49(5-6), pp. 547–555.

11. Sauvage, Ch.; Vindt, J. Flore du Maroc analytique, descriptive et illustrée, 1952, Volume 1. Spermatophytes, Fascicule I, Eri-cales, Primulales, Plombaginales, Ebénales et Contortales. Work of the Cherifien Scientific Institute. Rabat, Morocco : INRA, pp. 83–85.

12 .Cornu, M. Note on the structure of Moroccan argan fruits (Argania syderoxylon (L.) Skeels). Bulletin de la Société Botanique de France, 1897, 44, pp. 181–187.

13. El Aboudi, A. Typology of sub-Mediterranean,arganeraies and ecophysiology of the argan tree (Argania spinosa (L.) Skeels) in Souss region (Morocco): PhD thesis, 1990. Grenoble: Es-Sciences in University Joseph Fourier, France.

14. Zahidi, A.; Bani-Aameur, F.; El Mousadik, A. Variability in leaf size and shape in three natural populations of Argania spi-nosa (L.) Skeels. International Journal of Current Research and Academic Review, 2013, 1(3), pp. 13–25.

15. M'hirit, O,; Benzyane, M,; Benchekroun, F,; El Yousfi, S.M.; Bendaanoun, M. L'arganier. Une espèce fruitière-forestière à usages multiples, Éditions Mardaga : Sprimont, Belgique, 1998, pp. 1-151.

16. Li, X.; Li, Y.; Zhang, Z.; Li, X. Influences of environmental factors on leaf morphology of Chinese Jujubes. PLoS ONE, 2015, 10(5), e0127825.

17. Guet, J.; Fabbrini, F.; Fichot, R.; Sabatti, M.; Bastien, C.; Brignolas, F. Genetic variation for leaf morphology, leaf structure and leaf carbon isotope discrimination in European populations of black poplar (Populus nigra L.). Tree Physiology, 2015, 35(8), pp. 850–863.

18. Young, G.; Andrew, I.; Lee, K.; Li, X.; Robb, R.; Robinson, I.; Sargent, H.; Sinclair, B. Analysing phenotypic variation in Euca-lyptus pauciflora across an elevation gradient in the Australian Alps. Researching functional ecology in Kosciuszko National Park. Field Studies in Ecology, 2017, 1(1), pp. 17–25.

19. Hendrickson, L.; Ball, M.C.; Wood, J.T.; Chow, W.S.; Furbank, R.T. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. Plant Cell Environment, 2004, 27(7), pp. 795–809.

20. Viscosi, V.; Cardini, A. Leaf Morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners. PLoS ONE, 2011, 6(10), e25630.

21. Warren, C.R.; Tausz, M.; Adams, M.A. Does rainfall explain variation in leaf morphology and physiology among popula-tions of red ironbark (Eucalyptus sideroxylon subsp. tricarpa) grown in a common garden? Tree Physiology, 2005, 25(11), pp. 1369–1378.

Identification et développement à l'échelle du génome de marqueurs microsatellites géniques (CDS-SSR) chez *Argania spinosa* L. (Skeels)

RABEH Karim[1*], MGHAZLI Najoua[1], GABOUN Fatima[2], FILALI-MALTOUF Abdelkarim[1], SBABOU Laila[1], BELKADI Bouchra[1,*]

[1] *Microbiology and Molecular Biology Team, Center of Plant and Microbial Biotechnologies, Biodiversity and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco;*

[2] *Biotechnology Unit, National Institute for Agronomic Research (INRA), Rabat, Morocco ;*

** b.belkadi@um5r.ac.ma ; rabehkarim91@gmail.com /karim_rabeh@um5.ac.ma*

Mots clés
Génomique, microsatellites, régions codantes, Argania spinosa L.

RÉSUMÉ

Les microsatellites (SSR) représentent l'une des sources de marqueurs génétiques les plus largement utilisées, notamment chez les plantes. Malgré leur importance dans diverses applications, une identification exhaustive des marqueurs SSR associés aux séquences codantes (CDS) à l'échelle du génome dans le génome de l'arganier reste à entreprendre. La disponibilité du draft du génome de l'arganier offre des opportunités sans précédent pour l'identification de SSR. Dans cette étude, nous avons identifié 66 280 CDS contenant 5 351 SSR dans 4 535 CDS d'*Argania spinosa* L. Parmi celles-ci, les motifs trinucléotidiques (58,96 %) étaient les plus prévalents, suivis par les hexanucléotides (15,71 %). Le motif SSR prédominant dans la catégorie trinucléotidique était AAG (24,4 %), tandis que AG (94,1 %) était le plus abondant parmi les répétitions dinucléotidiques. De plus, les CDS extraits contenant des SSR ont été soumis à une annotation fonctionnelle. Parmi ceux-ci, 3 396 CDS (74,88 %) ont montré une homologie avec des protéines connues, 3 341 CDS (73,7 %) ont été assignés à des termes de l'ontologie génique (GO), 1 004 CDS ont été annotés avec des numéros de Commission Enzymatique (EC), et 832 (18,3 %) ont été annotés avec des voies KEGG (Encyclopédie des gènes et des génomes de Kyoto). De plus, un total de 3 475 paires d'amorces ont été conçues, dont 3 264 ont été validées avec succès in silico contre le génome d'*A. spinosa* L., avec 99,6 % représentant des marqueurs de haute résolution ne produisant pas plus de trois produits. De plus, grâce à une vérification in-silico, nous avons démontré la transférabilité de ces marqueurs SSR, présentant un faible taux de transférabilité dans deux espèces de la famille des Sapotaceae. Dans l'ensemble, le développement à l'échelle du génome des SSR dans cette étude offre des ressources précieuses de marqueurs pour le marquage d'empreintes digitales génétiques, les études génétiques et l'amélioration moléculaire chez l'arganier et les espèces apparentées.

ABSTRACT

Genome-Wide Identification and Development of Genic Microsatellite Markers (CDS-SSR) in *Argania spinosa* L. (Skeels)

Microsatellites (SSRs) represent one of the most widely used sources of genetic markers, particularly prevalent in plants. Despite their signifi-cance across various applications, a comprehensive genome-wide iden-tification of coding sequence (CDS)-associated SSR markers in the argan genome has yet to be undertaken. The availability of the draft genome sequence of argan

presents unprecedented opportunities for SSR identi-fication. In this study, we identified 66.280 coding sequences (CDS) con-taining 5.351 SSRs within 4,535 Argania spinosa L. CDS. Among these, tri-nucleotide motifs (58.96%) were the most prevalent, followed by hexa-nucleotide (15.71%). The predominant SSR motif in the tri-nucleotide category was AAG (24.4%), while AG (94.1%) was the most abundant among di-nucleotide repeats. Furthermore, the extracted CDS containing SSRs were subjected to functional annotation. Of these, 3.396 CDS (74.88%) exhibited homology with known proteins, 3,341 CDS (73.7%) were as-signed Gene Ontology (GO) terms, 1,004 CDS were annotated with En-zyme Commission numbers (EC), and 832 (18.3%) were annotated with KEGG pathways (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes). Addi-tionally, a total of 3.475 primer pairs were designed, out of which 3,264 were successfully validated in silico against the *A. spinosa* L. genome, with 99.6% representing high-resolution markers yielding no more than three products. Moreover, through in silico verification, we demonstrated the transferability of these SSR markers, exhibiting a low rate of transfera-bility in two species within the Sapotaceae family. Overall, the ge-nome-wide SSR development in this study offers valuable marker re-sources for DNA fingerprinting, genetic studies, and molecular breeding in argan and related species.

Keywords
Genome-wide, microsatellites, coding regions, Argania spinosa L

1. INTRODUCTION

Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae), the sole representative of the family in Morocco, stands as one of the most significant species within the Moroccan forest ecosystem, thriving across a wide range of arid to semi-arid environments in the southwestern region of the country [1].

Molecular markers have emerged as valuable tools for analyzing genetic diversity. Various molecular techniques, including dominant and co-dominant markers such as amplified fragment length polymorphism (AFLP), inter simple sequence repeat (ISSR), inter-retrotransposon amplified polymorphism (IRAP), sequence-related amplified polymorphism (SRAP), Retrotransposon-microsatellite amplified polymorphism (REMAP), and simple sequence repeats (SSR), have been employed to assess genetic variability in *A. spinosa* L. [2–7]. Among these, microsatellite or SSR markers have garnered widespread acceptance and are preferred for genetic studies due to their mul-ti-allelism, high genomic abundance, ease of use, and suitability for high-throughput analysis [8]. These SSR markers can be derived from either coding or noncoding regions of the genome. However, only 99 genomic SSR markers in argan have been synthesized and validated [2,9], which is insufficient for comprehensive genetic research in Argan and does not adequately represent the entire genome. Notably, genic SSRs have not yet been developed. However, genic SSR has not yet been developed.

Previously, the development of microsatellite or SSR markers was a costly and time-intensive endeavor. Nevertheless, rapid advancements in sequencing technologies and bioinformatics have significantly reduced the cost and time required for generating a substantial array of robust markers through genome sequencing and in silico mining of genomic sequences for potential markers [10]. Despite these advancements, no studies to date have characterized microsatellites or SSRs on a genome-wide scale in Argan. The availability of a draft genome sequence for Argania spinosa L. now enables the discovery of a vast array of SSR markers through bioinformatics tools.

In this study, we present, for the first time, a comprehensive analysis of genome-wide microsatellites/SSRs through in-silico methods. The major objectives of this study were: i) Identification of coding regions or predicted genes harboring SSRs and exploration of the potential functions of these genes. ii) Development of novel SSR markers from these coding regions and in silico investigation of all designed primers flanking the gene-SSR. iii) Evaluation of the potential of SSR markers for cross-species transferability.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Genome-wide SSR mining

The draft genome sequence was obtained from NCBI genomes FTP site (ftp://ftp.ncbi.nlm.nih.gov/genomes/). Predicted genes (CDS regions) were utilized for SSR mining. The Micro-Satellite (MISA) program (http://pgrc.ipk-gatersleben.de/misa/) was employed to identify and locate SSR motifs (Figure 1), including perfect SSRs and compound motifs, within the coding regions (predicted genes). In compound sequences, the interval between two SSRs was less than 100 base pairs. MISA criteria considered microsatellites with basic motifs of 1–6 base pairs, applying a minimum repeat unit of 10 for mononucleotides, 6 for dinucleotides, and 5 for trinucleotides, tetranucleotides, pen-tanucleotides, and hexanucleotides repeats.

2.2. Functional annotations of genes containing SSR

Functional annotation and gene ontology (GO) analysis were conducted using Omics-Box BioBam version 3.0. Protein sequences were aligned against the NCBI non-redundant protein sequence database using BLASTp searches in the OmicsBox program with default values. The results of the local BLAST search were utilized for downstream analyses, including GO, Enzyme Commission (EC), and KEGG analysis.

2.3. Primer designing and in silico PCR

SSR primers were designed using Batch Primer 3 v1.0 (Figure. 1) software based on the flanking sequence of SSRs. The design principles of the primers were as follows: the PCR amplification product ranged from 100 to 400 base pairs, and the annealing temperature ranged from 55°C to 65°C. The GC content ranged from 40% to 60%.

The designed primers underwent in silico analysis against the *A. spinosa* L. genome sequence using the iP-CRessr tool, to generate the amplicons. Furthermore, the designed primers were evaluated for their in silico amplification in species belonging to the Sap-otaceae family using the iPCRessr tool to assess their transferability.

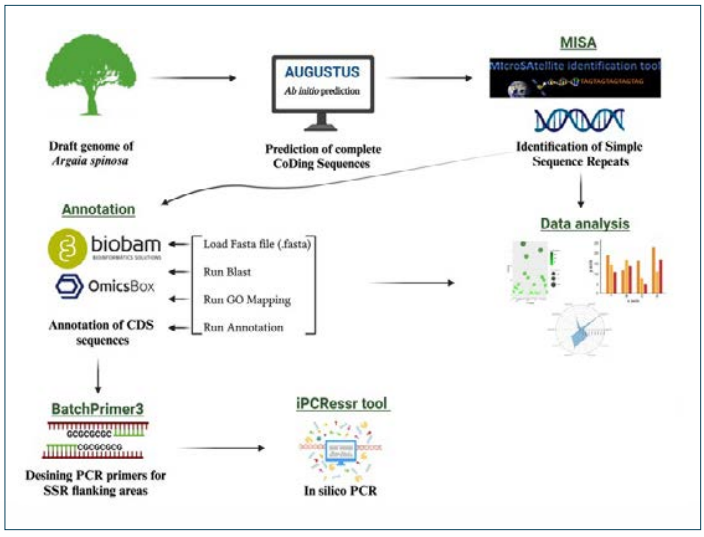


Figure 1. The workflow and bioinformatics pipeline employed in this study to systematically developp genome-wide SSR markers in *A. spinosa* L.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, we examined 66.280 predicted CDS for the identification and development of SSR markers. A total of 5.351 SSRs were identified across 13 scaffolds, encompassing 4.535 CDS (Table 1). Approximately 6.84% of Argan CDS were found to carry SSRs. Notably, the density of SSRs in coding regions (89.9 loci/Mb) surpassed that reported in other species like Diospyros oleifera (13.48 loci/Mb) [11]. Among different genic regions, our data revealed that the CDS region exhibited the most dominant repeat types in trinu-cleotides (58.96%, 3.155 SSRs) (Figure 2a), a trend consistent with findings in other plant species investigations, including Shorea robusta (68.23%, 1.939 SSRs) and Stevia rebaudina (44.26%, 8.789 SSRs)[12,13].

Table 1. Statistics of microsatellites mined from coding regions of *A. spinosa* L.

SSR mining	Description	Number
Total number of coding examined	Counts	66.280
Total size of examined sequences	A+T+C+G+N (bp)	59.704.245
Number total of SSRs	Counts	4.535
Number of genes with SSRs	Counts	5.351
Number of genes with more than 1 SSRs	Counts	657
Number of SSRs present in P.F	Counts	4.694
Number of SSRs present in C.F	Counts	395
The average length of SSRs	total ssr length/total ssr counts (bp)	19.45
The % of sequence covered by SSRs	total ssr length/total seq. length (%)	0.17
Relative abundance	loci/Mb	89.9
Relative density	pb/Mb	1749.6

The sequence AAG/CTT emerged as the most frequent trinucleotide genic SSR motif type (Figure 2b), while ACT/AGT repeats were the least abundant (0.82%). The prevalence of AAG/CTT repeat motifs, particularly in coding regions (24.24%), mirrors previous findings in dicots such as citrus [14]. This prevalence of trinucleotides in the CDS regions underscore their evolutionary role in safeguarding genes against frameshift mutations [15]. Similarly, in the genic region, the most common dinucleotide was AG/CT (94.1%) (Figure 2c). The predominance of AG/CT motifs in gene sequences has been widely observed in other species [11,16].

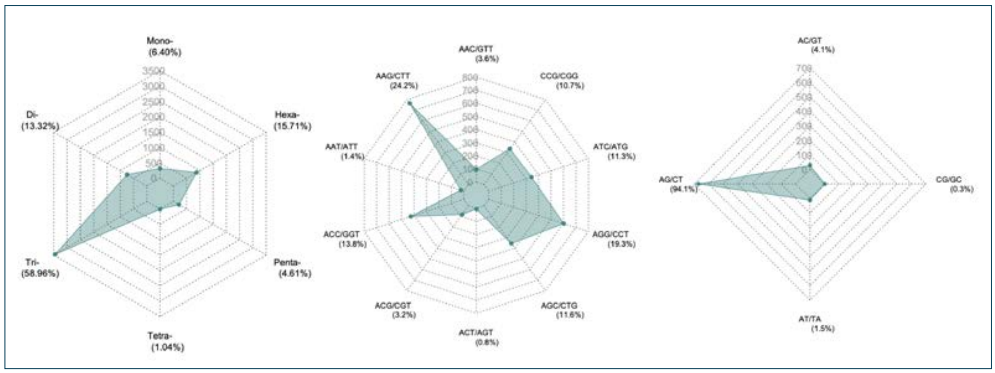


Figure 2. Distribution of SSR numbers and their types in *A. spinosa* L. predicted genes: a) Spider indicates all types of SSR motifs; and (b & c) most predominant repeat motifs i.e., tri-, and Di.

Moreover, we investigated the putative functions of the developed CDS-associated SSR markers by conducting a homology comparison of the genes containing these SSRs.

We detected 3.396 coding sequences (74.88%) as having homology with known proteins, while 385 (8.48%) were homologous to expressed, hypothetical or unknown proteins. The remaining 754 (16.62%) sequences did not possess homology with any known proteins (NA) (Figure 3). In addition, 398 out of 3.396 sequences were annotated for transcription regulator activity belonging to numerous families, including MYB (60), followed by the WRKY (28) and AP2/EREBP (27) families, some of which might play roles in regulating development and metabolism (Figure 3).

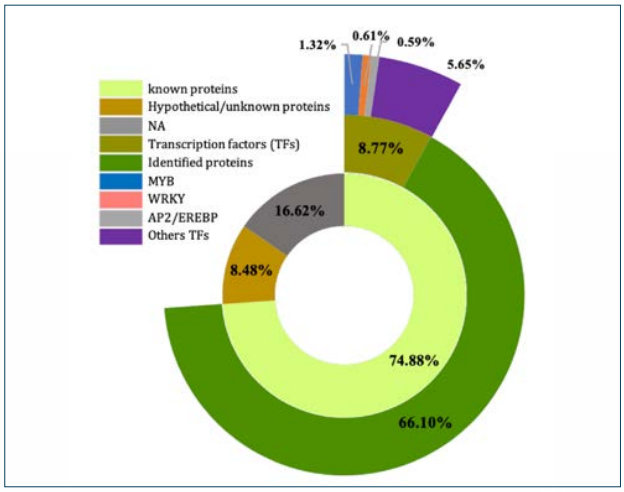


Figure 3. Number of predicted genes and transcription factors harboring SSR in Agania spinosa L.

This analysis revealed that these genes are engaged in a diverse range of functions, suggesting that the CDS-associated SSRs may be linked to important biological traits. Specifically, 73.7%, 22.1%, and 18.3% of genes in *A. spinosa* L. were annotated with 78 GO subcategories, 7 enzyme categories, and 33 different classifications in the KEGG database, respectively (Figure 4A, 4B). The high rate of GO terms could be signature markers and can be useful for trait-associated marker selection in Argan.

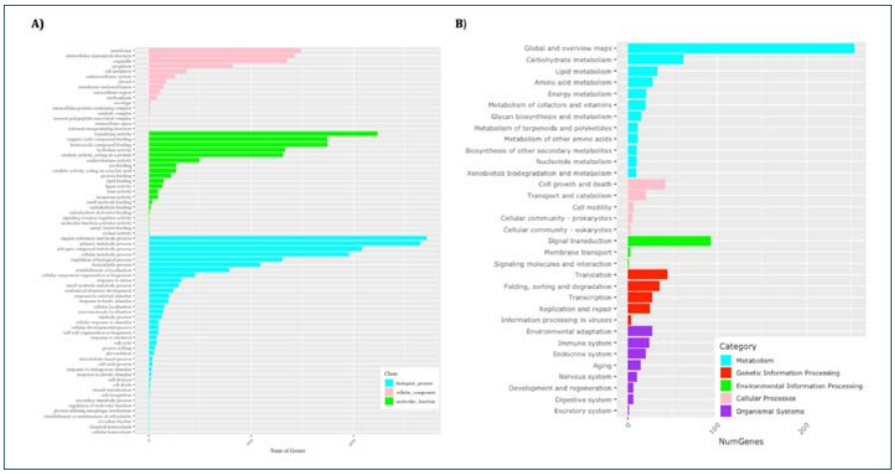


Figure 4. GO and KEGG annotation analysis. A) GO classifications of 3341 genes containing SSRs distributed in three main categories: biological process, molecular function, and cellular component. B) KEGG metabolic pathway mapping of genes containing SSRs in KEGG databases.

In terms of molecular function, the majority of GOs were associated with "transferase activity; GO:0016740" and "organic cyclic binding; GO:0097159", indicating their sig-nificant roles in various physiological and biochemical processes. Furthermore, the SSR-associated genes were enriched in “metabolic processes” and “organismal system” pathways in the KEGG database. These findings suggest that the developed gene-associated SSRs are not only crucial for maintaining genetic diversity but also hold promise for future functional studies.

Out of the 5.351 SSR loci identified, we designed 3.475 (64.94%) primers, of which a large proportion of primer pairs were on trinucleotides (71.37%, 2.840) (Table 2). The designed SSR primers underwent validation through the in silico PCR to assess amplification effi-ciency. Impressively, a high percentage of the designed primers (93.92%, 3.264) suc-cessfully produced amplicons. The presence of non-validated markers may be attributed to the existence of large introns between the pair of primer sites. Despite this, the majority of SSR primer pairs (92.70%) produced a single allele, indicating successful amplification and specificity.

Table 2. Overall length, abundance, and density of six different types of perfect SSRs in coding regions (predicted genes) and the number of markers designed

	SSR Loci			
Motif	Length (pb)	Relative abundance (loci/Mb)	Relative Density (bp/Mb)	Number of designed markers
Mono-	3.868	5.7	65.0	0
Di-	9.972	12.0	167.6	587
Tri-	46.431	53.0	780.5	2840
Tetra-	672	1.0	11.3	8
Penta-	3.715	4.2	62.4	6
Hexa-	14.310	14.1	240.5	34

pb, base pair

To assess the potential transferability and effectiveness of the SSR primers, we conducted in silico amplification for all developed primer pairs (Table 3). Approximately 5.24% (171) and 4.35% (142) of the SSR primer pairs demonstrated in silico cross-species amplifications in Vitellaria paradoxa and Pouteria glomerata, respectively. This rate is relatively low compared to the levels of transferability observed in other species, such as 97% in Vigna radiata [17]and 97.1 % in Pistacia vera [18].

Table 3. In silico transferability of *A. spinosa* L. SSR markers in the Sapotaceae family

Items	A.s sequence as positive control	Related species	
		P.g sequence	V.p sequence
No of tested primers	3475	3475	3475
No of primers found hits in genome	3263	142	171
Transferability (%)	-	4.35%	5.24%
No of hit sequences in genome	3586	147	187
Genome size (Mb)	690.5	722	667.2
Assembly level	scaffold	scaffold	chromosome
Number of scaffolds/chromosomes	186,325	189,300	109

A.s:*Argania spinoas* L. , P.g: *Pouteria glomerata* , V.p: *Vitellaria paradoxa*

4. CONCLUSION

We identified a total of 66,280 coding sequences (CDS), of which 4,535 contained SSR motifs. Tri-nucleotide repeats emerged as the most prevalent SSR type, constituting 58.96% of the identified SSRs. Furthermore, functional annotation was successfully per-formed on 4,535 annotated CDS, with 3,396 (NR, 74.88%), 3,341 (GO, 73.7%), 1,004 (EC, 22.1%), and 832 (KEGG, 18.3%) CDS annotated through this process. Moreover, out of the 3,475 primer pairs developed, 3,264 pairs exhibited successful amplification as demon-strated by in silico PCR validation against the Argan genome. Furthermore, we assessed the cross-species transferability of these primer pairs, revealing a low transferability rate in two Sapotaceae species (P. glomerata and V. paradoxa) based on their draft genome sequences. Overall, these findings hold significant potential for both theoretical and applied research on Argan, offering valuable insights and resources for further explo-ration and utilization.

Acknowledgment: We express our gratitude to Hassan II Academy of Science and Technology (Morocco) and The Ministry of Higher Education, scientific Research and Professional Training Of Morocco for their support.

REFERENCES

1. M'hirit, O.; Benzyane, M.; Benchekroun, F.; El Yousfu, S.; Bendaanoun, M. L'arganier, Une Espece Fruitiere, Forestiere a Usages Multiples Des Zones Arides Méditerranéens. Saragosse, Espana 1987.

2. Majourhat, K.; Jabbar, Y.; Hafidi, A.; Martínez-Gómez, P. Molecular Characterization and Genetic Relationships among Most Common Identified Morphotypes of Critically Endangered Rare Moroccan Species Argania Spinosa (Sapotaceae) Using RAPD and SSR Markers. Ann. For. Sci. 2008, 65, 805–805, doi:10.1051/forest:2008069.

3. Mouhaddab, J.; Msanda, F.; Filali-Maltouf, A.; Belkadi, B.; Ferradouss, A.; El Modafar, C.; Koraichi, S.I.; El Mousadik, A. Using Microsatellite Markers to Map Genetic Diversity and Population Structure of an Endangered Moroccan Endemic Tree (Argania spinosa L. Skeels) and Development of a Core Collection. Plant Gene 2017, 10, 51–59.

4. Pakhrou, O.; Medraoui, L.; Belkadi, B.; Rachidi, F.; Errahmani, H.; Alami, M.; Filali-Maltouf, A. Using Two Retrotransposon-Based Marker Systems (SRAP and REMAP) for Genetic Diversity Analysis of Moroccan Argan Tree. Molecular Biology Research Communications 2020, 9, 93.

5. Pakhrou, O.; Medraoui, L.; Yatrib, C.; Alami, M.; Souda-kouraichi, S.I.; El mousadik, A.; Ferradous, A.; Msanda, F.; El modafar, C.; Filali-Maltouf, A.; et al. Study of Genetic Diversity and Differentiation of Argan Tree Population ('Argania Spinosa'L.) Using AFLP Markers. Australian Journal of Crop Science 2016, 10, 990–999.

6. Yatrib, C.; Belkadi, B.; Medraoui, L.; Pakhrou, O.; Alami, M.; El Mousadik, A.; Ferradous, A.; Msanda, F.; El Modafar, C.; Souda-Kouraichi, S.I.; et al. Genetic Diversity and Population Structure of the Endangered Argan Tree (Argania Spinosa L. Skeels) in Morocco as Revealed by SSR Markers: Implication for Conservation. Australian Journal of Crop Science 2017, 11, 1304–1314, doi:10.21475/ajcs.17.11.10.pne602.

7. Yatrib, C.; Belkadi, B.; Pakhrou, O.; Alami, M.; Medraoui, L.; El Mousadik, A.; Ferradous, A.; Msanda, F.; El Modafar, C.; Ibn Souda-Kouraichi, S.; et al. Assessment of Genetic Diversity of Argania Spinosa L. Growing in Arid and Semi-Arid Areas of Morocco as Revealed by Inter-Simple Sequence Repeats. J Agric Sci Technol B 2015, 5, 336–346.

8. Savadi, S.; Prasad, P.; Sharma, K.; Rathore, R.; Bhardwaj, S.C.; Gangwar, O.P.; Khan, H.; Kumar, S.; Jain, N.; Gupta, P.K. Development of Novel Transcriptome-Based SSR Markers in Puccinia triticina and Their Potential Application in Genetic Diversity Studies. Trop. plant pathol. 2020, 45, 499–510, doi:10.1007/s40858-020-00347-8.

9. El Bahloul, Y.; Dauchot, N.; Machtoun, I.; Gaboun, F.; Van Cutsem, P. Development and Characterization of Microsatellite Loci for the Moroccan Endemic Endangered Species Argania spinosa (Sapotaceae). Applications in Plant Sciences 2014, 2, 1300071, doi:10.3732/apps.1300071.

10. Savadi, S.; Muralidhara, B.M.; Venkataravanappa, V.; Adiga, J.D. Genome-Wide Survey and Characterization of Microsatellites in Cashew and Design of a Web-Based Microsatellite Database: CMDB. Front Plant Sci 2023, 14, 1242025, doi:10.3389/fpls.2023.1242025.

11. Xu, Y.; Liu, C.; Yang, X.; Wu, K.; Gong, B. Genome-Wide Microsatellite Characterization and Marker Development in Diospyros Oleifera. Industrial Crops and Products 2023, 203, 117182, doi:10.1016/j.indcrop.2023.117182.

12. Mishra, G.; Meena, R.K.; Kant, R.; Pandey, S.; Ginwal, H.S.; Bhandari, M.S. Genome-Wide Characterization Leading to Simple Sequence Repeat (SSR) Markers Development in Shorea robusta. Funct Integr Genomics 2023, 23, 51, doi:10.1007/s10142-023-00975-8.

13. Azrul-Murad, A.A.; Yong, C.S.Y.; Tan, Y.L.; Ab Ghani, N.I. Identification and Characterization of Genic Simple Sequence Repeats from the Leaf and Stem Transcriptomes of Stevia rebaudiana Bertoni. Scientia Horticulturae 2022, 300, 111067, doi:10.1016/j.scienta.2022.111067.

14. Liu, S.-R.; Li, W.-Y.; Long, D.; Hu, C.-G.; Zhang, J.-Z. Development and Characterization of Genomic and Expressed SSRs in Citrus by Genome-Wide Analysis. PLOS ONE 2013, 8, e75149, doi:10.1371/journal.pone.0075149.

15. Metzgar, D.; Bytof, J.; Wills, C. Selection against Frameshift Mutations Limits Microsatellite Expansion in Coding DNA. Genome Res 2000, 10, 72–80.

16. Portis, E.; Lanteri, S.; Barchi, L.; Portis, F.; Valente, L.; Toppino, L.; Rotino, G.L.; Acquadro, A. Comprehensive Characterization of Simple Sequence Repeats in Eggplant (Solanum melongena L.) Genome and Construction of a Web Resource. Frontiers in Plant Science 2018, 9.

17. Gupta, S.K.; Bansal, R.; Gopalakrishna, T. Development and Characterization of Genic SSR Markers for Mungbean (Vigna radiata (L.) Wilczek). Euphytica 2014, 195, 245–258, doi:10.1007/s10681-013-0993-0.

18. Ziya Motalebipour, E.; Kafkas, S.; Khodaeiaminjan, M.; Çoban, N.; Gözel, H. Genome Survey of Pistachio (Pistacia vera L.) by next Generation Sequencing: Development of Novel SSR Markers and Genetic Diversity in Pistacia Species. BMC Genomics 2016, 17, 998, doi:10.1186/s12864-016-3359-x.

Genome of *Argania spinosa* L.: Insights into Oil Production and the Tocopherol Biosynthesis Pathway

Oliver Rupp[1]; Clemens Roessner[2]; Naemi Lederer-Ponzer[2]; Tassilo Erik Wollenweber[3]; Annette Becker[2]; Mouna Lamaoui[2,4,*]

[1] *Bioinformatics and Systems Biology, Justus-Liebig-University, Gießen, Germany;*

[2] *Institute of Botany, Developmental Biology of Plants Group, Justus-Liebig-University, Gießen, Germany;*

[3] *Biological Medical Research Center (BMFZ), Medical Faculty and University Hospital Düsseldorf, Heinrich-Heine-University Düsseldorf, Germany.*

[4] *Department of Biology, Polyvalent Laboratory of Research & Development, Polydis-ciplinary Faculty, Sultan Moulay Sliman University, Beni-Mellal, Morocco.*

* *mounalamaoui@gmail.com*

Keywords
argan tree, genome annotation, argan oil, tocopherols, fatty acid, triacylglycerol.

ABSTRACT

Argan (*Argania spinosa* L.) is a highly valued tree for its multiple uses as food and feed and for being linked to a broad range of benefits of pharmaceutical and cosmetic relevance. This multipurpose resource is becoming increasingly overused, which may disrupt the whole ecosystem's sustainability. Due to the high socio-economic status of this tree, re-search interventions are needed to reverse the forest's regressive trend, restore the dis-turbed ecosystem, and conserve genetic diversity. However, research on argan is re-stricted by the lack of accessible information on the genetic and genomic bases of the species, specifically a functional annotated genome. Herein, we report the reference transcriptome-aided annotation of the argan tree genome using de novo gene prediction programs aided by homology information from different plants. The results of the ge-nome annotation using AUGUSTUS were subsequently improved by performing RNA sequencing. A total of 62,590 gene loci could be identified with 82,286 isoforms and a BUSCO completeness of 91.7%. Our analysis is the initial step to provide breeders, ge-neticists, and industries with adequate genomic information, facilitate the improvement of economically important traits, and selectively adapt the tree to the increasing impact of climate change.

Mots clés
arganier, annotation du génome, huile d'argan, tocophérols, acide gras, triacyl-glycérol.

RÉSUMÉ

Génome d'*Argania spinosa* L. : Aperçu de la production d'huile et de la voie de biosynthèse des tocophérols

L'arganier (*Argania spinosa* L.) est un arbre très prisé pour ses multiples utilisations en alimentation et en fourrage, ainsi que pour ses nombreux avantages dans les domaines pharmaceutique et cosmétique. Cette ressource polyvalente est de plus en plus surex-ploitée, ce qui pourrait compromettre la durabilité de l'ensemble de l'écosystème. En raison de l'importance socio-économique élevée de cet arbre, des interventions de re-cherche sont nécessaires pour inverser la tendance régressive des forêts, restaurer les écosystèmes perturbés et préserver la diversité génétique. Cependant, les recherches sur l'arganier sont limitées par le manque d'informations accessibles sur les bases génétiques et génomiques de l'espèce, notamment un génome fonctionnel annoté. Dans ce contexte, nous présentons l'annotation

du génome de l'arganier basée sur un transcriptome de référence, en utilisant des programmes de prédiction génétique de novo soutenus par des informations de similarité provenant de différentes plantes. Les résultats de l'annotation génomique avec AUGUSTUS ont été améliorés par le séquençage ARN. Nous avons pu identifier un total de 62 590 loci génétiques avec 82 286 isoformes et une complétude BUSCO de 91,7 %. Cette analyse constitue une première étape pour fournir aux sélec-tionneurs, généticiens et aux industries des informations génomiques adéquates, faciliter l'amélioration des traits économiquement importants et adapter sélectivement l'arbre face à l'impact croissant du changement climatique.

1. INTRODUCTION

Argania spinosa L. belonging to the family Sapotaceae in the order Ericales, is an endemic species distributed in more than 800,000 Hectares in the southwestern area of Morocco. Argan oil production has tremendously eased the poverty of around 2.5 million members of the rural population living nearby (Lybbert et al. 2002; Guillaume and Charrouf 2011; Lybbert et al. 2011; Mateille et al. 2016). With the ever-growing population and the booming market, the demand for the species has amplified greatly in the latest years owing to the oil extracted from its almonds, which is marketed worldwide and highly appreciated due to its high medicinal, cosmetic, and pharmacological value (Gonzálvez et al. 2010; Guillaume and Charrouf 2011; Cabrera-Vique et al. 2012). In addition to its ecological and socio-economic value, many studies have revealed that the species has a high level of stress tolerance (Chakhchar et al. 2015; Ain-Lhout et al. 2016), which makes it the best candidate for environmentally friendly agriculture (Le Polain et al. 2013; Mateille et al. 2016). However, despite the tree's well-known tolerance, there is evidence of an alarming regression in the argan forest, which is altering the ecosystem to a large extent. Morocco, as the main argan oil producer, is also highly vulnerable to land deg-radation due to its geographic location within a drought-prone spot in the Mediterranean area (Gonzálvez et al. 2010; Cabrera-Vique et al. 2012). This situation has led to a decline in the green forest landscape and to the genetic diversity erosion (Alados et al. 2008; Díaz-Barradas et al. 2010; Alba Sánchez et al. 2015; Zhao et al. 2019). Since the late 1900s, the forest has experienced significant shrinking in milder areas with a subsequent de-crease in fruit production and oil yielding (Díaz-Barradas et al. 2010; Zunzunegui et al. 2010; Ait Aabd et al. 2014).

Many studies have designated climate changes along with other anthropogenic factors as the key elements leading to the perceived loss (Alados et al. 2008; Charrouf et al. 2008; Alba Sánchez et al. 2015). Therefore, under the incessant threat of global warming and the thriving oil market (Le Polain and Waroux 2013), interventions are required to restore the natural forest, which is in danger of extinction, specifically as additional contractions are predicted under future climate change scenarios (Alba Sánchez et al. 2015). The implementation of new strategies that could address the issues related to forest loss is urgently needed for the sustainable development of the agroforestry system.

Many gaps remain to be filled in terms of research in this area and further inputs are required regarding the argan genomic basis to improve our knowledge of the bottlenecks that limit argan domestication and breeding. Over the past several years, efforts have mainly been oriented to the use of DNA-marker-based technology to characterize the high level of intra-species genetic diversity across a broad geographical range of forests (Ait Aabd et al. 2019). Understanding this diversity will allow for the incorporation of superior economic traits through breeding programs. Moreover, research trials on the argan genetic and genomic bases will greatly boost these efforts. Before 2018, these efforts were impeded by the lack of availability of nucleotide sequences in the public databases. Recently, a draft genome of *A. spinosa* assembly was generated by a hybrid de novo as-sembly method that combines short- and long sequencing reads (Khayi et al. 2018). The 671 Mb assembly was estimated to cover 89% of the genome of the highly heterozygous diploid species, 2n = 2x = 20, with x = ploidy number and n = gametic number of chromosomes (Majourhat et al. 2007; Khayi et al. 2018). However, an annotation was lacking and the genome was not easily accessible. Here, we provide

an annotation for the generated raw genome and easy access for the scientific community to perform further studies. We generated a reference transcriptome for argan and used it to annotate the argan genome (Version May 2019).

2. MATERIALS AND METHODS

Gene and transposable element prediction and genome annotation

To annotate the *A. spinosa* genome, the draft genome generated in a previous project (Khayi et al. 2018) was used as a resource to execute a homology-based gene prediction program that combines gene models from multiple reference organisms. The obtained sequences and annotations from the evolutionarily related reference species kiwi (Actinidia chinensis; GCA_003024255.1), tea (Camellia sinensis L.; GCF_004153795.1), Rhodo-dendron williamsianum (GCA_009746105.1), and blueberry (Vaccinium corymbosum L.) (www.vaccinium.org, Draper v1.0) were integrated to build preliminary gene models using Gene Model Mapper (GeMoMa) v1.6.3 (Keilwagen et al. 2016).

Genome Completeness and gene function prediction

The gene prediction quality was evaluated by exploiting the software Bench-marking Universal Single-Copy Orthologs (BUSCO) v.4 (Seppey and Zdobnov 2019). BUSCO analyses the coverage of Single-Copy Orthologs that are designated as BUSCO versions of the gene models used to train the AUGUSTUS (v3.4.0) gene prediction tool (Stanke et al. 2004). The completeness of the model was evaluated using the "vi-ridiplantae" and "eudicots" datasets.

RNA extraction and PacBio IsoSeq library construction

To improve the annotated *A. spinosa* genome assembly with full-length transcripts, an IsoSeq analysis of *A. spinosa* RNA was facilitated. The gene prediction was subse-quently improved by performing RNA sequencing.

Sample material and RNA extraction

Plant material for RNA-seq was collected from Bonn University botanic gardens in Germany (IPEN numbers: XX-0-BONN-19646 procured in 1980, and MA-0-BONN-24662 and MA-0-BONN-40479 acquired in 2005 from Agadir, Morocco). Due to the high and disturbing amounts of phenolic compounds in the leaf tissues, 100 mg – 500 mg of root and flower tissues were separately collected and used for our experiment. Extraction of the total RNA was performed with the NucleoSpin® RNA Plant and Fungi Kit (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Düren, Germany) according to the manufacturer's instructions. The cDNA libraries were prepared, and strand-specific sequencing was conducted by the Biological and Medical Research Center (BMFZ), Düsseldorf, Germany.

Processing of raw PacBio reads and Iso-Seq analysis

The raw subread dataset was processed with SMRT Link v10.1 (Pacific Biosciences, California, U.S.A.) to generate the circular consensus sequences (CCS) reads, internally using ccs v.6.0.0. cDNA barcodes introduced with the TeloPrime Kit Version 2 (Lexogen, Vienna, Austria) were trimmed via lima (v 2.1.0). Subsequently, the high-quality full-length transcripts were processed with isoseq3 (v 3.4.0).

The RNA-seq reads were reallocated to the genome assembly in the GenDBE annotation platform (Meyer et al. 2003).

3. RESULTS

Gene Prediction, Transposable Elements, and Genome Completeness

Herein, we present an annotated *A. spinosa* genome assembly that represents 99.76% of the predicted 671 Mb genome. A total of 287,123 genes were obtained from four reference genomes, kiwi fruit (A. chinensis), tea (C. sinensis L.), R. williamsianum, and blueberry (V. corymbosum L.). 62,590 predicted genes, which are encoding 82,286 tran-scripts were identified by the AUGUSTUS software (Stanke et al. 2006). Of these tran-scripts, 49,575 transcripts were completely supported by homologous proteins from at least one of the reference annotations and 10,295 were novel gene models. The detailed characterization of these predicted genes suggests that the mean number of exons per gene is 4, with an average of 220 bp and 776 bp for exon and intron lengths respectively. The transcript lengths (mRNA) vary from 9 to 136,337 bp, with an average of 3717 bp. Furthermore, based on the RepeatModeler

analysis used to process the genomic sequence and identify repeated sequences, a total of 2390 repeat family sequences were identified in the complete genome, and 56.33% of all sequences were masked by RepeatMasker.

Reference transcriptome

The argan reference transcriptome comprises 128978 Pac Bio IsoSeq HQ transcripts extracted from 2,907,823 PacBio IsoSeq reads. Of those, 21.21% fully mapped the genome, while 59.35% were unmapped. Of the latter one, a large fraction mapped to fungi (21.27%), suggesting a strong fungal association of the roots with fungi or putative fungal infections of flower material collected from the botanical garden. Around 6% of the transcripts were identified as putative transposons.

4. DISCUSSION

Owing to the lack of annotated genomic data on *A. spinosa*, little is known about this economically important plant. In this work, we annotated a draft assembly using a model-based prediction approach to generate a data resource, available in a public da-tabase to advance research on the argan tree. In this work, the draft genome assembly generated by Khayi et al. (2018) was used for gene prediction and functional annotation. Ultimately, the draft genome was predicted to encode 42,095 genes. The number of genes predicted for *A. spinosa* is high compared with the number of genes predicted for the closely related and annotated species Primula veris (19,507 predicted genes; Nowak et al. 2015), Primula vulgaris (24,599 predicted genes; Cocker et al. 2018), but similar to A. chinensis (kiwi, 39,040 genes; Huang et al. 2013), and is higher than the genes number covered in the well-annotated species A. thaliana (27,029 genes; Swarbreck et al. 2007). This suggests extensive genome evolution in the Ericales.

The number of repeated genes in the genome of argan (56.33% of the assembly) appears to be higher than that reported in the related species kiwi with 36% of the as-sembly (Huang et al. 2013) which are mainly made up of retrotransposons including the long terminal repeat (LTR) family as the most abundant. For comparison, the A. thaliana genome includes only 14% repetitive sequences suggesting that the many genes pre-dicted from the argan genome may be transposons or retrotransposons.

To the best of our knowledge, this is the sixth whole genome in the order Ericales to be sequenced and annotated, after A. chinensis, P. vulgaris, P. veris, C. sinensis, R. wil-liamsianum, and V. corymbosum. The reports presented in this study represent the first whole genome-annotation of species members of under-explored Sapotaceae family in-cluding other economically important species such as Vitellaria paradoxa (shea tree) and Chrysophyllum cainito (star apple or cainito) (Vallée et al. 2016).

5. CONCLUSIONS

In summary, we present the reference transcriptome annotated argan genome, together with an analysis of homologs of the important biosynthesis genes for oil pro-duction and tocopherol biosynthesis genes, in selected species, including oil crops and with a special focus on argan. The annotated genome generated in this work could be used as a reference for comprehensive genome-assisted cultivar breeding and genome editing improvements and to revisit any trait to elucidate the molecular mechanisms that trigger the relevant metabolic pathways, including the genes involved in cosmetic and phar-macological products. Such analyses could contribute to the improvement of argan oil traits and facilitate the development of strategies to breed and domesticate the argan tree through the manipulation of the identified genes.

Data Availability Statement: The genome annotation results of this study can accessed at the argan genome database, https://gendbe.computational.bio.uni-giessen.de/Argania_spinosa.html.

Funding: the Alexander von Humboldt Foundation, Germany, funded this work for this work.

REFERENCES

Ain-Lhout F, Boutaleb S, Diaz-Barradas MC, Jauregui J, Zunzunegui M (2016) Monitoring the evolution of soil moisture in root zone system of Argania spinosa using electrical resistivity imaging. Agric Water Manag. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.007

Ait Aabd N, Msanda F, Abdelhamid EM (2014) Evaluation of variability in argan oil content through different environments and preselection of elite genotypes. Euphytica. https://doi.org/10.1007/s10681-013-0969-0

Ait Aabd N, Bouharroud R, Tahiri A, Wifaya A, Mimouni A, El Mousadik A (2019) Genetic Diversity and Breeding of Argan Tree (Argania spinosa L. Skeels). In: Al-Khayri J, Jain S, Johnson D (eds) Advances in Plant Breeding Strategies, Nut and Beverage Crops. Springer, Cham, pp 31-35. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23112-5_2

Alados CL, El Aich A (2008) Stress assessment of argan (Argania spinosa (L.) Skeels) in response to land uses across an aridity gradient: translational asymmetry and branch fractal dimension. J Arid Environ. 10.1016/j.jaridenv.2007.06.015

Alba Sánchez F, López Sáez JA, Nieto Lugilde D, Svenning JC (2015) Long-term climate forcings to assess vulnerability in North Africa dry argan woodlands. Appl Veg Sci. https://doi.org/10.1111/avsc.12133

Cabrera-Vique C, Marfil R, Giménez R, Martínez-Augustin O (2012) Bioactive compounds and nutritional significance of virgin argan oil-an edible oil with potential as a functional food. Nutr Rev. 10.1111/j.1753-4887.2012.00478.x

Chakhchar A, Wahbi S, Lamaoui M, Ferradous A, El Mousadik A, Ibnsouda-Koraichi S, Filali-Maltouf A, El Modafar C (2015) Physiological and biochemical traits of drought tolerance in Argania spinosa. J Plant Interact. https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1068386

Cocker JM, Wright J, Li J, Swarbreck D, Dyer S, Caccamo M, Gilmartin PM (2018) Primula vulgaris (primrose) genome assembly, annotation and gene expression, with comparative genomics on the heterostyly supergene. Sci Rep. 10.1038/s41598-018-36304-4

Díaz-Barradas MC, Zunzunegui M, Ain-Lhout F, Jáuregui J, Boutaleb S, Álvarez-Cansino L, Esquivias MP (2010) Seasonal physiological responses of Argania spinosa tree from Mediterranean to semi-arid climate. Plant Soil. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0518-8

Gonzálvez A, Armenta S, De la Guardia M (2010) Adulteration detection of argan oil by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. Food Chem. 10.1016/j.foodchem.2009.11.091

Guillaume D, Charrouf Z (2011) Argan oil and other argan products: Use in dermocosmetology. Eur J Lipid Sci Technol. https://doi.org/10.1002/ejlt.201000417

Hoff KJ, Stanke M (2019) Predicting Genes in Single Genomes with AUGUSTUS. Curr Protoc Bioinformatics. https://doi.org/10.1002/cpbi.57

Huang S, Ding J, Deng D, Tang W, Sun H, Liu D et al (2013) Draft genome of the kiwifruit Actinidia chinensis. Nat Commun. https://doi.org/10.1038/ncomms3640

Keilwagen J, Wenk M, Erickson JL, Schattat MH, Grau J, Hartung F (2016) Using intron position conservation for homology-based gene prediction. Nucleic Acids Res. https://doi.org/10.1093/nar/gkw092

Khayi S, Azza NE, Gaboun F, Pirro S, Badad O, Claros MG et al (2018) First draft genome assembly of the Argane tree (Argania spinosa). F1000Res. 10.12688/f1000research.15719.2

Le Polain Y, Waroux Y (2013) Dégradation environnementale et développement économique dans l'arganeraie d'Aoulouz (Maroc). Sécheresse. 10.1684/sec.2013.0373

Lybbert T, Barrett C, Narjisse H (2002) Market-based conservation and local benefits: the case of argan oil in Morocco, Ecol Econ. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00020-4

Lybbert TJ, Aboudrare A, Chaloud D, Magnan N, Nash M (2011) Booming markets for Moroccan argan oil appear to benefit some rural households while threatening the endemic argan forest. Proc Natl Acad Sci. https://doi.org/10.1073/pnas.1106382108

Majourhat K, Jabbar Y, Araneda L, Zeinalabedini M, Hafidi A, Martínez-Gómez P (2007) Karyotype characterization of Argania spinosa (L.) Skeel (Sapotaceae). S Afr J Bot. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.06.007

Marfil R, Giménez R, Martínez O, Bouzas PR, Rufián Henares JA, Mesías M, Cabrera Vique C (2011) Determination of polyphenols, tocopherols, and antioxidant capacity in virgin argan oil (Argania spinosa, Skeels). Eur J Lipid Sci Technol. https://doi.org/10.1002/ejlt.201000503

Mateille T, Tavoillot J, Martiny B, Dmowska E, Winiszewska G, Ferji Z, Msanda F, El Mousadik A

(2016) Aridity or low temperatures: What affects the diversity of plant-parasitic nematode communities in the Moroccan argan relic forest? Appl Soil Ecol. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.11.026

Meyer F, Goesmann A, McHardy AC, Bartels D, Bekel T, Clausen J, Pühler A (2003) GenDBE an open source genome annotation system for prokaryote genomes. Nucleic Acids Res. https://doi.org/10.1093/nar/gkg312

Munné-Bosch S (2005) The role of α-tocopherol in plant stress tolerance. J Plant Physiol. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.022

Nowak MD, Russo G, Schlapbach R, Huu CN, Lenhard M, Conti E (2015) The draft genome of Primula veris yields insights into the molecular basis of heterostyly. Genome Biol. https://doi.org/10.1186/s13059-014-0567-z

Sharma S, Kaushik S, Raina S (2018) Estimation of nuclear DNA content and its variation among Indian Tea accessions by flow cytometry. Physiol Mol Biol Plants. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0587-3

Stanke M, Steinkamp R, Waack S, Morgenstern B (2004) AUGUSTUS: a web server for gene finding in eukaryotes. Nucleic Acids Res. https://doi.org/10.1093/nar/gkh379

Stanke M, Keller O, Gunduz I, Hayes A, Waack S, Morgenstern B (2006) AUGUSTUS: Ab initio prediction of alternative transcripts. Nucleic Acids Res. https://doi.org/10.1093/nar/gkl200

Swarbreck D, Wilks C, Lamesch P, Berardini TZ, Garcia-Hernandez M, Foerster H et al (2007) The Arabidopsis Information Resource (TAIR): gene structure and function annotation. Nucleic Acids Res. https://doi.org/10.1093/nar/gkm965

Vallée GC, Muñoz DS, Sankoff D (2016) Economic importance, taxonomic representation and scientific priority as drivers of genome sequencing projects. BMC Genom. https://doi.org/10.1186/s12864-016-3100-9

Wu H, Ma T, Kang M, Ai F, Zhang J, Dong G, Liu J (2019) A high-quality Actinidia chinensis (kiwifruit) genome. Hortic Res. https://doi.org/10.1038/s41438-019-0202-y

Zhao X, Dupont L, Cheddadi R, Kölling M, Reddad H, Groeneveld J et al (2019) Recent climatic and anthropogenic impacts on endemic species in southwestern Morocco. Quat Sci Rev. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105889

Zunzunegui M, Ain-Lhout F, Jáuregui J, Barradas MD, Boutaleb S, Álvarez-Cansino L, Esquivias MP (2010) Fruit production under different environmental and management conditions of argan, Argania spinosa (L.). J Arid Environ. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.03.016

Assessing the Impact of Soil Drought Stress on Leaf water status and Photosynthetic Efficiency in Mycorrhized Argan Seedlings (*Argania spinosa* L. Skeels)

Merieme Soufiani [1*], Abdelghani Chakhchar [1,2], Salama Aissam [1], Abderrahim Ferradous [3], Allal Douira 4, Abdelilah Meddich [1,5] & Cherkaoui El Modafar [1]

[1] *Centre d'Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche labellisée CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05), Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

[2] *Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bioressources, Environnement et Matériaux (LIRBEM), Département SVT, Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

[3] *Centre Régional de la Recherche Forestière Marrakech, Marrakech, Morocco ;*

[4] *Laboratoire des Productions Végétales, Animales et Agro-industrie, Equipe de Botanique, Biotechnologie et Protection des Plantes, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Morocco ;*

[5] *Laboratoire d'Agroalimentaire, Biotechnologies et Valorisation des Bioressources Végétales, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco ;*

** soufiani.merieme@gmail.com;*

Keywords
arbuscular mycorrhizal fungi, argan tree, drought stress, leaf water status, photosynthesis.

ABSTRACT

Argan tree growth and production are both affected by drought stress, which is recognized as a critical and serious environmental issue worldwide. This study aims to examine the effect of a multi-species consortium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) "Rhizargan consor-tium", on the leaf water status and photosynthesis in drought-stressed argan seedlings. The performances of Rhizargan consortium were com-pared to those of a single pure commercialized strain of Rhizophagus ir-regularis. Seedlings of two argan tree provenances were subjected to three water regimes: 30, 60, and 100% field capacity (FC). After twelve months of drought stress, mycorrhizal argan seedlings showed a significant increase in leaf water potential, stomatal conductance, and maximum efficiency of PSII (Fm/Fv) than those without mycorrhiza inoculation. Moreover, AMF inoculation led to significant leaf accumulation of chlorophyll and ca-rotenoid pigments upon drought imposition. Nonetheless, severe drought stress (30% FC) decreased these physiological/photochemical attributes as well as both frequency and intensity of mycorrhization, but to a lesser extent in the argan seedlings inoculated with "Rhizargan consortium". This study contributes to advances in the knowledge of the indigenous Rhizargan consortium's ability to induce drought tolerance in argan trees.

RÉSUMÉ

Effet du déficit hydrique sur l'état hydrique des feuilles et l'efficacité photosynthétique des plantes d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) inoculées avec des champignons mycorhiziens arbusculaires.

Le déficit hydrique, connu comme le problème environnemental le plus grave, affecte considérablement la croissance et la production de l'arganier. Cette

étude vise à examiner l'effet d'un consortium multiespèces de champignons mycorhiziens à arbuscules (CMA), le "consortium Rhizargan", sur l'état hydrique des feuilles et la photosynthèse des plantes d'arganier soumises à un déficit hydrique. Les performances du consortium Rhizargan ont été comparées à celles d'une souche pure commercialisée de Rhizophagus irregularis. Des plantes de deux provenances d'arganiers ont été soumises à trois régimes hydriques : 30, 60 et 100 % de la capacité au champ (CC). Après douze mois, les plants d'arganier mycorhizées ont montré une augmentation significative du potentiel hydrique foliaire, de la conductance stomatique et de l'efficacité maximale du PSII (Fm/Fv) par rapport à celles qui n'ont pas été inoculées. De plus, sous stress sévère (30% CC), l'inoculation avec les CMA a conduit à une accumulation significative de pigments chlorophylliens et de caroténoïdes dans les feuilles des plantes d'arganier. Néanmoins, le stress sévère a diminué ces attributs physiologiques/photochimiques ainsi que la fréquence et l'intensité de la mycorhization, alors que l'effet de ce stress a été réduit en présence du "consortium Rhizargan". Cette étude contribue à faire progresser les connaissances sur la capacité du consortium indigène Rhizargan à induire la tolérance au déficit hydrique chez l'arganier.

Mots clés
arganier, champignons mycorhiziens arbusculaires, déficit hydrique, photosynthèse, potentiel hydrique foliaire

1. INTRODUCTION

Argania spinosa (L.) Skeels represent the only species of the genus Argania belonging to the family of Sapotaceae. It covers over 870.000ha stretching from south of Oued Tensift to north of Oued Draa and from the High Atlas to the Atlantic Ocean [1]. Despite its eco-logical and socioeconomic importance, the argan forest area and density are decreasing due to the cumulative effects of overgrazing, climate change, poor natural regeneration, and anthropomorphic actions [2]. The success of the program, which aims to establish new orchards of endemic argan trees in Morocco to meet high national and international demand while fighting the extinction of this unique species in the world, is dependent on the cultivation of argan trees that are resistant to a variety of biotic and abiotic stress. However, this program, which also targets the domestication of the argan tree as part of a new agricultural system “arganiculture”, is faced and threatened by drought. Water scarcity is becoming a major issue, and climate change is expected to cause severe drought conditions [3]. It has a negative impact causing stomatal closure, resulting in a reduction in CO2 influx and a decrease in physiological processes, primarily transpiration and photosynthesis [4]. In drought conditions, the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) have recently drawn more attention due to their application as biofertilizers in sustainable agriculture to increase plant nutrient uptake, improve plant growth, and enhance drought tolerance [5, 6]. Photosynthesis is one of the most fundamental physiological activities of plants, and it is extremely sensitive to environmental changes. Duration, mode, and intensity of drought stress all influence the photosynthetic response [7, 8]. As a sensitive indication of plant photosynthetic performance, analysis of chlorophyll fluo-rescence and determination of the Fv/Fm ratio in relation to stomatal conductance could be helpful to identify damage to light reaction systems in photosynthetic mechanisms during drought stress [9].

In this context, the study aims to show the beneficial effect of a multi-species consortium of AMF, on the leaf water potential, stomatal conductance, chlorophyll fluorescence, and leaf chlorophyll and carotenoid concentrations in argan seedlings subjected to drought stress, as well as to compare its efficacy to a single pure commercialized strain of Rhizophagus irregularis.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Mycorrhizal inoculum preparation

Two types of AMF inoculants were used in our study. A pure strain of Rhizophagus ir-regularis, and a multi-species consortium of autochthonous mycorrhizal fungi ‘Rhizargan consortium’. The latter is the result of a mixture of soils collected from 15 different locations in the argan forest [1].

2.2. Plant material and experimental design

Samplings of *A. spinosa* seeds were collected from two regions of argan forest in southwest Morocco. These regions are markedly different in their climatic, geographical, and hy-drographic features (Table 1) [1]. We selected two provenances from these contrasting regions: Admine, a rather lowland provenance, and Lakhsas, an inland provenance.

Plant mycorrhization was carried out during transplantation by adding 10 g of mycor-rhizal Zea mays L. roots and soil infested with Rhizargan consortium. Plants of the two contrasting provenances were grown in a greenhouse at 25 ± 3 °C, 330 m−2s−1 light intensity, and 60% relative humidity.

Non-mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings were irrigated every three days with tap water. After thirteen months, and for twelve months, argan seedlings were subjected to three water regimes: well-watered (WW), moderate drought (MD), and severe drought (SD), which corresponded to a soil water content of 100%, 60%, and 30% of the maximum field capacity.

Table 1. The climatic and geographic characteristics of the sites of *A. spinosa* ecotypes studied

Origin site	Province	Territory	Temperature (°C)	Rainfall (mm)	Altitude (m)	Humidity (%)	m (°C)	M (°C)
Admine	Agadir	Rather lowland	19-20	288	66	75-85	9.6	32.4
Lakhsas	Tiznit	Inland	18-19	206	241	50-60	8.7	29

m the average minimum temperature of the year and M the average maximum tem-perature of the year.

2.3. Mycorrhizal colonization and plant growth measurement

After 25 months of mycorrhization (13 months before the application of water stress, and 12 months after the application of water stress) root mycorrhizal colonization was de-termined. Fresh roots (60 fragments) were cut into 1 cm fragments, washed with distilled water, and cleaned in 10% KOH at 90 °C for 1 h. The segments were acidified with 2% hydrochloric acid for 15 min and stained with 0.05% (w/v), trypan blue for 20 min at 90 °C according to [10], and then microscopically observed. Mycorrhizal parameters (frequency F % and intensity I %) were evaluated according to [11].

2.4. Measurements of physiological traits

2.4.1. Leaf water potential

Leaf water potential (ψ) was measured using a pressure chamber (SKPD 1400, Skye In-struments, Powys, UK). The measurements were taken on mature fully expanded leaves from the upper part of the stem of each of the five plants per treatment.

2.4.2. Stomatal conductance

Stomatal conductance (gs) was measured using a portable steady-state diffusion porometer (Leaf Porometer LP1989, Decagon Device, Inc., Washington, DC, USA).

2.4.3. Chlorophyll fluorescence

Chlorophyll fluorescence (Fv/Fm) was conducted on the third youngest fully expanded sun-lit leaves using a hand-held fluorometer (Opti-sciences OSI 30p, Hudson, NY, USA). Before measurements, leaves were dark-acclimated for 30 min using leaf clips. The measured Fv/Fm corresponded to the quantum yields (Fv/Fm = (Fm – F0)/Fm), where Fm and F0 are the maximum and initial quantum yields of dark-adapted leaves, respectively.

2.4.4. Measurement of leaf chlorophyll and carotenoid concentrations

The chlorophyll a (Chl a), chlorophyll b (Chl b), and carotenoid (Car) concentrations were determined by using the method of [12].

2.5. Statistical analysis

The results obtained were processed by analysis of variance (ANOVA) using the SPSS software package version 25.0.

3. RESULTS

3.1. Frequency and intensity of mycorrhization

Significant effects of drought stress and inoculation treatment were highlighted by sta-tistical analysis of the results of percent mycorrhization frequency and intensity in both *A. spinosa* provenances Lakhsas and Admine ($p \leq 0.05$) (Table 2). Twenty-five months after inoculation, RI and RC reduced the rate of mycorrhizal colonization under drought stress, especially severe drought stress (30% FC). Indeed, the lowest values were noted under 30% FC, compared to the control (100% FC). However, the highest mycorrhization fre-quency and intensity values were recorded under moderate drought stress in Lakhsas.

Table 2. Mycorrhizal frequency and intensity of non mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings with RI (Rhizophagus irregularis) and RC (Rhizargan consortium) in Admine and Lakhsas provenances under different drought stress treatments during 12 months.

Trait	Inoculation test	Admine			Lakhsas		
		100% FC	60% FC	30% FC	100% FC	60% FC	30% FC
Mycorrhizal frequency (%)	NM	29.33 ± 3.65^{BCc}	29.33 ± 3.65^{BCc}	24.00 ± 3.65^{Cc}	36.00 ± 3.65^{ABc}	37.33 ± 3.65^{Ab}	28.00 ± 2.98^{Cb}
	RI	81.33 ± 2.98^{Bb}	82.67 ± 3.65^{ABb}	70.67 ± 3.65^{Cb}	88.00 ± 2.98^{ABb}	89.33 ± 3.65^{Aa}	84.00 ± 3.65^{Aba}
	RC	88.00 ± 2.98^{ABa}	93.33 ± 4.71^{ABa}	88.00 ± 2.98^{ABa}	93.33 ± 0.00^{ABa}	94.67 ± 2.98^{Aa}	85.33 ± 7.30^{Ba}
Mycorrhizal intensity (%)	NM	6.73 ± 0.19^{Dc}	7.11 ± 0.15^{Cc}	6.68 ± 0.12^{Dc}	8.56 ± 0.24^{Bc}	10.17 ± 0.15^{Ac}	8.45 ± 0.12^{Bc}
	RI	31.32 ± 0.12^{Cb}	31.59 ± 0.12^{Bb}	29.39 ± 0.12^{Db}	36.35 ± 0.12^{Ab}	36.35 ± 0.12^{Ab}	31.32 ± 0.12^{Cb}
	RC	36.39 ± 0.12^{Da}	36.71 ± 0.15^{Ca}	36.49 ± 0.24^{CDa}	44.53 ± 0.00^{Aa}	44.59 ± 0.12^{Aa}	40.47 ± 0.00^{Ba}

Note. Values are the mean of n=5 (Mean ± standard deviation).

3.2. Water status and chlorophyll fluorescence traits

Statistical analysis of data from measurement of leaf water potential (Figure 1), stomatal conductance (Figure 2), and maximum efficiency of PSII (Fv/Fm) (Figure 3) revealed significant differences between provenances, and different water and inoculation treatments ($p \leq 0.05$). Figure 1 also shows significant differences between RI-mycorrhized seedlings and non-mycorrhizal ones. Furthermore, in both provenances, the differences between RC and RI-mycorrhized, leaf water potential values appear to be non-significantly different. Under both well-watered and stressful conditions, RC inoc-ulation significantly increased Ψpd, gs, and Fv/Fm in both provenances compared to non-mycorrhizal argan seedlings.

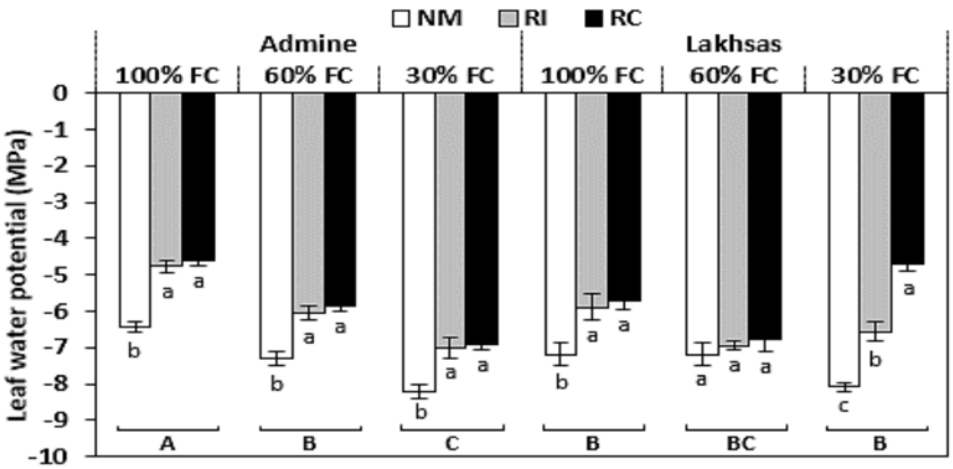


Figure 1. Leaf water potential in non-mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings with RI (Rhizophagus irregularis) and RC (Rhizargan consortium) in Admine and Lakhsas prove-nances under different drought stress treatments (30%, 60%, and 100% of field capacity (FC)) during 12 months.

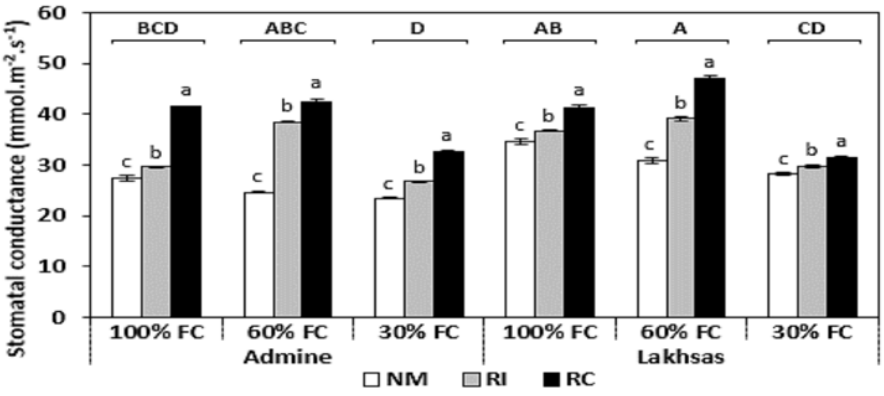


Figure 2. Stomatal conductance in non-mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings with RI (Rhizophagus irregularis) and RC (Rhizargan consortium) in Admine and Lakhsas prove-nances under different drought stress treatments (30%, 60%, and 100% of field capacity (FC)) during 12 months.

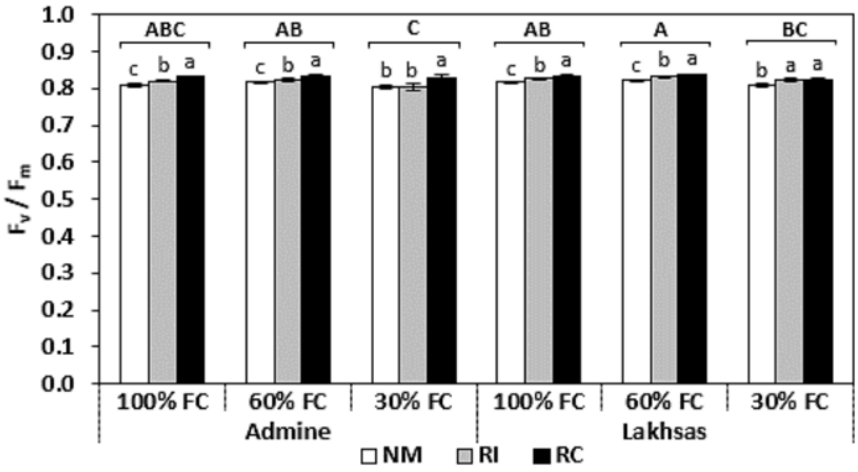


Figure 3. Fv/Fm in non-mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings with RI (Rhizopha-gus irregularis) and RC (Rhizargan consortium) in Admine and Lakhsas provenances under dif-ferent drought stress treatments (30%, 60%, and 100% of field capacity (FC)) during 12 months.

3.3. Leaf chlorophyll and carotenoid concentration

Concentrations of leaf pigments in argan seedlings, such as chlorophyll a (Chl a), chlo-rophyll b (Chl b), and carotenoids, were studied after 12 months following the application of drought stress as shown in Table 3. In both provenances, the leaf chlorophyll and carotenoid concentrations were significantly affected by moderate and severe drought stress, compared to the control ($p \leq 0.05$). Regardless of the inoculation treatment, the lowest values of Chl a, Chl b, and carotenoids were observed under 30% FC, especially in Admine, while the highest values were recorded under 60% FC, particularly in Lakhsas. However, the mycorrhizal argan seedlings with RC inoculation showed a significant increase in Chl a, Chl b, and carotenoid concentration compared to non-mycorrhizal and mycorrhizal ones with RI, regardless of the drought treatments.

Table 3. Leaf concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid in non-mycorrhizal (NM) and mycorrhizal argan seedlings with RI (Rhizophagus irregularis) and RC (Rhizargan consortium) in Admine and Lakhsas provenances under different drought stress treatments dur-ing 12 months.

Trait	Inoculation test	Admine			Lakhsas		
		100% FC	60% FC	30% FC	100% FC	60% FC	30% FC
Chlorophyll a	NM	0.73 ± 0.07^{Bb}	0.83 ± 0.01^{Ac}	0.72 ± 0.02^{Bb}	0.79 ± 0.05^{ABc}	0.84 ± 0.05^{Ac}	0.75 ± 0.07^{ABb}
	RI	0.75 ± 0.06^{Db}	1.01 ± 0.06^{ABb}	0.77 ± 0.07^{Db}	0.91 ± 0.06^{BCb}	1.09 ± 0.06^{Ab}	0.83 ± 0.04^{CDb}
	RC	1.01 ± 0.05^{CDa}	1.10 ± 0.01^{Ba}	0.91 ± 0.03^{Ea}	1.07 ± 0.04^{BCa}	1.18 ± 0.01^{Aa}	1.00 ± 0.02^{Da}
Chlorophyll b	NM	0.26 ± 0.02^{Cb}	0.49 ± 0.01^{Ab}	0.28 ± 0.04^{Cb}	0.41 ± 0.07^{ABc}	0.49 ± 0.08^{Ab}	0.33 ± 0.07^{BCb}
	RI	0.54 ± 0.08^{Aa}	0.52 ± 0.03^{ABCb}	0.40 ± 0.11^{Cb}	0.56 ± 0.03^{Ab}	0.53 ± 0.02^{ABb}	0.41 ± 0.07^{BCb}
	RC	0.65 ± 0.08^{ABCa}	0.69 ± 0.06^{ABa}	0.56 ± 0.01^{Ca}	0.67 ± 0.02^{ABa}	0.70 ± 0.03^{Aa}	0.61 ± 0.02^{BCa}
Carotenoids	NM	0.25 ± 0.00^{Fc}	0.28 ± 0.00^{Dc}	0.26 ± 0.00^{Ec}	0.29 ± 0.00^{Cc}	0.31 ± 0.00^{Ac}	0.30 ± 0.00^{Bc}
	RI	0.30 ± 0.00^{Db}	0.33 ± 0.00^{Bb}	0.28 ± 0.00^{Eb}	0.33 ± 0.00^{Bb}	0.35 ± 0.00^{Ab}	0.32 ± 0.00^{Cb}
	RC	0.34 ± 0.00^{Da}	0.35 ± 0.00^{Ca}	0.32 ± 0.01^{Fa}	0.37 ± 0.00^{Ba}	0.39 ± 0.00^{Aa}	0.36 ± 0.00^{BCa}

Note. Values are the mean of n=5 (Mean ± standard deviation).

4. DISCUSSION

The common and serious abiotic stress that restricts plant growth and development is drought [13]. However, AMF through their external hyphae could increase the host plants' root activity and their ability to absorb water and soil nutrients, thus maintaining and even promoting plant growth and development under stressful conditions [14]. In this study, we investigated the effects of an indigenous mycorrhizal consortium on the leaf water status and photosynthesis indices in argan seedlings subjected to drought stress. Results showed that drought stress, especially 30% FC, reduced the leaf water potential in argan seedlings, whereas it was improved in mycorrhizal argan seedlings regardless of the type of inoculants (pure strain or the "'Rhizargan consortium"'). These results are in agreement with previous studies on trifoliate oranges [15] and tea seedlings [5, 13]. Enhancement of leaf water potential by AMF symbiosis was linked to greater water intake due to AM fungal hypha, improved root architecture, and increased root activity due to AM fungi colonization [5, 16]. In addition, the mycorrhizal argan seedlings with RC displayed higher stomatal conductance and Fv/F m than non-mycorrhizal ones in both argan provenances under drought stress conditions. In argan trees, [9] reported that the photoinhibitory damage to the photosystem II (PSII) complex is a consequence of de-creased Fv/Fm under drought stress conditions. However, in the present study, AMF colonization increased Fv/Fm in argan trees under drought stress, which showed that the absorption capacity was enhanced and the reflectivity decreased. Several studies reported that AMF inoculation improves chlorophyll fluorescence, photosynthetic activity, and growth in tree species under drought stress [6, 17]. In addition to changes in leaf water potential, stomatal conductance, and photosynthesis-related Fv/Fm values, drought stress reduced chlorophyll and carotenoid content in mycorrhizal argan seedlings. It was re-ported that drought stress seriously affects the activity of chlorophyllase which result in pigment degradation, as well as the activity of other related enzymes involved in chlorophyll production [18]. However, the current study's findings indicated the bene-ficial effect of AMF inoculation on the chlorophyll and carotenoid content of argan seed-lings. Taken together, our results indicate that mycorrhizal colonization enhanced argan drought tolerance primarily through improved maximum efficiency of PSII and signif-icant carotenoid accumulation, especially with Rhizargan consortium. RC showed sig-nificantly higher mycorrhizal frequency and intensity under stressed conditions than R. irregularis. According to numerous studies, the quantitative and qualitative composition of the inoculum influences significantly how plants respond to AMF colonization since a mixture of multiple mycorrhizal fungi species is more effective than a monospecific in-oculum [1, 14, 19].

REFERENCES

[1] M. Soufiani, Aissam, S., Boutaj, H., Ferradous, A., Douira, A., Meddich, A., & El Modafar, C. "Effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal consortium on the growth and mineral nutrition of

Argania spinosa (L .) skeels,". Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. 2022, doi: 10.1080/11263504.2022.2048280.

[2]N. Ait Aabd, R. Bouharroud, A. Tahiri, A. Wifaya, A. Mimouni, and A. El Mousadik, "Genetic diversity and breeding of argan tree (Argania spinosa L. Skeels)," in Advances in plant breeding strategies: nut and beverage crops, Springer, 2019, pp. 31–56.

[3] S. Mathur, R. S. Tomar, and A. Jajoo, "Arbuscular Mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress," Photosynth. Res., vol. 139, no. 1, pp. 227–238, 2019.

[4] P. Chandra, A. Wunnava, P. Verma, A. Chandra, and R. K. Sharma, "Strategies to mitigate the adverse effect of drought stress on crop plants—influences of soil bacteria: A review," Pedosphere, vol. 31, no. 3, pp. 496–509, 2021.

[5] F. Dai, Z. Rong, Q. Wu, E. F. ABD_ALLAH, C. Liu, and S. Liu, "Mycorrhiza improves plant growth and photosynthetic characteristics of tea plants in response to drought stress," BIOCELL, vol. 46, no. 5, pp. 1339–1346, 2022.

[6] Q. Ye, H. Wang, and H. Li, "Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve Growth, Photosynthetic Activity, and Chlorophyll Fluorescence of Vitis vinifera L. cv. Ecolly under Drought Stress," Agronomy, vol. 12, no. 7, p. 1563, 2022.

[7] A. Chakhchar et al., "Physiological and biochemical mechanisms of drought stress tolerance in the Argan tree," in Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress, Elsevier, 2018, pp. 311–322.

[8] J.-D. He, Y.-N. Zou, Q.-S. Wu, and K. Kuča, "Mycorrhizas enhance drought tolerance of trifoliate orange by enhancing activities and gene expression of antioxidant enzymes," Sci. Hortic. (Amsterdam)., vol. 262, p. 108745, 2020.

[9] A. Chakhchar et al., "Using chlorophyll fluorescence, photosynthetic enzymes and pigment composition to discriminate drought-tolerant ecotypes of Argania spinosa," Plant Biosyst. Int. J. Deal. with all Asp. Plant Biol., vol. 152, no. 3, pp. 356–367, 2018.

[10] J. M. Phillips and D. S. Hayman, "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection," Trans. Br. Mycol. Soc., vol. 55, no. 1, pp. 158-IN18, 1970.

[11] T. P. McGonigle, M. H. Miller, D. G. Evans, G. L. Fairchild, and J. A. Swan, "A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi," New Phytol., vol. 115, no. 3, pp. 495–501, 1990.

[12] J. F. Gao, "Experimental techniques of plant physiology," Xi'an, China World Publ. Corp., 2000.

[13]L. I. U. Chun-Yan, W. Yu-Juan, W. U. Qiang-Sheng, Y. Tian-Yuan, and K. Kamil, "Arbuscular mycorrhizal fungi improve the antioxidant capacity of tea (Camellia sinensis) seedlings under drought stress," Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca, vol. 48, no. 4, pp. 1993–2005, 2020.

[14] N. Diagne, M. Ngom, P. I. Djighaly, D. Fall, V. Hocher, and S. Svistoonoff, "Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: importance in biotic and abiotic stressed regulation," Diversity, vol. 12, no. 10, pp. 1–25, 2020, doi: 10.3390/d12100370.

[15]H. Jia-Dong, D. Tao, W. Hui-Hui, Z. Ying-Ning, W. Qiang-Sheng, and K. Kamil, "Mycorrhizas induce diverse responses of root TIP aquaporin gene expression to drought stress in trifoliate orange," Sci. Hortic. (Amsterdam)., vol. 243, pp. 64–69, 2019.

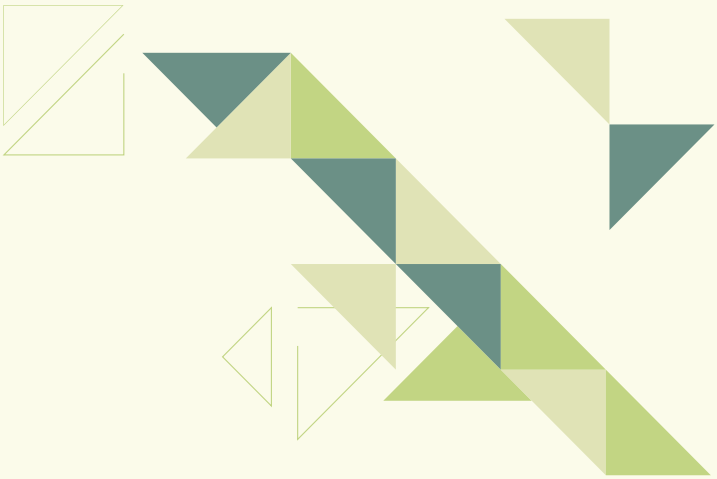
[16] F. Zhang, Y.-N. Zou, and Q.-S. Wu, "Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress," Sci. Hortic. (Amsterdam)., vol. 229, pp. 132–136, 2018.

[17] Y. Jiang, X. Liu, J. Li, J. Yang, Y. Jiang, and R. Wang, "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the photosynthetic characteristics and fluorescence parameters of Tectona grandis seedlings under drought stress," J. For. Env., vol. 39, pp. 608–615, 2019.

[18] V. K. Dalal and B. C. Tripathy, "Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis," Plant. Cell Environ., vol. 35, no. 9, pp. 1685–1703, 2012.

[19] M. Soufiani et al., "Beneficial effects of an indigenous arbuscular mycorrhizal consortium on phosphate nutrition and growth of argan tree seedlings," Arch. Agron. Soil Sci., pp. 1–15, 2022.

AXE 3
Valorisation des produits de l'arganier : Santé, nutrition, chimie et technologies



COMMUNICATIONS AFFICHÉES

Enrichissement d'huile d'argane par Armoise (*Artemisa Herba-alba Asso*)

Zineb Boubal [1,*], Abderrahim Asbbane [1] , Said Gharby [1]

[1] *Biotechnonogie, Sciences Analytiques et Contrôle Qualité, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr, Agadir*

**boubalzineb2000@gmail.com ;*

Mots clés
Argania spinosa, Artimisa herba alba, Enrichissement, Composition chi-mique, plantes aromatiques et médicinales.

RÉSUMÉ

La substitution des antioxydants synthétiques par des antioxydants naturellement présents a fait l'objet de plusieurs études récentes. Les plantes aromatiques et médicinales sont reconnues pour leur richesse en composés bioactifs, dotés d'une importante capacité antioxydante et d'autres activités biologiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel de l'armoise comme additif naturel pour enrichir et améliorer la stabilité oxydative de l'huile d'argane. Pour ce faire, trois proportions différentes (2 %, 5 % et 10 %) de la plante ont été ajoutées aux amandons lors de l'extraction mécanique de l'huile. Les paramètres physi-co-chimiques de l'huile ainsi obtenue ont été évalués, comprenant des indices de qualité de base (acidité et indice de peroxyde) et des acides gras. Nos résultats montrent une légère évolution des indices de qualité de l'huile, mais qui demeure conforme aux normes officielles. En ce qui concerne les acides gras, aucune différence significative n'a été observée entre les huiles étudiées. Sur la base des résultats de cette étude, on pourrait conclure que l'enrichissement de l'huile d'argane par l'armoise constitue une alternative prometteuse aux antioxydants synthétiques, conduisant à la création d'un nouveau produit fonctionnel, ainsi que l'enrichissement de l'huile d'argane alimentaire au cours d'extraction avec Armoise a un effet positif sur la qualité et la stabilité oxydative de l'huile d'argane.

Keywords
Argania spinosa, Artimisa herba alba, Enrichment, Chemical composition, ar-omatic and medicinal plants

ABSTRACT

Argan oil enrichment by Armoise (*Artemisa Herba-alba Asso*)

Replacement of synthetic antioxidants with naturally occurring anti-oxidants has been the subject of several recent studies. Aromatic and medicinal plants are known for their richness in bioactive compounds, with high antioxidant capacity and other biological activities. The objective of this study is to evaluate the poten-tial of argan as a natural additive to enrich and improve the oxidative stability of Argan oil. To do this, three different proportions (2%, 5% and 10%) of the plant were added to the almonds during the mechanical extraction of the oil. The physi-co-chemical parameters of the resulting oil were evaluated, including basic quality indices (acidity and peroxide index) and fatty acids. Our results show a slight change in the quality indices of the oil, but which remains in line with the official standards. With regard to fatty acids, no significant difference was observed be-tween the oils studied. Based on the results of this study, it could be concluded that the enrichment of argan oil by the wardrobe constitutes a promising alterna-tive to synthetic antioxidants, leading to the creation of a new functional product, and also enriching the dietary argan Oil during extraction with Armoise has a pos-itive effect on the quality and oxidative stability of the Argan Oil.

1. INTRODUCTION

L'huile d'argane est considérée comme un produit relativement international exporté du Maroc [1]. L'huile d'argane est extraite des fruits de l'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels). Cet arbre est principalement cultivé au Maroc pour son importance socio-économique et environnementale [2]. Il existe deux types d'huiles d'argane ; l'huile alimentaire obtenue à partir d'amandons d'argane torréfiées et l'huile à usage cosmétique qui est obtenue à partir d'amondons non torréfiées. Il y a quelques années, les deux types d'huile d'argane ont trouvé leur place sur le marché international, grâce à sa composition chimique unique associée à ses propriétés nutritionnelles et cosmétiques [1]. En effet l'huile d'argane est riche en molécules bioactives telles que les stérols, le squalène, les tocophérols, les po-lyphénols, les caroténoïdes, les triterpènes simples, la CoQ10 et la mélatonine, ainsi qu'en composés volatils [2]. l'huile d'argane pourrait donc avoir des effets antiathérogènes et préventifs sur les maladies cardiovasculaires [3] ,la réduction des effets métaboliques de l'obésité [4] et son bioactivité anti-hyperglycémique [5].

Les plantes aromatiques, également connues sous le nom d'herbes et d'épices, sont uti-lisées depuis l'Antiquité comme médecine populaire et comme conservateurs dans les aliments [6]. L'Armoise (Artemisa Herba-alba) fait partie des plantes les plus précieuses, en raison de ses caractéristiques spécifiques telles que ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes[7] antibactériens[8] antinociceptive et anti-inflammatoire [9].

Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'enrichissement de l'huile d'argane par armoise sur leurs qualités physicochimiques et sensorielles. Par ailleurs, l'enrichissement des huiles permet tout d'abord d'élargir la gamme des produits disponibles sur le marché. Il est également intéressant pour le secteur des huiles car il aboutit à la création de produits à forte valeur ajoutée que ce soit nutritionnelle ou gustative.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Source de la matière végétale

Les amandons d'arganier torréfiés utilisés dans cette étude sont de la coopérative TIGHANIMINE, et la plante aromatique et médicinale (Armoise) utilisée pour l'enrichissement de l'huile est de la coopérative TARGANEINE. Les échantillons d'amandons d'arganier et les plantes aromatiques et médicinales sont stockés dans le laboratoire biotechnologie, sciences analytiques et contrôle qualité de la faculté polydis-ciplinaire de Taroudant. Les amondons d'arganier torréfiés ont été enrichie au cours d'extraction avec la plante d'armoise a trois concentration différente 2%, 5% et 10 % à l'aide d'un extracteur mécanique selon le protocole représenté dans la figure 1.



Figure 1.Procédé d'enrichissement d'huile d'argane par l'armoise

2..2 Analyses physicochimiques

2.2.1. Analyses de la plante

• Détermination des éléments minéraux par l'ICP-OES

Broyage des échantillons : Les tourteaux récupérés sont broyés en poudre pour faciliter la libération des éléments minéraux présents dans les échantillons. Calcination : Un gramme de chaque échantillon sous forme de poudre est pesé dans des creusets et transféré dans un four à moufle à 525 °C pendant 4 h, qui élimine toute la matière or-ganique et ne contient que la matière minérale sous forme de cendres très fines. Mise en solution : Après calcination, les cendres résultantes sont ensuite digérées dans une haute avec de l'acide nitrique (65%), environ 8mL d'acide concentré est ajouté à chaque creuset. Le contenu du creuset est transféré dans une fiole de 100 mL et rempli jusqu'au trait de jauge. Décantation : Le mélange ainsi obtenu est transféré dans des flacons

en poly-propylène fermés et lissés pour décanter les solides en suspension pendant 24 heures. Injection : Lorsque les mélanges sont décantés, ils sont prêts à être injectés dans l'appareil. L'injection est effectuée après la calibration de l'appareil par les standards et les contrôles internes [14].

•Teneur en protéines par la méthode Dumas

On prend 0,5 g de l'échantillon et on le met dans le matras puis on ajout 12,5 mL d'acide sulfurique et 3 g de catalyseur Dumuas. Le matras est placé sur le dispositif de chauffage pendant une heure après que le matras est laissé refroidir, on ajout 50 mL d'eau distillé. Puis adapter directement le matras à l'appareil de distillation. On ajout 60 à 100 mL de la solution d'hydroxyde de sodium NaOH (40%) pour réaliser une alcalinisation, cette adition doit se faire avec précaution pour éviter les pertes d'ammoniac. L'ammoniac libéré par l'alcalinisation est distillé. Le distillat est recueilli dans une fiole conique contenant 40 mL de solution d'acide borique et d'indicateur. Titrer par une solution d'acide chlorhydrique HCl à 1N jusqu'à persistance du point de virage (du couleur vert au couleur rose faible)[15].

2.2.2. Analyses des huiles

•Acidité exprimée en acide oléique

L'acidité est mesurée par simple dosage acido-basique. Dans un erlenmeyer de 250 mL on dissoudre la prise d'essai de l'échantillon dans 25 mL du mélange a partie égales d'éthanol et d'oxyde de diéthylique et quelque goutes de indicateur coloré phénol-phtaléine , puis un titrage sous agitation par une solution d'hydroxyde de potassium jusqu'à le virage de l'indicateur coloré [10] .

• Indice de peroxyde

On pèse 5 g de l'huile dans un ballon de 250 mL puis on ajoute 40 mL d'isooctane, 60 mL d'acide acétique et 1 mL de solution aqueuse d'iodure de potassium saturée (15g d'iodure de potassium dans 10 mL d'eau distillée). On bouche aussitôt le ballon et on l'agite pendant 1 min. On laisse le ballon pendant 5 min à l'abri de la lumière. On ajoute ensuite 100 mL d'eau distillée. On titre, en agitant vigoureusement et en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré, l'iode libéré est dosé avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01N [11].

• Composition en acides gras

Dans un ballon de 100 mL, on pèse 1g de l'huile et on ajoute 2 mL de l'hydroxyde de potassium KOH méthanoïque (2N) et 10 mL de méthanol. On porte le ballon à l'ébullition à reflux jusqu'à la disparition des gouttelettes de matières grasses (Solution limpide). Cette opération dure en général 5 à 10 min. Puis on verse la solution dans une ampoule à décanter et on ajoute 10mL de l'heptane. Cette dernière est agitée vigoureusement et laissée décanter pour éliminer la phase aqueuse. Ensuite on fait deux lavages successifs avec de l'eau distillée. On fait une filtration de la fraction organique sur le sulfate de sodium anhydre. On récupère le filtrat et on fait l'injection de 2µL de la solution. Les différents acides gras de l'huile sont présentés sous formes des pics dans un chromato-gramme [13].

3. RÉSULTATS

3.1 . Analyses de la plante d'armoise

3.1.1. Eléments minéraux et teneur en protéines

D'après nos résultats, neuf éléments ont été identifiés dans la plante d'armoise (Tableau 1). Étaient par ordre décroissant K> Ca > Mg > Fe > Na > Mn > B>Cu. La plante d'armoise contient des teneurs plus importantes en K, Ca, Mg (le potassium (K) était l'élément le prédominant (19172,3 ± 1552,9 mg/kg) ; tandis que cette plante est relativement pauvre en (Zn, B, Mn, Cu).

Le pourcentage des protéines brute de la plante d'armoise est de 15 g /100g qui est su-périeur à plusieurs plantes aromatique et médicinale ; Thym, Origan , Menthe , Lavande , Romarin [16] .

Tableau 1. Eléments minéraux et la teneur en protéines de la plante d'armoise.

Eléments minéraux (mg/kg)	
Mg	4456,1± 360,9
Ca	9006,1 ± 429,5
K	19172,3 ± 1552,9
Na	340,5 ± 27,5
Zn	22,5 ± 1,8
Fe	499,4 ± 40,4
B	18,5 ± 1,5
Mn	80,3 ± 6,5
Cu	6,6 ± 0,5
Protéines (g/100g)	15

3.2 . Analyses des huiles

3.2.1 . Indices de qualité

Toutes les huiles d'argane ; vierge et enrichies sont considérée comme des huiles d'argane vierge extra puisque la valeur d'acidité n'as pas dépassée la valeur de 0,8 % selon la norme marocaine SNIMA [17]. On terme de changement par rapport à l'huile vierge et huile enrichie nos résultats ont un changement varie de 0,15 pour huile d'argane vierge à 0,37 pour huile d'argane enrichie a 10 %, représenté dans la figure 2.

Pour l'indice de peroxyde Les échantillons des huiles que nous avons analysés (Figure 2) sont conformes à la norme marocaine SNIMA [17] , et on les classe comme huiles d'argane vierge extra puisque la teneur en peroxydes reste en dessous de 15 % .

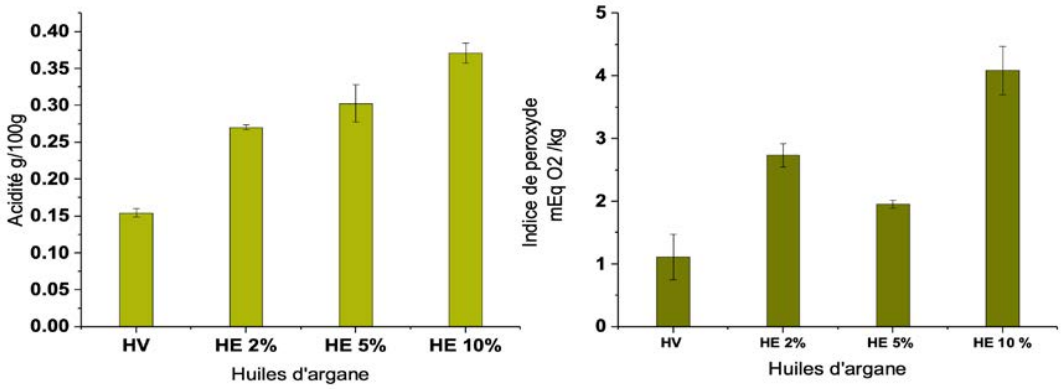


Figure 2.Acidité,indice de peroxyde des huiles d'argane.

AV : huile argane vierge , AE 2% : huile argane enrichie a 2% , AE 5% : Huile argane enrichie a 5% , AE 10 % : Huile argane enrichie a 10 % .

3.2.2. Composition en acide gras

Le tableau 2 représente la composition des huiles vierges et enrichie, tous les acides gras sont conformes à la norme. Aucun changement significatif entre la composition en acides gras des différente huiles enrichies.

Tableaux 2. Composition en acides gras des huiles d'argane vierge et enrichie en trois concentration (2 , 5 ,10 %).

Acides gras	AV	AE 2%	AE 5%	AE 10%
Acide palmitique (C 16: 0)	14,33± 0,10	14,92± 0,10	15,08± 0,10	16,40± 0,10
Acide palmitoléique (C16: 1)	0,12± 0,01	ND	ND	ND
Acide stéarique (C 18 : 0)	5,44± 0,10	5,18± 0,10	5,45± 0,10	7,13± 0,10
Acide oléique (C 18 : 1)	45,36± 0,10	45,56± 0,10	44,79± 0,10	43,65± 0,10
Acide linoléique (C 18 : 2)	33,87± 0,10	34,33± 0,10	34,66± 0,10	32,81± 0,10
Acide linolénique (C 18 : 3)	0,089± 0,01	ND	ND	ND
Acide arachidique (C 20 : 0)	0,32± 0,01	ND	ND	ND
Acide gadoléique (C 20 : 1)	0,27± 0,01	ND	ND	ND
AGS*	20,09± 0,10	20,1± 0,1	20,53± 0,10	20,53± 0,10
AGMI**	45,75± 0,10	45,56± 0,10	44,79± 0,10	43,65± 0,10
AGPI***	33,96± 0,10	34,33± 0,10	34,67± 0,10	32,81± 0,10

AV : huile argane vierge, AE 2% : huile argane enrichie a 2% , AE 5% : Huile argane enrichie a 5% , AE 10 % : Huile argane enrichie a 10 % , AGS* : Acides Gras Saturés, AGMI** : Acides Gras Monoinsaturés. AGPI*** : Acides Gras Polyinsaturés AGS* : Acides Gras Saturés, AGMI** : Acides Gras Monoinsaturés. AGPI*** : Acides Gras Polyinsaturés, ND : non détecté.

4. DISCUSSION

Cette étude a montré que l'indice d'acidité et de peroxyde respectant la norme. Pour les acides gras aucun changement significative entre huile argane et huile d'argane enrichie en 2%, 5% et 10 %. À la suite des avantageux de cette étude, l'effort de valorisation de cette huile doit être poursuivi car il peut, par ses retombés scientifiques, participer de façon déterminante au développement du secteur d'arganier. Pour cela différents axes de recherche peuvent être entreprendre : Faire un suivie aux analyses, essayer avec autres plantes aromatiques et médicinales, étudier les activités antioxydantes avant et après enrichissement et utiliser d'autres méthodes d'enrichissements.

5. CONCLUSIONS

La recherche sur le développement de technologies adéquates pour produire ces nou-velles huiles, présentant des propriétés sensorielles adéquates, une valeur biologique améliorée et une stabilité de la durée de conservation, est de la plus haute importance pour l'industrie de l'huile d'argane. Bien que différentes techniques puissent être utili-sées, certaines d'entre elles consistant à incorporer l'agent aromatique dans l'huile d'argane peuvent avoir un effet délétère sur les caractéristiques nutritionnelles et de conservation.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche citoyenne et soutenu financièrement par Cowater, ANDZOA et REFARM.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] S. Gharby et Z. Charrouf, « Argan Oil: Chemical Composition, Extraction Process, and Quality Control », Frontiers in Nutri-tion, vol. 8, 2022, Consulté le: 26 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.804587

[2] R. Aissa et al., « Oxidative Stability of Virgin and Refined Argan [Argania spinosa L. (Skeels)] Oil under Accelerated Aging Conditions and Shelf-Life Prediction at Room Temperature: A Comparative Study », Analytica, vol. 4, no 4, Art. no 4, déc. 2023, doi: 10.3390/analytica4040034.

[3] M. Ghaseminasab Parizi, M. H. Eftekhari, S. M. Tabibzadeh, M. Shafiee, et S. M. Mazloomi, « The Effect of Argan Oil on Surrogate Markers in Cardiovascular Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis », International Journal of Nutrition Sciences, vol. 5, no 4, p. 159-166, déc. 2020, doi: 10.30476/ijns.2020.87532.1083.

[4] S. Sour, M. Belarbi, N. Sari, C. H. Benammar, C. H. Baghdad, et F. Visioli, « Argan oil reduces, in rats, the high fat di-et-induced metabolic effects of obesity », Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, vol. 25, no 4, p. 382-387, avr. 2015, doi: 10.1016/j.numecd.2015.01.001.

[5] I. V. Seniuk, N. I. Filimonova, et K. Kaoutar, « In vitro and in vivo anti-hyperglycemic potential of saponins cake and Argan oil from Argania spinosa », 2023, Consulté le: 11 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/30710/1/69-71.pdf

[6] E. Christaki, E. Bonos, I. Giannenas, et P. Florou-Paneri, « Aromatic Plants as a Source of Bioactive Compounds », Agricul-ture, vol. 2, no 3, Art. no 3, sept. 2012, doi: 10.3390/agriculture2030228.

[7] M. J. Mohammed, U. Anand, A. B. Altemimi, V. Tripathi, Y. Guo, et A. Pratap-Singh, « Phenolic Composition, Antioxidant Capacity and Antibacterial Activity of White Wormwood (Artemisia herba-alba) », Plants, vol. 10, no 1, Art. no 1, janv. 2021, doi: 10.3390/plants10010164.

[8] A. Bertella et al., « Artemisia herba-alba Asso. essential oil antibacterial activity and acute toxicity », Industrial Crops and Products, vol. 116, p. 137-143, juin 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.064.

[9] E. Qnais, A. Alatshan, et Y. Bseiso, « Chemical composition, antinociceptive and anti-inflammatory effects of Artemisia herba-alba essential oil », Journal of Food Agriculture and Environment, vol. 1414, p. 20-27, mai 2016.

[10]ISO 660, « Animal and vegetable fats and oils—determination of acid value and acidity », EH ИСО, vol. 660, 2009.

[11] ISO 3960:2007, « ISO 3960:2007 », ISO. [En ligne]. Disponible sur: https://www.iso.org/standard/39158.html

[13] 12966-2 ISO, « 12966-2 Animal and vegetables fat and oils. Gas chromatography of fatty acid methyl esters. Part 2: Prepa-ration of methyl esters of fatty acids », International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2011.

[14] M. Ibourki, « Détermination des oligos-éléments par la spéctromètrie d'émission atomique par couplage inductif (ICP-AES) dans quatres matrices des produits de terroirs du Maroc: L'arganier, Amendier, Caroubier, et Safran », Amend. Caroubier et Safran, 2019.

[15] I. ISO, « 5983-1: Animal Feeding Stuffs: Determination of Nitrogen Content and Calculation of Crude Protein Content—Part 1: Kjeldahl Method », ISO: Geneva, Switzerland, 2005.

[16] H. Ait Bouzid et al., « Comparative evaluation of chemical composition, antioxidant capacity, and some contaminants in six Moroccan medicinal and aromatic plants », Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, vol. 47, p. 102569, janv. 2023, doi: 10.1016/j.bcab.2022.102569.

[17] N. SNIMA, « Service de normalisation industrielle marocaine (Snima), Corps gras d'origine animale ou végétale- Huiles d'argan », Spécification. Norme marocaine NM, vol. 8, p. 090, 2003.

Antioxidant Effects of Argan Oil and Olive Oil against Iron-Induced Oxidative Stress: *In Vitro* Approache

Zakaria Ejjalti [1], Habiba Bouchab [1,2], Soukaina Essadek [2,3], Soufiane El Kamouni [2], Khadija Moustaid[4], Abdelkhalid Essamadi [2] ,Pierre Andreoletti [3], Mustapha Cherkaoui-Malki [3], Riad El Kebbaj [1,*] and Boubker Nasser [2,*]

[1] *Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University, Settat 26000, Morocco; z.ejjalti@uhp.ac.ma (Z.E.); habibabouchab78@gmail.com (H.B.);*

[2] *Laboratory of Biochemistry, Neurosciences, Natural Resources and Environment, Faculty of Sciences and Technologies, Hassan First University, Settat 26000, Morocco; ess.soukaina@hotmail.fr (S.E.); eks.soufiane@gmail.com (S.E.K.); essamadi@uhp.ac.ma (A.E.)*

[3] *Bio-PeroxIL Laboratory, EA7270, Université de Bourgogne, 6 Boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France; pierre.andreoletti@u-bourgogne.fr (P.A.); mustapha.cherkaoui-malki@u-bourgogne.fr (M.C.-M.)*

[4] *Laboratory of Applied Chemistry and Environment, Faculty of Sciences and Technologies, Hassan First University, Settat 26000, Morocco; khadija.moustaid@uhp.ac.ma*

** elkebbajriad@gmail.com (R.E.K.); boubker.nasser@uhp.ac.ma (B.N.); Tel.: +212-(52)-3400187 (R.E.K.); +212-(52)-3400442 (B.N.)*

Keywords
oxidative stress, antioxidant enzymes, ferrous sulfate, argan oil, olive oil, Tetrahymena pyriformis

ABSTRACT

This study explores the protective powers of argan oil (AO) and olive oil (OO) as potential sources of antioxidant compounds. It focuses on identifying new molecules with antioxidant and chelating properties to counter reactive oxygen species (ROS) involved in various pathologies. The research evaluates the content of phenolic compounds, chlorophylls, and carotenoid pigments in AO and OO, alongside their antioxidant potential through FRAP and DPPH tests. Ferrous sulfate (FeSO4) induced oxidation is used to assess the oils' preventive effects against oxidative stress in the protozoan Tetrahymena pyriformis. Enzymatic activities (SOD, GPx) and metabolite markers (MDA and GSH) of the antioxidant balance are also analyzed. Results indicate that both oils contain phenolic compounds and pigments and exhibit antioxidant potential as confirmed by FRAP and DPPH assays. The study suggests that the oils' ability to counter iron-induced imbalance is linked to their composition, particularly their high content of polyphenols, sterols, and tocopherols, as evidenced by their antioxidant activities. In summary, AO and OO demonstrate strong antioxidant potential, which may contribute to mitigating the effects of iron-induced oxidative stress.

Mots clés
stress oxydatif, enzymes antioxydantes, sulfate ferreux, huile d'argan, huile d'olive, Tetrahymena pyriformis.

RÉSUMÉ

Effets antioxydants de l'huile d'argan et de l'huile d'olive contre le stress oxydatif induit par le fer : Approche *in vitro*.

Récemment, l'étude des pouvoirs protecteurs des plantes médicinales est devenue le sujet de nombreuses recherches. L'attention s'est concentrée sur l'identification de nouvelles molécules aux propriétés antioxydantes et chélatantes pour contrer les espèces réactives de l'oxygène (ROS), impliquées comme éléments clés dans plusieurs pathologies. Une at-tention considérable est accordée à l'huile d'argan (AO) et à l'huile d'olive (OO) en raison de leur composition particulière et de leurs propriétés préventives. Notre étude visait à déterminer la teneur en composés phénoliques, chlorophylles et pigments caroténoïdes de l'AO et de l'OO ainsi que leur potentiel antioxydant par les tests FRAP et DPPH.

Ainsi, plusieurs éléments métalliques peuvent induire un stress oxydatif, en conséquence de la formation de ROS. Le fer est l'un de ces ions métalliques, qui participe à la géné-ration de radicaux libres, en particulier OH à partir de H2O2 via la réaction de Fenton, initiant le stress oxydatif. Pour étudier le potentiel antioxydant de l'AO et de l'OO, nous avons évalué leurs effets préventifs contre le stress oxydatif induit par le sulfate ferreux (FeSO4) chez le protozoaire Tetrahymena pyriformis. Nous avons ensuite évalué les activités des marqueurs enzymatiques (superoxyde dismutase (SOD), glutathion peroxy-dase (GPx)) et métaboliques (peroxydation des lipides (MDA) et glutathion (GSH)) de l'équilibre antioxydant.

Les résultats des composés antioxydants montrent que les deux huiles contiennent des composés phénoliques et des pigments. De plus, l'AO et l'OO présentent un potentiel antioxydant lors des tests FRAP et DPPH. Ces résultats révèlent que le déséquilibre des ROS induit par le fer peut être contrebalancé par l'AO et l'OO, ce qui est probablement lié à leur composition, notamment leur haute teneur en polyphénols, stérols et tocophérols, comme en témoignent leurs activités antioxydantes.

1. INTRODUCTION

Maintaining redox balances and homeostasis is crucial for biological systems, involving reactive oxygen species (ROS) (1) like hydroxyl radicals (OH), superoxide anion (O2–), and hydrogen peroxide (H2O2) (2). While ROS act as signaling molecules at low levels, excessive production leads to oxidative stress, implicated in various diseases. To counter oxidative stress, cells have enzymatic (e.g., catalase, glutathione peroxidase, superoxide dismutase) and non-enzymatic (e.g., glutathione) antioxidant defense systems (3). Iron, a key element in the human body (4), can induce oxidative stress via ROS formation, contributing to neurodegenerative diseases (5, 6). Natural antioxidants from medicinal plants, including argan oil (AO) and olive oil (OO), rich in polyphenols and phytosterols, exhibit cytoprotective potential against oxidative stress-related toxicity (7, 8). Chemical analyses reveal their composition, emphasizing their unsaturation index and diverse biological effects (9, 10). This study evaluates the protective and antioxidant effects of AO and OO against iron-induced oxidative stress in Tetrahymena pyriformis, a widely used model organism. Assessment includes chlorophyll, carotenoid, and phenolic compound levels, along with antioxidant capacity determination through FRAP and DPPH assays, both in vivo and in vitro. This research sheds light on the antioxidant properties of AO and OO and their potential in mitigating iron-induced oxidative stress.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Origin, Extraction, and Composition of Oils

Dietary argan oil (*Argania spinosa*) was provided by the company EFAS (Agadir, Mo-rocco), and olive oil from the modern cooperative AZZABA (Sefrou, Morocco) in 2018. Argan oil extraction was performed in five different steps: pulping the fruit, crushing the hull, and roasting the almond were performed manually, and grinding roasted almonds was performed by a mechanical press. The olive oil was extracted mechanically. The olive oil was simply extracted by crushing fruits and extracting the juice. The oils were stored at 4 °C in darkness until analysis and used between 1–4 months after purchase. The quality indices and the composition of AO and OO were performed by EFAS company and AZZABA cooperative, respectively. The chemical extraction of phenolic compounds from each oil was determined according to the procedure of (11). Briefly, 2 g of the oil was dissolved in 1 mL of n-hexane and the solution was shaken, followed by a liquid–liquid extraction using 2 mL of methanol/water (80: 20 v/v). The mixture was centrifuged at 2800× g for 5 min, the extraction was repeated in the lipophilic fraction and the methanolic fractions were combined.

2.2. Total Polyphenol Contents

The total phenolic content (TPC) of the methanolic fraction of oil was estimated by Fo-lin–Ciocalteu (12).

2.3. Determination of Chlorophyll and Carotenoid Contents

The chlorophyll and carotenoid contents were determined by dissolving 1.5 g of oil in a final volume of 5 mL of cyclohexane (13). The amounts of carotenoid and chlorophyll were calculated by measuring the absorbance at 470 nm and 670 nm, respectively, according to the following equations:

Carotenoid (mg/Kg) = (A470 × 106)/(E1 × 100)

Chlorophyll (mg/Kg) = (A670 × 106)/(E2 × 100)

A is the absorption at 470 or 670 nm; E1 is the extinction coefficient of lutein = 2000; E2 is the extinction coefficient of pheophytine 613.

2.4. Antioxidant Activities

2.4.1. FRAP Assay

The reducing power of the methanolic extract was determined according to the procedure described by (14).

2.4.2. DPPH Assay

The antiradical activity of ethyl acetate extract of oil was estimated according to (15).

2.5. Culture and Treatments

2.5.1. Culture Medium

T. pyriformis was kindly provided by the Laboratory of Physiology and Molecular Genetics, Department of Biology, Faculty of Sciences Ain Chock, University Hassan II- Ain Chock, Casablanca, Morocco. The culture medium (PPYG) of T. pyriformis contained 0.4% protease peptone, 0.2% yeast extract, and 1% glucose (16). The culture medium and consumables were sterilized in high-pressure steam at 120) °C before use. During the growth, the cells entered the exponential phase with a high density, and then a pre-stationary phase of growth followed by a stationary phase (17). In our study, the cell cultures were always performed in the exponential phase in a new fresh medium before each treatment with the tested products. The assays always departed from initial densities of about at least 104 cells per ml.

2.5.2. Iron Treatment

The T. pyriformis growth curve was produced to obtain adequate cell densities for the treatment with different iron sulfate concentrations. Cell density was determined using a hemocytometer with an optical microscope. After 24 h of culture, the medium was mixed in triplicate with different iron sulfate concentrations (from 0.3 to 4 mM of FeSO4). Sterile distilled water was set as a control. Cells were kept in the incubator at 28 °C for an ad-ditional 24 h and the IC50 was determined. The FeSO4 was prepared in sterile distilled water just before use.

2.5.3. Argan Oil and Olive Oil Treatment

To treat T. pyriformis with AO or OO, a stock solution of argan and olive oil was prepared at 10% (v/v) in absolute ethanol. For cell treatment, the final concentration in the medium with oil and ethanol was 0.1% and 0.9%, respectively (18). After 2 h of incubation of cells in the presence of AO or OO, the cells were treated by the stress agent at the IC50 con-centration.

2.6. Oxidative Stress Markers and Antioxidants

2.6.1 Lipid Peroxidation

MDA was determined by the thiobarbituric acid (TBA) reaction [19].

2.6.2 Glutathione

The level of GSH was measured by the method of [20].

2.7 Enzymatic Activity Measurements

2.7.1 Glutathione Peroxidase

The GPx activity was assayed as described by [21].

2.7.2 Superoxide Dismutase

The SOD activity was assayed as described by [22].

2.8 Statistical Analysis

All results were expressed as mean ± standard deviation. The statistical analysis to compare the two groups was performed with an unpaired, two-tailed, Student t-test; a p-value of 0.05 or less was deemed to be statistically significant.

3. RESULTS

3.1. Total Polyphenol Contents, Pigments Amounts, and Antioxidant Activities

The results of the chlorophyll and carotenoid amounts (Figure 1A) show that the OO contains higher amounts, with 0.58 and 0.39 mg/kg, respectively, than the AO, with 0.34 and 0.24 mg/kg, respectively. The differentiation of oils based

on their content in polyphenols, as well as on their antioxidant activities, is a complex task since these criteria depend on several parameters such as specie polymorphism, altitude, climate factors, temperature, rain, soil type, drought, harvest year, and the fruit maturity, in addition to the oil extraction methods (20, 21). In our study, the assessment of the total phenol content of two different vegetable oils used in the experiment (Figure 1A) shows that OO contains more polyphenols than AO with 175.911 and 36.237 mg GAE/kg oil, respectively.

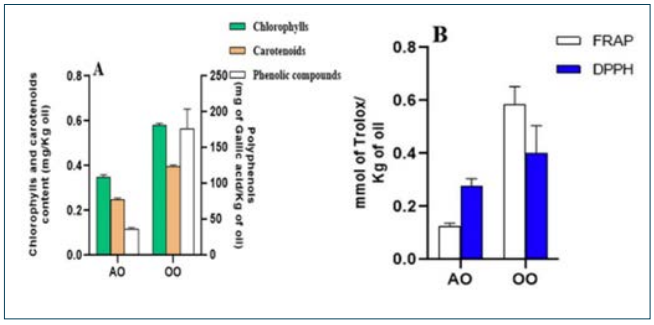


Fig.1 (A) Total phenolic content (TPC) (mg of Gallic acid per kilogram of oil), chlorophylls, and carotenoid content (mg/Kg oil). (B) Antioxidant activity (FRAP, DPPH) (mmol of TE/kg oil) determined in the argan oil (AO) and olive oil (OO) from Morocco (n = 3). TPC test uses gallic acid a reference molecule. FRAP and DPPH tests use Trolox as a reference molecule.

According to the two tests, the antioxidant activities of OO show a higher antioxidant potential across the two tested assays of DPPH and FRAP, with 0.401 and 0.585, respectively, compared to AO with 0.275- and 0.123-mM TE/kg oil, respectively. The phenolic content of OO is 4.85-fold higher than that of AO, which is in correlation with the OO to AO ratio (relative to the antioxidant activities) calculated by FRAP assay (4.75 folds). However, the antioxidant potential of OO across the DPPH assay is just 1.46-fold higher than AO.

3.2 IC50 of iron

The results of cell density of T. pyriformis shows that at low concentrations, below 0.5 mM, iron seems to stimulate the cell growth of T. pyriformis by nearly 30% (from 5.8 × 105 without iron to 7.5 × 105 cells per ml in the presence of 0.3 mM FeSO4), whereas iron concentrations of 0.5 mM to 4 mM negatively affect the T. pyriformis growth in a dose-dependent manner (Figure 2) up to complete cell growth inhibition. Therefore, iron at high concentrations could be an anti-growth agent because of its toxicity. In these conditions, the IC50 of FeSO4 was calculated a 1.85 mM to create the oxidative stress environment.

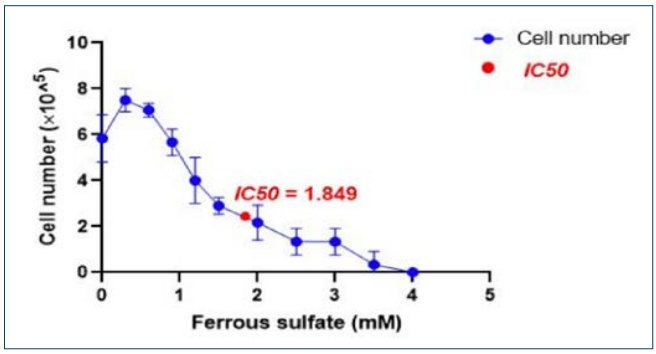


Fig. 2 Effect of ferrous sulfate on T. pyriformis. The number of T. pyriformis cells was determined in the presence of different concentrations of iron. Values are given as mean ± SD. The 50% inhibitory concentration value (IC50) was carried out by Graph Pad Prism (n = 3).

3.3. Argan Oil Protects T. pyriformis from Iron-Disturbed Antioxidant Activities

As shown in Figure 3, the MDA level is not affected by iron treatment or by AO or OO. However, in the iron-treated cells, the GSH level increases by 27.17%. The combination of AO and iron or OO and iron shows a significant decrease in GSH level by 38.70% in AO and by 71.76% in OO-pretreated cells compared to iron treatment. Likewise, the iron treatment induces an increase in the SOD and GPx activities by 69.67% and 50.00%, respectively, when compared to the control untreated cells; this rise is countered by supplementation of AO and OO, which shows a return to control level in GPx activity (71.08% in AO and 86.65% in OO pretreated cells) and a decrease in SOD activity (56.62% in AO and 63.62% in OO pretreated cells), compared to the untreated cells. SOD activity is reduced by 56.61% in AO-treated cells and by 63.62% in OO-treated cells. Moreover, the AO and OO treatment has no differential effect on GPx, SOD, and MDA levels. However, these oils have a negative effect on the GSH marker. These results show that AO and OO prevent protozoan cells from changes in antioxidant capacities induced by iron treatment.

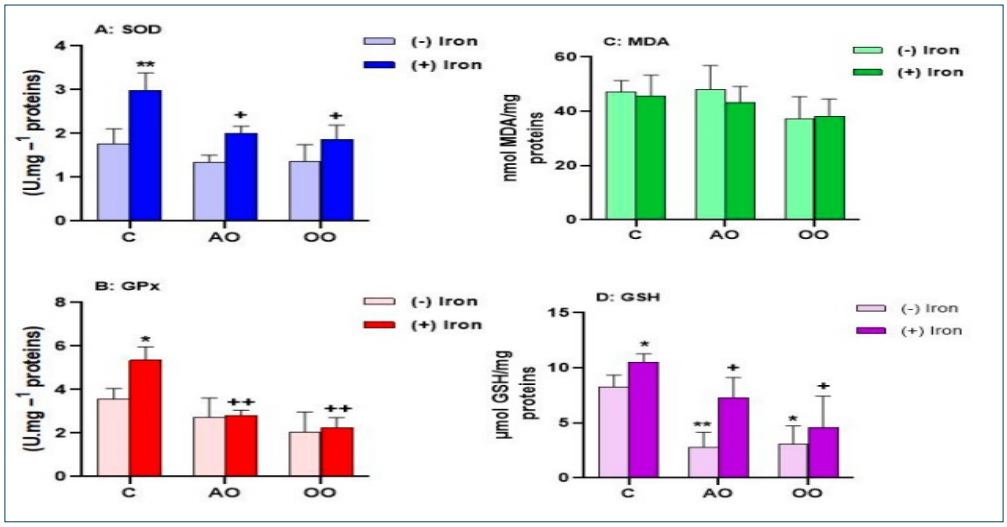


Figure 3. Antioxidant capacities of AO and OO in Tetrahymena pyriformis upon iron treatment. A: superoxide dismutase activity (SOD). B: glutathione peroxidase activity (GPx). C: lipid peroxidation level (MDA). D: glutathione level (GSH). After 24 hours of culture in PPYG medium, cells without iron or oils (Control: C); cells supplemented with 1849 µM of iron (FeSO4), 0.1% of argan oil (AO) or olive oil (OO), iron plus AO (FeSO4+ AO) or OO (FeSO4+ OO) were incubated for another 24 hours. All values are means ± SD of triplicate analysis. Significant difference: **p<0.01, p*<0.05 compared to the control and, ++p<0.01, + p< 0.05 compared to FeSO4. (n=3).

4. DISCUSSION

The results for this study demonstrate that exposure to iron in the form of FeSO4 affects the growth of protozoa, which can be interpreted as a disruption of the balance between free radicals and antioxidants. This disruption is corroborated by the observed modifications in the activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GPx). Furthermore, the evaluation of oxidative stress markers such as reduced glutathione (GSH) and malondialdehyde (MDA) confirms the presence of iron-induced oxidative stress. These results suggest that iron promotes the production of free radicals, leading to oxidative damage at the cellular level. Regarding the protective effect of oils, the data show that olive oil (OO) exhibits higher antioxidant activity than argan oil (AO), which can be attributed to its composition of antioxidant compounds such as polyphenols, tocopherols, and phytosterols.

In conclusion, the in vitro results suggest that argan and olive oils have the ability to protect cells against iron-induced oxidative stress in Tetrahymena pyriformis, with a more pronounced antioxidant activity observed for OO. These observations support the notion that these oils could have beneficial potential in preventing oxidative damage associated with excess iron in the body.

REFERENCES

1. Weissman, L.; de Souza-Pinto, N.C.; Stevnsner, T.; Bohr, V.A. DNA Repair, Mitochondria, and Neurodegeneration. Neuroscience 2007, 145, 1318–1329.

2. Irazabal, M.V.; Torres, V.E. Reactive Oxygen Species and Redox Signaling in Chronic Kidney Disease. Cells 2020, 9, 1342.

3. Jiménez-Fernández, S.; Gurpegui, M.; Garrote-Rojas, D.; Gutiérrez-Rojas, L.; Carretero, M.D.; Correll, C.U. Oxidative Stress Parameters and Antioxidants in Patients with Bipolar Disorder: Results from a Meta-analysis Comparing Patients, Including Stratification by Polarity and Euthymic Status, with Healthy Controls. Bipolar Disord. 2021, 23, 117–129.

4. Lal, A. Iron in Health and Disease: An Update. Indian J. Pediatr. 2020, 87, 58–65.

5. González-Domínguez, Á.; Visiedo-García, F.M.; Domínguez-Riscart, J.; González-Domínguez, R.; Mateos, R.M.; Lechuga-Sancho, A.M. Iron Metabolism in Obesity and Metabolic Syndrome. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 5529.

6. Juan, C.A.; Pérez de la Lastra, J.M.; Plou, F.J.; Pérez-Lebeña, E. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role

in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies. Int. J. Mol. Sci. 2021, 22, 4642.

7. El Kebbaj, R.; Andreoletti, P.; El Hajj, H.I.; El Kharrassi, Y.; Vamecq, J.; Mandard, S.; Saih, F.-E.; Latruffe, N.; El Kebbaj, M.S.; Lizard, G.; et al. Argan Oil Prevents Down-Regulation Induced by Endotoxin on Liver Fatty Acid Oxidation and Gluconeogenesis and on Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator-1α, (PGC-1α), Peroxisome Proliferator-Activated Receptor α (PPARα) and Estrogen Related Receptor α (ERRα). Biochim. Open 2015, 1, 51–59.

8. El Kamouni, S.; El Kebbaj, R.; Andreoletti, P.; El Ktaibi, A.; Rharrassi, I.; Essamadi, A.; El Kebbaj, M.S.; Mandard, S.; Latruffe, N.; Vamecq, J.; et al. Protective Effect of Argan and Olive Oils against LPS-Induced Oxidative Stress and Inflammation in Mice Livers. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2181.

9. Badreddine, A.; Zarrouk, A.; Karym, E.M.; Debbabi, M.; Nury, T.; Meddeb, W.; Sghaier, R.; Bezine, M.; Vejux, A.; Martine, L.; et al. Argan Oil-Mediated Attenuation of Organelle Dysfunction, Oxidative Stress and Cell Death Induced by 7-Ketocholesterol in Murine Oligodendrocytes 158N. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2220.

10. Lucarini, M.; Durazzo, A.; Nicoli, S.F.; Raffo, A.; Santini, A.; Novellino, E.; Souto, E.B.; Romani, A.; Belcaro, M.F.; Vita, C. Cold Pressed Argan (Argania spinose) Oil. In Cold Pressed Oils; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 459–465.

11. Marfil, R.; Giménez, R.; Martínez, O.; Bouzas, P.R.; Rufián-Henares, J.A.; Mesías, M.; Cabrera-Vique, C. Determination of Polyphenols, Tocopherols, and Antioxidant Capacity in Virgin Argan Oil (Argania spinosa, Skeels). Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2011, 113, 886–893.

12. Sun, T.; Xu, Z.; Wu, C.-T.; Janes, M.; Prinyawiwatkul, W.; No, H.K. Antioxidant Activities of Different Colored Sweet Bell Peppers (Capsicum annuum L.). J. Food Sci. 2007, 72, S98–S102.

13. Minguez-Mosquera, M.I.; Gandul-Rojas, B.; Garrido-Fernandez, J.; Gallardo-Guerrero, L. Pigments Present in Virgin Olive Oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 1990, 67, 192–196.

14. Oyaizu, M. Studies on Products of Browning Reaction Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine. Jpn. J. Nutr. Diet. 1986, 44, 307–315.

15. Koprivnjak, O.; Škevin, D.; Vali 'c, S.; Majeti 'c, V.; Petri˘cevi 'c, S.; Ljubenkov, I. The Antioxidant Capacity and Oxidative Stability of Virgin Olive Oil Enriched with Phospholipids. Food Chem. 2008, 111, 121–126.

16. Mori, K.; Kashiwagi, A.; Yomo, T. Single-Cell Isolation and Cloning of Tetrahymena Thermophila Cells with a Fluorescence- Activated Cell Sorter. J. Eukaryot. Microbiol. 2011, 58, 37–42.

17. Nilsson, J.R. On Cell Organelles in Tetrahymena. With Special Reference to Mitochondria and Peroxisomes. Carlsberg Res. Commun. 1981, 46, 279–304.

18. Badreddine, A.; Zarrouk, A.; Karym, E.M.; Debbabi, M.; Nury, T.; Meddeb, W.; Sghaier, R.; Bezine, M.; Vejux, A.; Martine, L.; et al. Argan Oil-Mediated Attenuation of Organelle Dysfunction, Oxidative Stress and Cell Death Induced by 7-Ketocholesterol in Murine Oligodendrocytes 158N. Int. J. Mol. Sci. 2017, 18, 2220.

19. Psomiadou, E.; Tsimidou, M. Stability of Virgin Olive Oil. 1. Autoxidation Studies. J. Agric. Food Chem. 2002, 50, 716–721.

20. Abbassi, A.E.; Khalid, N.; Zbakh, H.; Ahmad, A. Physicochemical Characteristics, Nutritional Properties, and Health Benefits of Argan Oil: A Review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2014, 54, 1401–1414.

Caractérisation chimique des fruits d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeets) et utilisation de différentes techniques d'extraction

Ettaleb I.[1,2,*], El Aboudi A.[2], Elantry S.[1], Aoujdad J.[1], Oubrahim H.[1], Ladouy C.[1], El Hasnaui S.[2], Satrani B.[1] , Aabidi F.[1] & Ouajdi M. [1]

[1] *Centre de Recherche Forestière, service de sylviculture et santé des forêts, Rabat, Maroc.*

[2] *Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat, Maroc.*

* *ettaleb1ismail@gmail.com*

RÉSUMÉ

L'arganier, une espèce connu pour son huile utilisée dans les cosmétiques et les produits diététiques, mais les parties du fruit correspondante ont suscité moins d'intérêt des chercheurs et leur composition chimique est peu connue. Les fruits d'arganier récoltés sur sept pieds de deux stations au Maroc (Ait Melloul et Essaouira). L'objectif de cette étude était d'évaluer la composition chimique de différentes parties du fruit d'arganier, en utilisant deux solvants, l'acétone et l'éthanol. Les résultats obtenus ont montré que la pulpe est très riche en compsés phénoliques par rapport au noyau et à la graine. La teneur en phénols totaux des échantillons d'Ait Melloul est de (0,57; 0,7; 0,11 mg/g d'extrait acétonique) et (0,61; 0,6; 0,17 mg/g d'extrait éthanolique), la teneur en flavonoïdes est de (25,40 ; 16,58; 14,10 mg/g d'EA) et (21,09; 8,86; 6,13 mg/g d'EE), tandis que la teneur en tanins condensés est de (2,56; 1,17; 0,40 mg/g d'EA) et (1,06 ; 2,07; 1,62 mg/g d'EE) pour la pulpe, le noyau et la graine, respectivement. Pour la station d'Essaouira, la teneur en phénols totaux est de (0,51; 0,46; 0,08 mg/g d'EA) et (0,46; 0,48; 0,11 mg/g d'EE), la teneur en flavonoïdes est de (30,26; 15,39; 13 mg/g d'EA) et (14,45 ; 8,33 ; 8,68 mg/g d'EE), tandis que la teneur en tanins condensés est de (1,93; 1,97; 0,31 mg/g d'EA) et (2,42; 1,52; 0,62 mg/g d'EE) pour la pulpe, le noyau et la graine, respectivement.

Mots clés
Arganier, pulpe, graine, noyau, composition chimique, Maroc

ABSTRACT

Chemical characterization of argan tree fruits (*Argania spinosa* (L.) Skeels) and the use of different extraction techniques

The argan tree, a species known for its oil used in cosmetics and dietary products, has seen less research interest in its fruit parts, and their chemical composition is poorly understood. Argan fruits were harvested from seven trees at two locations in Morocco (Ait Melloul and Essaouira). The objective of this study was to evaluate the chemical composition of different parts of the argan fruit using two solvents, acetone and ethanol. The results showed that the pulp is very rich in phenolic compounds compared to the kernel and seed. The total phenol content of the samples from Ait Melloul was (0.57; 0.7; 0.11 mg/g of acetonic extract) and (0.61; 0.6; 0.17 mg/g of ethanolic extract), while the flavonoid content was (25.40; 16.58; 14.10 mg/g of AE) and (21.09; 8.86; 6.13 mg/g of EE). The condensed tannin content was (2.56; 1.17; 0.40 mg/g of AE) and (1.06; 2.07; 1.62 mg/g of EE) for the pulp, kernel, and seed, respectively. For the Essaouira site, the total phenol content was (0.51; 0.46;

Keywords
Argan tree, pulp, seed, kernel, chemical composition, Morocco.

0.08 mg/g of AE) and (0.46; 0.48; 0.11 mg/g of EE), the flavonoid content was (30.26; 15.39; 13 mg/g of AE) and (14.45; 8.33; 8.68 mg/g of EE), while the condensed tannin content was (1.93; 1.97; 0.31 mg/g of AE) and (2.42; 1.52; 0.62 mg/g of EE) for the pulp, kernel, and seed, respectively.

1. INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une espèce endémique du Maroc, connue pour sa grande résistance à la sécheresse et à la chaleur. Il pousse de manière sauvage et abondante dans les régions arides et semi-arides du sud-ouest marocain. Dans cette zone géographique, l'arganier joue un rôle crucial dans l'équilibre écologique et la préservation de la biodiversité. En plus de ses bienfaits environnementaux, l'arganier revêt une grande importance économique, notamment grâce à l'huile d'argan qui est son principal produit.

La région de l'arganeraie est traditionnellement habitée par la population Amazigh, qui a développé au fil des siècles un mode de vie étroitement lié à l'arganier. Cette région assure la subsistance de trois millions de personnes, dont 2,2 millions vivent en milieu rural. Les activités liées à l'arganeraie génèrent plus de 20 millions de journées de travail, dont 7,5 millions sont principalement effectuées par des femmes pour l'extraction de l'huile d'argan. À l'origine, l'arganeraie couvrait 1,5 million d'hectares, mais elle ne s'étend plus aujourd'hui que sur 800 000 hectares. En moins d'un siècle, plus des deux tiers de la forêt ont disparu, avec environ 600 hectares perdus chaque année. Cette diminution est le résultat d'une surexploitation agricole, de l'utilisation excessive des arganiers comme bois de chauffage ou comme fourrage pour le bétail, ainsi que des années récentes de sécheresse extrême au Maroc. L'érosion des sols et l'avancée du désert sont des menaces majeures pour ce patrimoine unique, mais les plans récents de replantation de cette espèce en voie de disparition demandent une utilisation améliorée et une valorisation de tous les produits dérivés.

Identification et la caractérisation de la variabilité des fruits ont été traditionnellement établies selon les deux types de marqueurs : morphologiques [1] et biochimiques [2]. Il a été constaté que la grande diversité phénologique observée dans le fruit d'argan est le résultat de conditions génétiques et pédoclimatiques [3]. Bani-Aameur et al. [4] ont principalement distingué six formes de fruits (étroitement ellipsoïde, ellipsoïde pointu, ellipsoïde, obovale, sphéroïde haut et sphéroïde) dans le sud-ouest du Maroc. Par la suite, plusieurs auteurs ont identifié quatre formes de fruits très différentes dans plusieurs localités de la forêt d'argan au Maroc [5].

Le fruit est principalement composé de deux parties, la pulpe (mésocarpe) qui est recouverte d'une peau (épicarpe), et le noyau (endocarpe). L'huile d'argan est produite à partir du noyau sous forme alimentaire et cosmétique [6,7]. La composition de l'huile d'argan est bien documentée [6,7]. Elle se caractérise par des niveaux élevés d'acides linoléique et oléique, et elle est riche en polyphénols et en tocophérols [8]. De plus, la présence de composés mineurs tels que les stérols, les caroténoïdes, les xanthophylles et le squalène contribue à sa valeur nutritionnelle et à ses propriétés santé, ainsi qu'à ses caractéristiques diététiques et organoleptiques [9]. La composition de l'huile d'argan ne varie pas significativement selon la période de collecté des fruits [10]. Mais une investigation détaillée a clairement montré que l'huile extraite de fruits collectés en juillet (fruits complètement mûrs) diffère au niveau des composants lipidiques mineurs [10].

Comme la pulpe du fruit d'argan est appétissante pour le bétail et fournit une alimentation bon marché pour les chèvres et autres animaux de ferme, son impact agricole est important. L'analyse chimique de la pulpe de fruit d'argan a déjà montré la présence de lipides [11], de polyisoprène [12], de saponines [11] et de composés phénoliques [13]. Pioch et al. [12] ont commencé à mettre en place une chaîne de traitement visant à valoriser la pulpe, et ils ont souligné l'influence de la teneur en eau sur l'efficacité du dépulpage mécanique des fruits entiers fraîchement récoltés. Alors que ces fruits sont actuellement récoltés après avoir été laissés au sol pendant plusieurs semaines, il serait logique de les récolter à la date optimale pour assurer une conservation et un traitement appropriés, une qualité organoleptique et commerciale optimale [14]. Cela pourrait ne pas être pertinent dans le cas des fruits utilisés pour l'extraction de l'huile de noyau, mais

cela semble judicieux lorsqu'on vise à valoriser la pulpe en dehors de son utilisation actuelle comme alimentation animale.

Malheureusement, toutes ces études n'ont pas pris en compte la variabilité morphotypique et le stade de maturité du fruit d'argan. Par conséquent, l'objectif de cette recherche était de suivre les changements de composition phytochimique du fruit d'argan en analysant certains composés phytochimiques dans la pulpe, noyau et graine de deeux stations, afin de fournir des informations supplémentaires sur l'évolution de la contribution à la valeur nutritive du fourrage de chaque forme.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de fruits d'arganier (figure 1) de sept arbres différents, récolté au niveau de deux stations: Ait Melloul et Essaouira. Les principales caractéristiques de chaque site sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Les caractéristiques des stations de récolte.

Station	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Température annuelle moyenne (°C)	précipitation annuelle moyenne (mm)
Ait Melloul	24	30.351239	-9.476421	18,3	290,6
Essaouira	179	31.517978	-9.745009	17,8	251,1

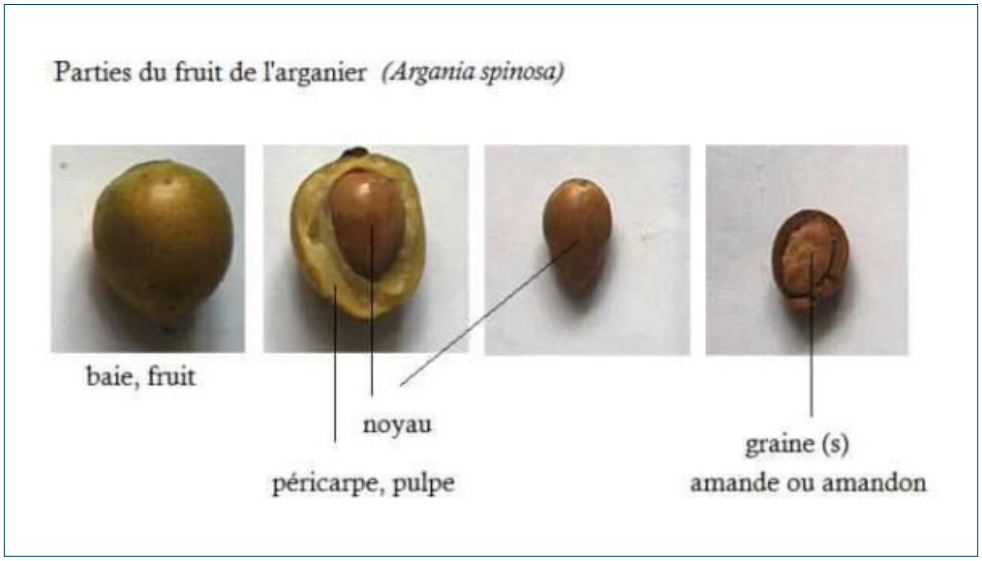


Figure 1. Les différentes parties du fruit de l'arganier (Argania spinosa)

2.2. Préparation des extraits

Dans cette première partie, nous avons choisi d'extraire la poudre végétale par macération simple en variant la polarité du solvant. Deux systèmes de solvants ont été choisis séparément : l'acétone et l'éthanol à 70%. Les extraits sont préparés en ajoutant 40 ml du solvant d'extraction à 1 g de poudre végétale. Après une agitation pendant 2 heures, le mélange est laissé au repos pendant 24 heures à température ambiante. Les différents extraits obtenus sont filtrés à l'aide d'un papier Wattman N°4, puis évaporés sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif et conservés à 4°C pour les analyses ultérieures.

2.3.Dosage des composés phénoliques

2.3.1. Dosage des phénols totaux

Une prise de 100 µl de chaque extrait dilué 5 fois est mélangée avec 7,9 ml d'eau distillée et 500 µl du réactif de Folin-Ciocalteu. Après une agitation vigoureuse du mélange suivie d'un repos de 3min, une prise

de 1,5 ml de CO3(Na)2 à 7,5 % est additionnée. Après un repos de 90 min à l'obscurité, la lecture de l'absorbance est effectuée à une longueur d'onde de 764 nm. La gamme étalon est préparée avec de l'acide gallique à des concentrations variant de 50 à 500 mg/l. Les teneurs en phénols sont exprimées en mg d'équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg/g MS).

2.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux

Une prise de 1 ml de chaque extrait dilué 5 fois a été additionnée de 1 ml de chlorure d'aluminium (AlCl3) 2% fraîchement préparé est laissé pendant 1h à une température ambiante. La lecture de l'absorbance a été faite à 415 nm. La gamme étalon est préparée avec de la catéchine à des concentrations croissantes allant de 50 à 250 µg/l. Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en mg d'équivalent catéchine par gramme de matière sèche (mg/g MS).

2.3.3. Dosage des tanins condensés

Une prise de 50 µl de chaque extrait dilué 5 fois a été additionnée de 1,5 ml de la solution de vanilline (4%), préalablement préparée dans du méthanol, 750 µl d'HCL (37%). Le mélange est bien agité, puis incubé pendant 20 min à température ambiante. L'absorbance est lue à 500 nm. La gamme étalon est préparée avec de la catéchine à des concentrations croissantes allant de 50 à 250 µg/l. Les teneurs en tanins condensés sont exprimées en mg d'équivalent catéchine par gramme de matière sèche (mg/g MS).

2.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées en exploitant un logiciel SPSS où le test de DUNCAN est utilisé au seuil de significativité de $p<0.05$.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Teneur en phénols totaux

L'étude de la variation de la teneur en phénols totaux dans les différentes parties du fruit des deux stations étudiées montre une variation remarquable mais non significative ($p < 0,05$) entre les stations, ainsi qu'entre les extraits acétonique et éthanolique (figure 2). En général, les teneurs en phénols dans la pulpe, le noyau et la graine semblent être plus élevées à Ait Melloul qu'à Essaouira, bien que cela puisse varier en fonction du solvant utilisé dans l'extraction. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées pour les graines, tandis que la pulpe et le noyau sont les parties les plus riches en phénols totaux.

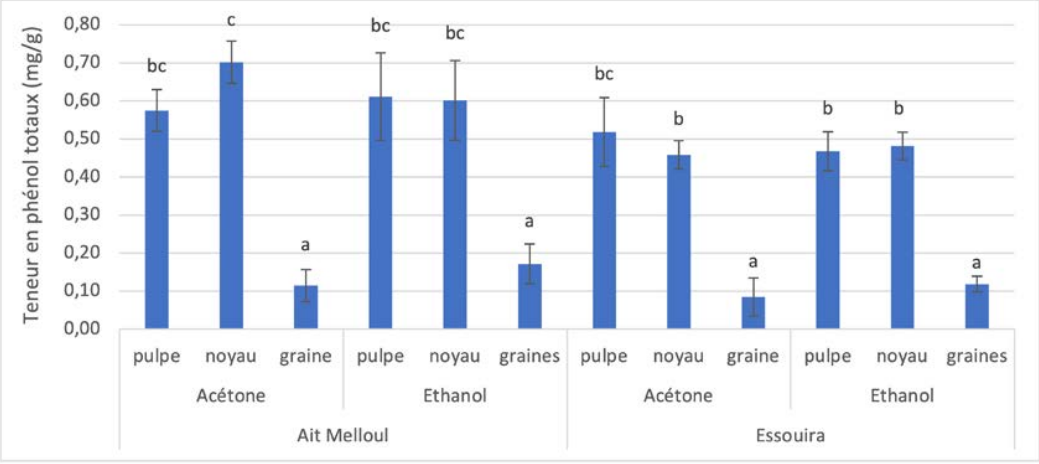


Figure 2 : Teneurs en Phénols totaux dans la pulpe, le noyau et la graine du fruit d'argan d'Ait Melloul et d'Essaouira

3.2. Teneur en flavonoïdes totaux

D'après les résultats de la figure 3, nous remarquons que la teneur en flavonoïdes dépend de la région géographique, de la partie du fruit et du solvants d'extraction. L'étude statistique montre que la station Ait Melloul est la plus riche en flavonoïdes totaux. Comparaison entre les parties du fruit, la graine semblent avoir les teneurs les plus faibles de flavonoïdes par rapport à la pulpe et au noyau.

En fonction du type de solvant d'extraction, les meilleures teneurs en flavonoïdes ont été obtenues par la macération à l'acétone.

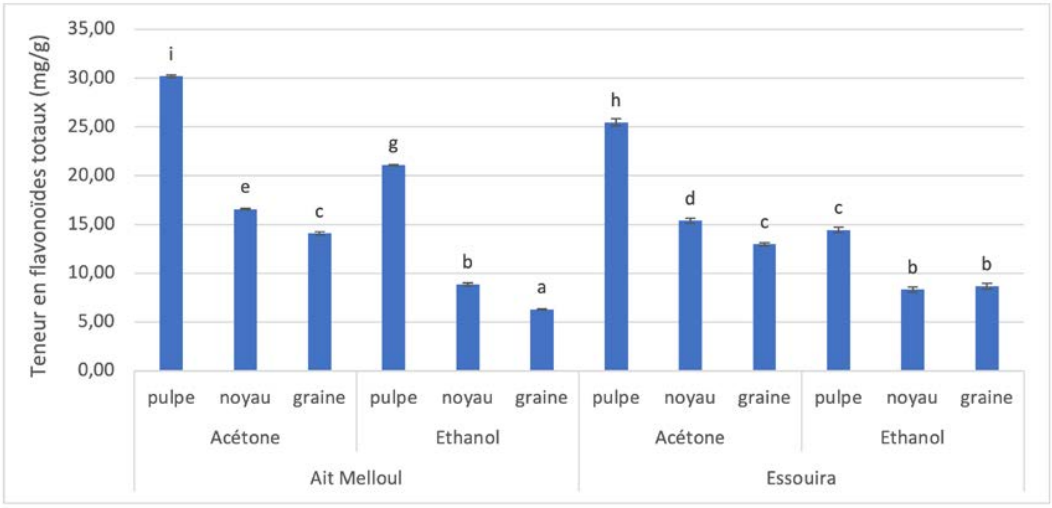


Figure 3 : Teneurs en Phénols totaux dans la pulpe, le noyau et la graine du fruit d'argan d'Ait Melloul et d'Essaouira

3.3. Teneur en tanins condensés

Les résultats obtenus à partir du dosage de la teneur en tanins condensé (Figure 4) montrent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les parties du fruit de deux station, ainsi qu'entre les extraits acétonique et éthanolique.

Les teneurs en tanins condensé semblent être plus élevées à Ait Melloul qu'à Essaouira, bien que cela puisse varier en fonction du solvant utilisé dans l'extraction. Par exemple, pour la pulpe extraite à l'acétone, Ait Melloul a une teneur en tanins de 2,56 mg/g MS par rapport à Essaouira qui a une teneur de 1,44 mg/g MS. En général, les graines semblent avoir les quantités les plus faibles de tanins par rapport à la pulpe et au noyau. Il semble y avoir des variations dans les teneurs en tanins condensé extraites avec de l'acétone par rapport à l'éthanol, mais la nature exacte de ces variations dépend des parties du fruit et de la station.

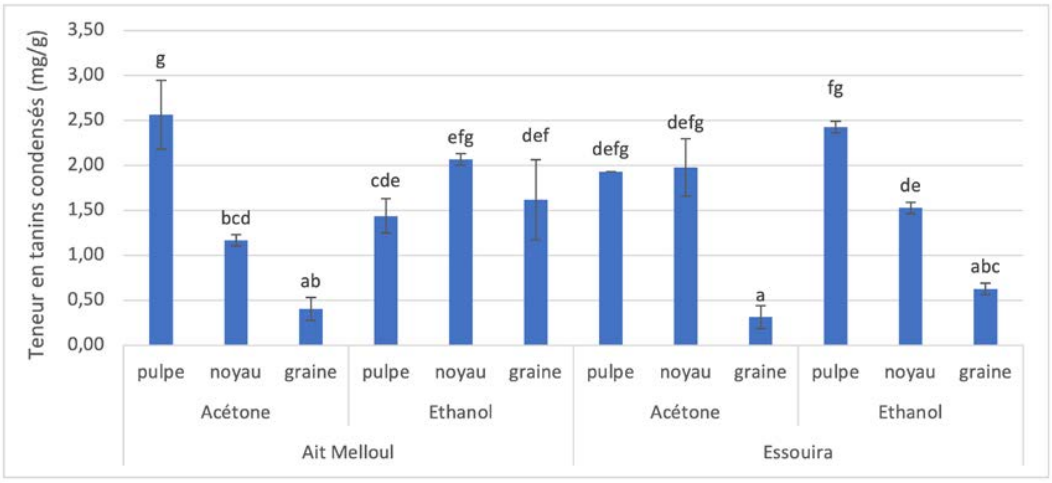


Figure 4 : Teneurs en tanins condensés dans la pulpe, le noyau et la graine du fruit d'argan d'Ait Melloul et d'Essaouira

4. DISCUSSION

Les fruits d'arganier des deux stations étudiées ont montré l'influence des conditions climatiques sur le processus biochimique de différentes parties du fruit (pulpe, noyau et graine). Ces résultats sont accordés avec celles de Denden et al, [15].

Les teneurs en phénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins condensés des extraits de différentes parties du fruit d'argan varient en fonction de la station et le solvant d'extraction, l'extrait de la pulpe sont les plus riche en composent biochimique suivent de celle du noyau et de la graine. Ces variations pourraient s'expliquer par la présence des anthocyanes pigment contribuant à la coloration des fruits. Des résultats similaires rapporté par Bodet et al. [16] ; Hendler et al. [17] ont observé ces mêmes variations en polyphénols avec une teneur importante dans la variété rouge, suivis de l'oignon jaune et en plus faibles quantités les oignons blancs. En effet, la principale caractéristique des anthocyanes est leur diversité de couleur allant du rouge au violet [18]. Les anthocyanes sont caractérisés aussi parleurs propriétés antioxydantes, favorables à la santé et permettent aux végétaux supérieurs de se protéger des ultraviolets. Les polyphénols sont plus présents dans les fruits pour lutter contre les insectes et l'invasion microbienne [19].

Le choix du solvant d'extraction est très important dans la détermination des teneurs des composés phénoliques. De ce fait, l'acétone/eau extrait mieux les flavonoïdes totaux et les phénols totaux devant éthanol/eau. Nos résultats concordent également avec l'étude menée par Ouedraogo et al. [20]. Selon Seidel [21], l'eau et le méthanol sont deux solvants polaires qui extraient particulièrement les flavonoïdes glycosylés. Tandis que les flavonoïdes aglycones sont extraits par les alcools ou les mélanges eau-alcool [7]. Les travaux menés par Spigno et al. [22], ont montré que le méthanol extrait efficacement les flavonoïdes et catéchols des matières végétales.

5. CONCLUSION

Cette étude a montré que les fruits d'Ait Melloul contiennent des quantités plus élevées de composés phénoliques. En général, les pulpes du fruit d'argan semblent avoir les quantités les plus élevées de composés phénoliques par rapport à la graine et au noyau, ce qui est cohérent avec ce que l'on sait généralement sur la distribution des composés phénoliques dans les plantes. L'acétone à 70% offre des extraits dont la teneur en composés phénoliques est la plus élevée.

RÉFÉRENCES

1. Bani-Aameur F, Ferradous A, Dupuis P. Typology of fruits and stones of Argania spinosa (sapotaceae) For Genet. 1999;6(4):213–219.

2 .Bani-Aameur F. Morphological diversity of argan (Argania spinosa (L.) Skeels) populations in Morocco. For Genet. 2004;11:311–316

3. Chernane H, Hafidi M, El Hadrami I, Ajana H. Evolution des paramètres biométriques et de la composition en acides gras de l'huile de quatre types de fruits d'Arganier (Argania spinosa L. Skeels) durant la maturation. Agrochimica. 2000;44:180–196.

4. Falconer DS. Introduction to quantitative genetics. 2. London and New York: Longman; 1981. p. 340

5. Maalah A (1992) Contribution à l'étude de la composition des huiles et des tourteaux des graines de quelques plantes marocaines. Thèse de 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 141.

6. Gharby S, Harhar H, Guillaume D et al. 2014. Oxidative stability of cosmetic argan oil: A one-year study. J Cosmet Sci 65(2): 81–87.

7. Zaanoun I, Gharby S, Bakass I, Ait addi E, Ait ichou I. 2014. Kinetic parameter determination of roasted and unroasted argan oil oxidation under Rancimat test conditions. Grasas Aceites 65(3):e033.

8. Cabrera-Vique C, Marfil R, Giménez R, Martínez-Augustin O. 2012. Bioactive compounds and nutritional significance of virgin argan oil – An edible oil with potential as a functional food. Nutri Rev 70: 266–279.

9. Harhar H, Gharby S, Kartah B, El Monfalouti H, Guillaume D, Charrouf Z. 2011. Influence of argan kernel roasting-time on virgin argan oil composition andoxidative stability. Plant Food Hum Nutr 66: 163–168.

10. Harhar H, Gharby S, Kartah B, Pioch D, Guillaume D, Charrouf Z. 2014. Effect of harvest

date of Argania spinosa fruits on argan oil quality. Ind Crop Prod 56: 156–159.

11. Charrouf Z, Guillaume D. Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of Argania spinosa (L.) Skeels. J Ethnopharmacol, 1990, 67: 7–14.

12. Pioch D, Buland F-N, Pingret D et al. 2011. Valorization of the pulp of Argania spinosa L. Processing and products – Towards an optimized valorization of the argan fruit. In: Proceedings of the First International Congress of Argan Tree, Agadir, 15–17 December 2011, pp. 215–222,

13.13. Chernane H, Hafidi A, Ajana H. Evolution of biometric parameters and fatty acid composition of oil of four argan tree fruit types (Argania spinosa Skeels) during ripening. Agrochimica, 2000, 44: 180–196.

14. Sowmya KJ, Gowda R, Balakrishna P, Gururaja Rao MR. 2012. Effect of fruit maturity stages on seed quality parameters in jatropha (jatropha curcas L). Indian J Plant Sci 1: 85–90.

15. Denden M, Ben Tina B, Hlaoua W. Caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques de tolérance à la sécheresse du pêcher, du poirier et du pommier. Cahiers Agricultures, 2008, vol. 17, n°5.

16. Bodet C, Chandad F, Grenier D. Anti-inflammatory activity of a high-molecular weight cranberry fraction on macrophages stimulated by lipopolysaccharides from periodonto-pathogens. J. Dent. Res.;2006, 85: 235–239

17. Hendler SS, Rorvik DR, Montvale NJ. PDR pour des suppléments alimentaires. Medical Economics Company 2001.

18. Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. Plant J.2008, 54: 733-749.

19. Li C, Viherä-Aarnio A, Puhakainen T, Junttila O, Heino P, Palva ET, (2003) Ecotypedependent control of growth, dormancy and freezing tolerance under seasonal changes in Betula pendula Roth. Trees 17: 127-132.

20. Ouedraogo, Jabbar Y, Araneda L, Zeinalabidini M, Hafidi A, Martínez-Gómez P. Karyotype characterization of Argania spinosa (L.) Skeels (Sapotaceae) S Afr J Bot. 2007;73:661–663.

21. Seidel A, Petit RJ. High level of genetic differentiation for allelic richness among population of argan tree (Argania spinosa (L.) Skeels) endemic to Morocco. Theor Appl Genet. 1996;92:832–839

22.Spigno S. Introduction to quantitative genetics. 2. London and New York: Longman; 1981. p. 340.

Authentification of argan oil using rapid low-cost screening techniques Headspace Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (HS-GC-IMS)

F.Taous [*1], T. Elghali[1], K. Laraki[1], I. Marvil[2], S. Kelly[2].

[1] *Centre National de l'Energie des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN) Rabat, Morocco*

[2] *Food and Environmental Protection Laboratory, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Appli-cations in Food and Agriculture, Department of Nuclear Sciences and Applications, International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria*

** Centre National de l'Energie des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN), B. P. 1382 R.P 10001- Rabat, Morocco.*

E-mail address: taous@cnesten.org.ma

Keywords
Gas Chromatograph – Ion Mobility Spectrometer (HS-GC-IMS), Chemometric models, Discriminant analysis, Argan adulteration, principal component analysis

ABSTRACT

In recent years adulteration of argan oil, driven by its high value, has become an important issue in the industry, necessitating rapid and cost-effective fraud detection methods. In contrast to many current food fraud detection methods, Headspace Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (HS-GC-IMS) offers a promising solution by minimizing sample preparation and measurement times. Here, we introduce the first application of HS-GC-IMS combined with chemometric analysis (PCA, PLSR, and PCR) for both qualitative and quantitative analysis of sunflower oil adulteration in argan oil samples. The results demonstrate the efficacy of this approach in providing accurate, efficient, and low-cost automated screening, addressing the need for improved quality control measures in the argan oil in commercial products.

Mots clés
Chromatographie en phase gazeuse – Spectromètre de mobilité ionique (HS-GC-IMS), Modèles chimiométriques, Analyse discriminante, Adultération de l'argan, Analyse en composantes principales.

RÉSUMÉ

Authentification de l'huile d'argane à l'aide de techniques de dépistage rapides et peu coûteuses: Chromatographie en phase gazeuse en tête-Ion Mobility Spectrometry (HS-GC-IMS

Ces dernières années, l'adultération de l'huile d'argan, en raison de sa forte valeur, est devenue un problème important dans l'industrie, nécessitant des méthodes de détection de fraude rapides et rentables. Contrairement à de nombreuses méthodes actuelles de détection de fraude alimentaire, la Chromatographie en Phase Gazeuse en Tête-Spectrométrie de Mobilité Ionique (HS-GC-IMS) offre une solution prometteuse en minimisant les temps de préparation des échantillons et de mesure. Dans cette étude, nous présentons la première application de la HS-GC-IMS combinée à l'analyse chimiométrique (PCA, PLSR et PCR) pour l'analyse qualitative et quantitative de l'adultération de l'huile de tournesol dans des échantillons d'huile d'argan. Les résultats démontrent l'efficacité de cette approche pour fournir un dépistage automatisé précis, efficace et peu coûteux, répondant à la nécessité d'améliorer les mesures de contrôle de la qualité des produits commerciaux à base d'huile d'argan.

1. INTRODUCTION

In recent years, Argan oil (AO) has become one of the most prized oils in the world due to its delicate hazelnut taste and multiple pharmacological properties. In addition to mono-unsaturated and saturated fatty acids, argan oil also contains diverse minor components such as polyphenols, tocopherols, sterols (schottenol and spinasterol) [1], squalene, and triterpene alcohols. The high content of antioxidants along with essential fatty acids [2] are primarily responsible for its beneficial effects [3]. Due to its extensive use in the food and cosmetic industries, both the production and price of argan oil have increased and consequently so have the economic incentives for adulteration with cheaper oils. The need has arisen, therefore, for more effective quality control screening methods aimed at detecting adulteration of Argan oil (AO).

The oil most frequently used to extend argan oil is sunflower oil because of its relatively similar fatty acid composition. Various techniques such as high-performance liquid chromatography (HPLC), gas chromatography, inductively coupled optical emission spectrometry, and fluorescence spectroscopy [4] have been applied to detect adulteration of argan oil [5- 6- 7- 8- 9] ... However, rapid and relatively low-cost screening techniques are attractive to control the quality and authenticity of vegetable oils such as argan oil. The feasibility of a rapid, simple method using Fourier-transform infrared spectroscopy with attenuated total internal reflectance (FTIR-ATR) to screen argan oil for adulterants was previously demonstrated in Taous et all 2022 [10]. However, one of the restrictions of FTIR is that it does not lend itself to automated batch analysis, which can significantly li-mit its application. As a result, there is still a requirement to develop an accurate, efficient and low-cost automated analytical screening method. In this study we applied HS-GC-IMS for the first time in combination with chemometric mode-ling as a reliable and rapid au-tomated screening tool to detect the adulteration of Moroccan Argan oil with sunflower oil. The system used for headspace analysis was a FlavourSpec GC-Ion Mobility Spectrometer (G.A.S. GmbH, Dortmund, Germany), which uses a tritide ionization source. Data Processing and Modeling using the Principal component analysis (PCA) showed well separated clusters, successful differentiation and separation among pure argan samples and adulterated with sunflower. The data was further processed by partial least square regression (PLS), showing similar discrimination.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. instrumentation: HS-GC-IMS

In Morocco, there is a strong demand for reliable and rapid analytical techniques to tackle the problem of adulteration of Argan oil and food security. Head space-gas chromatog-raphy-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) is a technique used for rapidly screening volatile organic components in food. equiped with Automatic static headspace sampling of liquids and solids (no sample pre-treatment necessary) automated sample handling, In addition Only N2 and power supply needed for Measurement of flavour.

inducing traces, does not require lab environment, can work at-line. Head space-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) is a powerful analytical technique that combines the separation capabilities of gas chromatography (GC) with the detection capabilities of ion mobility spectrometry (IMS). It is commonly used for the analysis of volatile and semi-volatile compounds in complex samples.

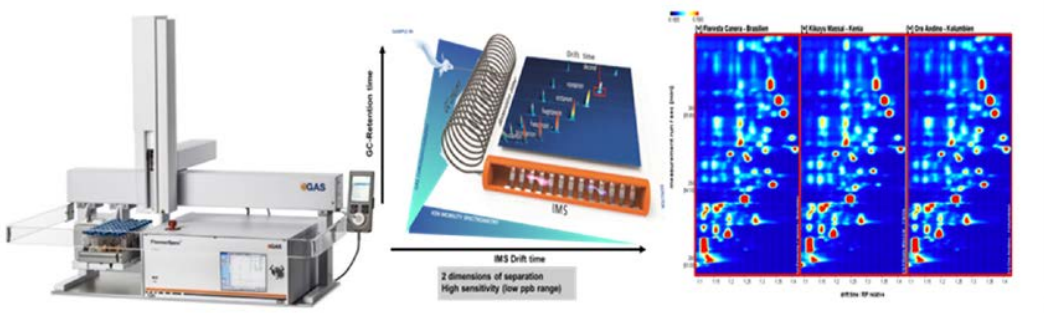


Figure 1. Flavour Spec Headspace GC-Ion Mobility Spectrometer (HS-GC-IMS) Complex fingerprint Nicely separated signals

HS-GC-IMS provides a comprehensive analysis of volatile compounds in oil samples, enabling the identification of both known and unknown compounds. Its high sensitivity and ability to separate complex mixtures make it a valuable tool for quality control, au-thenticity verification, and adulteration detection in the oil industry.

2.2. Sample collection & Analysis

For this study, samples of authentic Argan oil (AO) samples were collected directly by visiting producers, cooperatives and industries, 6 to 10 samples will be collected in the different ARGAN geographical regions where Argan tree grows (fig.2), AO extracted following traditional procedures of co-operatives known and certifies IGP (Protected Geographical Indication) in the field of oil extraction. These co-operatives referenced to the AMIGHA (Marocaine Association of (AO) Geographic Indication, Ait-Baha, Agadir, Es-saouira, Tiznit and Taroudant. Adulterant sunflower oil (SF) is purshed from the market. Simulation of fraudulent adulteration was performed through fortification of a pooled sample of the AO with 5%, 10%, 20% and 30% sunflower oil (SF).



Figure 2: The argan tree gives a fruit (affiache) , after removing the pulp of the latter, we obtain the nut (akka) which contains the kernels (tiznine) which will be crushed to extract the AO

The new IAEA method development based on the screening of all samples of authentic Argan oil and potential adulterants consisting of edible oils such as sunflower (SF) using HS-GC-IMS equiped with Automatic static headspace sampling for rapidly screening vo-latile organic components in food. Sample vials in a stainless tray (maximum: 60 samples) according to the list of samples written in the Sample Names text file or from the sequence of samples (using the Sequence programmer). A mixture of 6 cetones into a HS bottle is Injected at the beginning, middle and/or end of the run was used for quality con-trol to check the performance of the equipment during the analytical run. The de-termina-tion of the headspace volatiles was performed using 6 replicates for each sample. The spectra were processed through an integrated software. Volatile organic compounds (VOC) were carefully selected through their respective 2-dimensional retention versus drift-time or 'heat maps' (Fig. 3).

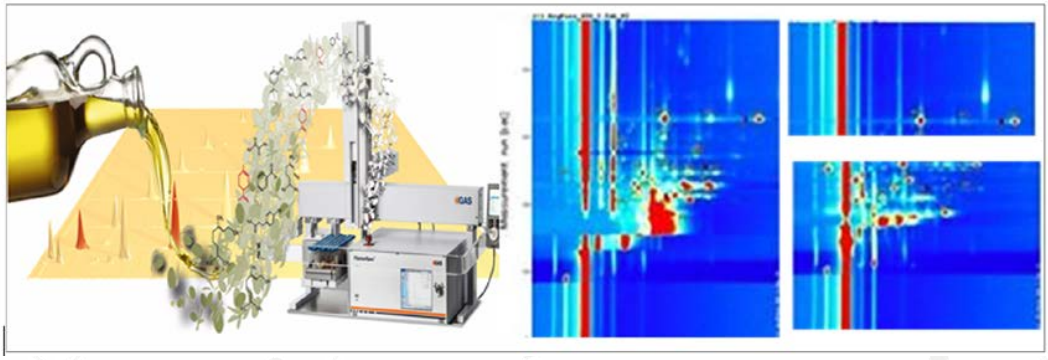


Figure.3. Fingerprint Nicely separated signals

3. RESULTS

The integrated vocal software (VOCal 0.1.0; Firmware version 3.11) was utilized to process the resulting data from the injected samples. Volatile organic compounds (VOCs) from each sample's 'heat map' (Fig. 26) were carefully selected, and the PCA plug-in was em-ployed to generate the gallery map. Peak intensity data for PCA were extracted from the gallery file and saved as an Excel file.

Data Processing and Modeling using Principal Component Analysis (PCA) revealed well-separated clusters, successful differentiation, and separation among pure argan samples and those adulterated with sunflower oil. The PCA plot in Fig. 4 demonstrates that the argan oil samples adulterated with varying concentrations of sunflower oil were distin-guishable from authentic argan oil.

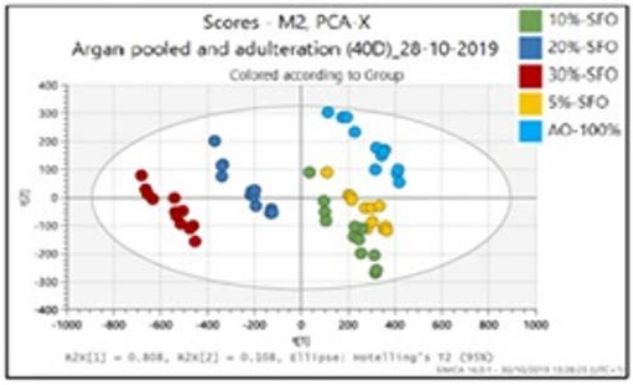


Figure. 4. PCA-X scores of pure Argan oil and adulterated with sunflower oil

The data underwent further processing through Partial Least Squares Regression (PLS), showing similar discrimination. A regression plot (Fig. 5) illustrates the observed versus predicted values of the level of adulteration, yielding a predicted fraction (with 2 principal components) of 0.99, indicating excellent predictive power. The average prediction error was lower than 20% at 5% adulteration, decreasing to 4% error at 30% adulteration.

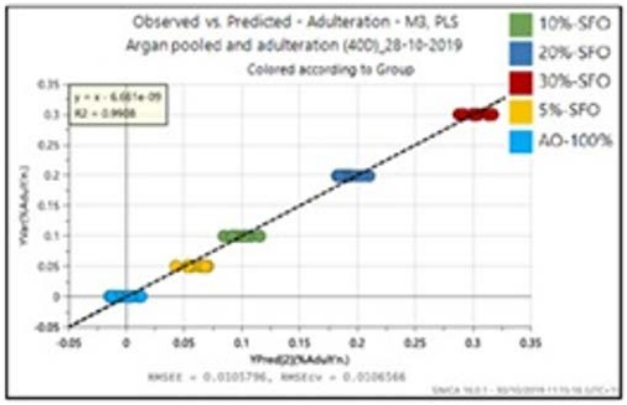


Fig.5.PCA-X scores of pure Argan oil and adulterated with sunflower oil

Using HS-GC-IMS, the AO samples adulterated with sunflower oil at different con-centrations were distinguishable from the authentic argan oil, and the combination of benchtop HS-GC-IMS with chemometric modeling offers a reliable and rapid auto-mated screening tool to detect adulterants in food.

5. CONCLUSIONS

In conclusion, these preliminary results suggest that the method may be suitable as a rapid screening method to detect the adulteration of AO with sunflower oil. The statistical model could clearly distinguish the groups at adulteration levels between 5 and 30% and could predict, with a low prediction error, the presence of adulterant at 10% w/w. The combination of a benchtop headspace HS-GC-IMS device with chemometric modelling offers great promise as a reliable and rapid automated screening tool to detect adulterants in food.

Acknowledgments : The authors gratefully acknowledge the support of the IAEA Food and Environmental Protection Laboratory, Joint FAO/ IAEA Division of Nuclear Applications in Food and Agriculture, Department of Nuclear Sciences and Applications ; this research was funded by IAEA Agency. We also thanks the Women Cooperative from Ait-Baha, Agadir, Essaouira, Tiznit and Taroudant for providing authentic Argan oils sam-ples. We thank Mr Abdewahed and Mr Hassan ALLALI, from AMIGHA (Marcaine Indication Geographies Association) for their support in cooperative and geological information.

REFERENCES

[1] De Waroux, Y.P. The Social and Environmental Context of Argan Oil Production. Nat. Prod. Commun. 2013, 8, 1-

Doi:10.1177/1934578X1300800101.

[2] Gharby, S.; Harhar, H.; El Monfalouti, H.; Kartah, B.; Maata, N.; Guillaume, D.; Charrouf, Z. Chemical and oxidative proper-ties

of olive and argan oils sold on the Moroccan market. A comparative study. Med. J. Nutrition Metab. 2012, 5, 31–38. [CrossRef]

[3] Gonzalvez, A., Armenta, S., de la Guardia, M. Adulteration detection of argan oil by inductively coupled plasma optical emis

sion spectrometry. Food Chem 2010, 121, 878-886

[4] Cherki, M., Berrougui, H., Drissi, A., Adlouni, A., Khalil. A. Argan oil: which benefits on cardiovascular diseases. Pharmacol

Res. 2006, 54(1), 1-5. Doi:10.1016/j.phrs.2006.02.004

[5] Addou. S, Fethi. F, Chikri M, Rrhioua A. Detection of argan oil adulteration with olive oil using fluorescence spectroscopy

and chemometrics tools. J. Mater. Environ. Sci. 7 (8) (2016) 2689-2698

[6]Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2018). The argan oil project: going from utopia to reality in 20 years. OCL, 25(2), D209.

[7]Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2009). Sustainable development in Northern Africa: The argan forest case. Sustainability, 1(4),

1012-1022.

[8]Charrouf Z et Guillaume D, 2007. L'huile d'argan une production devenue adulte. Les technologies de laboratoire N° 06, sep

tembre-octobre. Pp. 4-7

[9] Maata. Nadia, Badr Kartah, Hicham HARHAR, Said GHARBY, El maatiBenazzouz, Dominique GUILLAUME, et Zoubida

CHARROUF. Détection de l'adulteration de l'huile d'argane par des huiles végétales vierges et raffinées. Premier Congrès Interna

tional sur l'Arganier, 15-17 Décembre (2011) à Agadir.

[10] F. Taous, T. El Ghali, H. Marah, K. Laraki, M. Islam, A. Cannavan, S. Kelly. Geographical classification of authentic Moroc-can

argan oils and rapid detection of soya and sunflower oil adulteration with ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics. July 2022

Food Analytical Methods 15(11):1-13. DOI:10.1007/s12161-022-02333-z.

Analyse de la composition chimique des noix d'argan issues de différentes zones de Sous Massa à l'aide des techniques nucléaires : implication sur la qualité de l'huile d'argane

Abdelwahab Badague [1,2], Hamid Bounouira [1], Elmahjoub Chakir [2],Abdessamad Didi [1] ,Hamid Amsil [1], Ilias Aarab[2] .

[1] *CNESTEN : Centre Nationale de l'Energie des Sciences et Techniques Nucléaires.*

2 Faculté des sciences Ibn Tofail Kénitra

**Abdelwahab.badague@uit.ac.ma, taous@cnesten.org.ma*

Mots clés
Activation neutronique, Spectrométrie gamma, ICP-MS, L'analyse isotopique

RÉSUMÉ

L'arganier, arbre emblématique du Maroc, est précieux pour son rôle écologique et ses produits dérivés comme l'huile d'argan. Comprendre ses besoins nutritionnels et environnementaux est crucial pour sa valorisation économique et sa conservation. Les techniques nucléaires telles que l'activation neutronique, la spectrométrie gamma, ICPMS et l'analyse des isotopiques sont des outils puissants pour étudier l'arganier et son environnement. Les résultats de ces analyses ont des applications variées, de l'optimisation de la fertilisation à la gestion environnementale. L'objectif principal de cette recherche est de déterminer la composition élémentaire de l'arganier, évaluer la qualité du sol, détecter la pollution, et optimiser la production d'huile d'argan. La méthodologie inclut l'échantillonnage, la préparation des échantillons, les analyses par techniques nucléaires, la collecte et l'analyse des données, et l'interprétation des résultats. En combinant l'expertise en techniques nucléaires avec la connaissance traditionnelle de l'arganier, cette étude ouvre de nouvelles voies pour sa préservation et sa valorisation durable.

Keywords
Neutron activation; Gamma spectrometry, ICP-MS, Isotopic analysis.

ABSTRACT

Analysis of the Chemical Composition of Argan Nuts from Different Regions of Sous Massa Using Nuclear Techniques: Implications on the Quality of Argan Oil

The argan tree, an emblematic species of Morocco, is valuable for its ecological role and its derived products, such as argan oil. Understanding its nutritional and environmental needs is crucial for its economic valorization and conservation. Nuclear techniques such as neutron activation, gamma spectrometry, ICP-MS, and isotopic analysis are powerful tools for studying the argan tree and its environment. The results of these analyses have varied applications, from optimizing fertilization to environmental management. The main objective of this research is to determine the elemental composition of the argan tree, assess soil quality, detect pollution, and optimize argan oil production. The methodology includes sampling, sample preparation, analyses using nuclear techniques, data collection and analysis, and result interpretation. By combining expertise in nuclear techniques with traditional knowledge of the argan tree, this study opens new avenues for its preservation and sustainable valorization.

1. INTRODUCTION

L'arganier (*Argania spinosa* L.) est un arbre emblématique du Maroc, s'épanouissant principalement dans les régions semi-arides et arides du pays Fig 1[2]. Cet arbre revêt une importance capitale, tant pour son rôle écologique que pour les précieux dérivés qu'il offre, notamment l'huile d'argan et les produits cosmétiques [2 ,3,6]. Afin de maximiser son potentiel économique et de préserver ce joyau écologique, une compréhension approfondie de ses besoins nutritionnels, de son environnement et des défis qui le guettent s'avère essentielle.

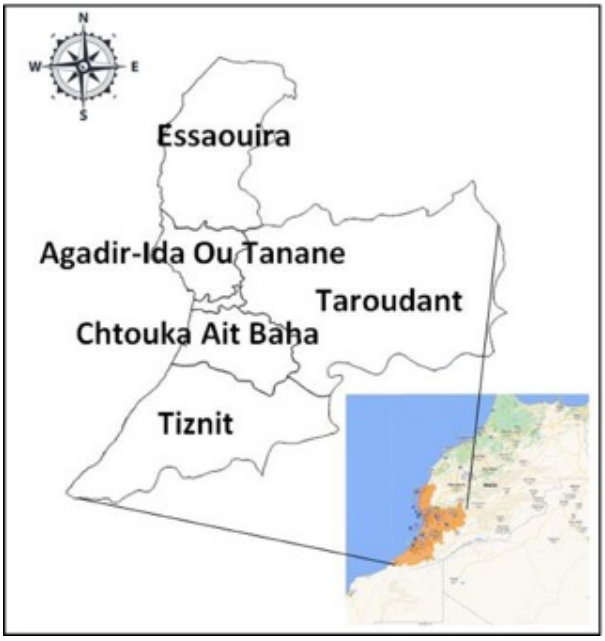


Figure 1 : Région d'échantillonnage Souss Massa

Dans cette optique, les techniques nucléaires telles que l'activation neutronique [1 ,4 ,5,8], la spectrométrie gamma, l'ICPMS [5] et la spectrométrie de masse [2-3] se révèlent être des outils d'analyse puissants pour étudier l'arganier et ses interactions avec son milieu [4-7]. Ces méthodes permettent une analyse précise de la composition élémentaire et chimique des sols, des eaux, de l'huile et des tissus végétaux, offrant ainsi un éclairage indispensable pour une valorisation durable de cette ressource.

Les résultats de ces analyses trouvent des applications diverses dans la valorisation de l'arganier, notamment : Optimisation de la Fertilisation : En comprenant les besoins nutritionnels de l'arganier, des pratiques de fertilisation spécifiques peuvent être recommandées pour favoriser la croissance des arbres, influençant ainsi la qualité de l'huile d'argan, Gestion Environnementale : L'identification des éléments présents dans le sol est cruciale pour la protection de l'environnement et la préservation des arganiers et recherche Agricole : Les résultats contribuent à la recherche agricole visant à améliorer la production d'arganiers.

En combinant l'expertise en techniques nucléaires avec la connaissance traditionnelle précieuse sur l'arganier, de nouvelles perspectives s'ouvrent pour préserver cet arbre unique et favoriser la prospérité des communautés qui en dépendent, tout en respectant les principes de durabilité environnementale.

Les objectifs principaux de cette recherche incluent :

- Détermination de la Composition Élémentaire : Établir un profil élémentaire précis des différentes parties de l'arganier (feuilles, fruits, graines, écorce, etc.).

- Évaluation de la Qualité du Sol : Utilisation de techniques nucléaires pour évaluer la composition chimique du sol dans les zones de culture de l'arganier, permettant de comprendre les facteurs influençant la croissance des arbres.

- Détection de la Pollution et des Contaminants : Utilisation de techniques nucléaires pour détecter la présence de contaminants dans le sol ou les produits de l'arganier.

- Origine Géographique de l'Arganier : Utilisation d'isotopes stables pour déterminer l'origine géographique des arganiers et des produits dérivés, favorisant ainsi la traçabilité et la lutte contre la contrefaçon.

- Optimisation de la Production d'Huile d'Argan : Évaluation de la composition chimique des graines d'arganier pour déterminer les conditions de croissance optimales et produire une huile de haute qualité.

- Évaluation de la Qualité de l'Huile d'Argan : Analyse de la composition en éléments de l'huile d'argan pour évaluer sa qualité, notamment en détectant la présence d'éléments indésirables.

- Étude de la Nutrition des Arbres : Analyse des éléments nutritifs essentiels présents dans les

feuilles et les racines de l'arganier pour comprendre ses besoins nutritionnels et améliorer sa croissance

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

La méthodologie de cette étude qui vise utiliser des techniques nucléaires pour la valorisation de l'arganier comprend plusieurs étapes essentielles, de l'échantillonnage à l'interprétation des résultats.

2.1. Échantillonnage :

Identification des Sites de Collecte représentent différents environnements d'arganier et établir un plan d'échantillonnage précis qui détermine le nombre et la répartition des échantillons à collecter

Dans cette recherche nous avons choisi les régions d'Essaouira, Agadir, Taroudant, Chtouka Ait Baha et Tiznit pour la collecte de nos échantillons fig 1[2]. Aussi nous avons défini cinq points de collecte d'échantillons dans chaque région, la condition principale était que chaque point devait être situé à une distance minimale de 5 kilomètres l'un de l'autre. À chaque point de collecte, nous avons prélevé des échantillons de noix d'argan, des feuilles d'arganier, ainsi que du sol à proximité de l'arbre, d'une profondeur minimale de 10 centimètres.

2.2. Préparation des Échantillons :

Après la collection de nos échantillons, ils ont été stocker dans les laboratoires de préparations pour les analyser dans différents techniques. Pour la préparation on a procéder aux étapes suivantes de cette opération qui inclut :

• **Séchage :** On sèche soigneusement les échantillons végétaux et de sol pour éliminer toute humidité qui pourrait affecter les mesures nucléaires.

• **Extraction d'huile :** L'extraction de l'huile de noix d'argan est réalisée à l'aide d'un appareil spécifique conçu à cet effet. Cet appareil utilise généralement une méthode de pressage ou d'extraction à froid pour obtenir l'huile à partir des noix d'argan. Les noix sont d'abord concassées pour obtenir les amandes, qui sont ensuite pressées pour extraire l'huile. Cette méthode permet de préserver les qualités nutritionnelles et les propriétés bénéfiques de l'huile d'argan.

• **Broyage et Homogénéisation :** On réduise les échantillons végétaux en poudre fine à l'aide d'un broyeur afin d'obtenir une homogénéité dans les échantillons pour des mesures cohérentes.

• **Conditionnement des Échantillons :** On Conditionne les échantillons dans des contenants appropriés, étiquetés de manière unique et hermétiquement scellés pour éviter toute contamination.

3. Analyses par des Techniques Nucléaires :

3.1. La spectrométrie gamma :

Est une technique d'analyse qui utilise la détection des rayonnements gamma émis par des isotopes radioactifs pour identifier et quantifier les éléments présents dans un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour analyser la composition du sol autour des arganiers. Cela peut aider les agriculteurs à déterminer la qualité du sol et à ajuster les pratiques agricoles en conséquence. Par exemple, elle peut être utilisée pour mesurer la concentration en éléments tels que le potassium, le phosphore et le calcium, qui sont essentiels à la croissance de l'arganier. Ainsi peut être utilisée pour marquer les produits dérivés de l'arganier avec un traceur radioactif, ce qui permet de suivre leur provenance et d'assurer leur authenticité sur le marché Fig 2.b.

3.2. L'analyse par activation neutronique :

Est une technique puissante pour déterminer la composition élémentaire des échantillons en utilisant des réactions nucléaires provoquées par des neutrons [8-9]. Dans le contexte de la valorisation de l'arganier. L'objectif principal de l'analyse par activation neutronique dans le cadre de la valorisation de l'arganier pourrait être de caractériser la composition en éléments chimiques des différentes parties de l'arganier (feuilles, fruits, graines, écorce, racines, etc.) ainsi que du sol environnant. Cela pourrait permettre de mieux comprendre les besoins nutritionnels de l'arganier et les propriétés du sol qui favorisent sa croissance.

3 .3 L'ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry):

Ou spectrométrie de masse à plasma couplé par induction, est une technique analytique puissante utilisée pour déterminer la composition élémentaire des échantillons. Dans le contexte de la valorisation de l'arganier, l'ICP-MS [5] peut être un Qualité de l'Huile d'Argan outil précieux pour caractériser la composition en éléments chimiques des différentes

parties de l'arganier et du sol environnant Fig2. a.

3.4. Spectrométrie de Masse :

Cette technique permet d'analyser la composition élémentaire des échantillons en mesurant les ions générés à partir des échantillons. Elle peut être utilisée pour détecter des éléments en traces et des métaux lourds.

3.5. Isotopes Stables :

L'analyse des isotopes stables, tels que l'oxygène-18 (18O) et le carbone-13 (13C), peut être utilisée pour étudier la composition isotopique des échantillons d'arganier[3]. Cela peut être utile pour déterminer l'origine géographique des arbres et des produits dérivés.

D'autres techniques nucléaires comme HPLC, XRF… Peuvent être utilisées pour élargir cette étude. Ces techniques permettent d'analyser la composition chimique des échantillons d'arganier, de comprendre son environnement et de contribuer à sa valorisation.

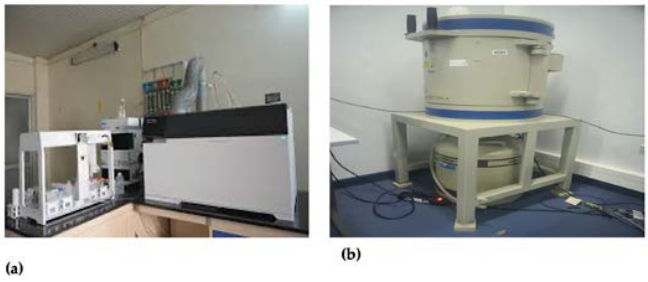


Figure 2. Spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif (a) et Spectrométrie gamma (b)

3. RÉSULTATS

Les résultats actuels des différentes techniques jouent un rôle crucial dans la valorisation et l'utilisation des produits de l'arganier, visant à améliorer les performances. Nous sommes actuellement dans la première phase, qui consiste à préparer les échantillons. Ensuite, la deuxième étape consistera à analyser ces échantillons. Pour ce faire, nous utiliserons la spectrométrie gamma pour étudier le sol, l'activation neutronique pour les noix et les feuilles d'argan, ainsi que la spectrométrie de masse avec plasma induit par ICP (ICP-MS) et les isotopes stables pour l'huile d'argan.

5. CONCLUSIONS

Cette étude de valorisation de l'arganier à l'aide de l'utilisation des techniques nucléaires est une démarche scientifique complexe et rigoureuse qui offre d'importantes perspectives pour la compréhension et la préservation de cet arbre emblématique du Maroc. Elle combine la rigueur scientifique des techniques nucléaires avec une approche multidisciplinaire pour explorer les multiples facettes de l'arganier, de sa composition chimique à son environnement, en passant par sa croissance et ses implications pour la valorisation durable. En mettant en œuvre cette méthodologie avec soin et précision, il est possible de contribuer de manière significative à la préservation et à la valorisation de cet arbre précieux et de son écosystème unique.

Remerciements : Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les membres de l'équipe de l'activation neutronique ainsi que toute l'équipe de la division exploitation des laboratoires au CNESTEN. Leur dévouement, leur expertise et leur soutien ont été essentiels dans le cadre de mes recherches. De même, je suis reconnaissant envers mon encadrant de thèse à l'Université des Sciences Chakir E ainsi que le Dr. Hamid Bounouira, responsable du laboratoire d'activation neutronique au CNESTEN. Leur guidance, leurs conseils éclairés et leur disponibilité ont grandement enrichi mon parcours académique et professionnel. Sans leur collaboration et leur encouragement, cette expérience n'aurait pas été aussi enrichissante. Merci infiniment pour votre précieuse contribution à mon travail et à mon développement en tant que chercheur. :.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.Ilias Aarab, Bounouira H, Chakir, E, Amsil H, Didi A .Utilization of k 0-standardisation method of neutron activation analysis for determining the major and trace elements of medicinal plants from the Senhaja Srair region of Morocco. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2023 ,332(8), pp 3431-3443.

2.Taous F.El Ghali T.Marah H.Laraki K.Islam M.Cannavan A.Kelly S.See fewer. Geographical Classification of Authentic Moroccan Argan Oils and the Rapid Detection of Soya and Sunflower Oil Adulteration with ATR-FTIR Spectroscopy and

Chemometrics.Journal of Food Analytical Methods (2022).10.1007/s12161-022-02333-z.

3.Taous F.Amenzou N.Marah H.Maia R.Maguas C.Bahmad L.Kelly S.See fewer. Stable isotope ratio analysis as a new tool to trace the geographical origin of Argan oils in Morocco. Journal of Forensic Chemistry (2020) .10.1016/j.forc.2019.100198.

4.Ahmed M.E., Bounouira H., Abbo M.A., Amsil H., Didi A., Aarab I. See fewer. Utilizing the k0 -IAEA program to determine rare earth elements in soil samples from gold-mining areas in Sudan. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2023),10.1007/s10967-023-08886-5.

5.Aarab, I., Chakir, E.M., Maazouzi, Y., Bounouira, H. Didi A., Amsil, H., Badague, A., Major and trace elements Content in Cannabis Sativa–L cultivated in North of Morocco and Heavy metals health risk assessment, E3S Web of Conferences., 2023, 469, 00027

6.Ajerrar A, Zaafrani M, Qessaoui R, Ait Aabd N, Bahadou H, Lahmyed H, Furze J N, Chebli B, Mayad H, Bouharroud.R .Terrestrial arthropods diversity in the Argan Biosphere Reserve: Seasonal dynamics and ecological function roles. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences (2023) .10.1016/j.jssas.2022.05.003

7.El kourdi S, Chaabane A, Abderafi S, Ammar Abbassi S. Valorizing argan residues into biofuels and chemicals through slow pyrolysis. Journal of Results in Engineering, 2024, p. 101659

8. H. Bounouira, K. Embarch , H. Amsil , M. Bounakhla , S. Foudeil , S. Ait lyazidi , F. Benyaich , M. Haddad , F. Said Study of heavy metal assessment in the Gharb plain along Sebou river (Morocco) using k0-NAA method at the Moroccan Triga Mark II research reactor. Journal of Annals of Agrarian Science (2018). Volume 16, Issue 4, December 2018, Pages 376-388

9.Didi, A.; Aarab, I.; Bounouira, H.; Amsil, H.; Badague, A.; Laraki, K.; Marah, H.; Dekhissi, H. Quality Assurance in Neutron Activation Analysis: Simulation and a Continuous Improvement Approach. Preprints 2023, 2023020313.

Valorization of Argan Tree Products: Health, Nutrition, Chemistry, and Technologies

Hajar Khabouche[1*], Jamal Mabrouki [2], Miloudia SLAOUI [1].

[1]*Energy, Materials and Sustainable Development (EMDD) Laboratory—Higher School of Technology - SALE, Center of Water, Natural Resources, Environment and Sustainable Development (CERN2D), University Mohammed V in RABAT, Rabat 10100, Morocco*

[2] *Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERNE2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, Morocco*

** hajarkhabouche@gmail.com ;*

Keywords
Argan tree, Argan oil, Health, antioxidant properties, anti-inflammatory properties, nutrition, vitamin E, Chemistry, Technologies

ABSTRACT

The argan tree, or *Argania spinosa*, is an endemic tree to Morocco. It can live from 150 to 200 years. It is highly resistant to drought and heat. It plays an irreplaceable role in ecological balance and biodiversity preservation. It provides a wealth of benefits for health and nutrition while also demonstrating significant interest in the fields of chemistry and technologies, with promising prospects on both economic and scientific fronts. From a health perspective, products derived from the argan tree, such as argan oil, are recognized for their antioxidant, moisturizing, anti-inflammatory, hypolipidemic, protective, nourishing, and regenerative properties. These properties make them valuable allies in the fight against cardiovascular diseases, skin aging, and certain skin conditions. They also stimulate the immune system and prevent menopause-related disorders. Argan oil is also valued for its nutritional content as it is rich in unsaturated fatty acids, vitamin E, and other bioactive compounds. These components contribute to a balanced diet and may play a role in preventing various diseases. From a chemical standpoint, the argan tree is particularly interesting due to its unique composition of fatty acids, sterols, and other organic compounds. These substances are utilized in the synthesis of pharmaceuticals, cosmetics, and food products. Technological advancements have enabled the optimization of the utilization of argan tree products from production to processing. Innovative techniques are being developed to efficiently extract and purify active principles while preserving their integrity and quality.

Mots clés
Arganier, huile d'argan, santé, propriétés antioxydantes, propriétés anti-inflammatoires, nutrition, vitamine E, chimie, technologies

RÉSUMÉ

Valorisation des produits de l'arganier : Santé, Nutrition, Chimie et Technologies.

L'arganier, ou *Argania spinosa*, est un arbre endémique du Maroc. Il peut vivre de 150 à 200 ans et est très résistant à la sécheresse et à la chaleur. Il joue un rôle irremplaçable dans l'équilibre écologique et la préservation de la biodiversité. Il offre de nombreux avantages pour la santé et la nutrition tout en suscitant un intérêt significatif dans les domaines de la chimie et des technologies, avec des perspectives prometteuses tant sur le plan économique que scientifique.

D'un point de vue sanitaire, les produits dérivés de l'arganier, tels que l'huile d'argan, sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, hydratantes, anti-inflammatoires, hypolipidémiantes, protectrices, nourrissantes et régénératrices. Ces propriétés en font des alliés précieux dans la lutte contre les maladies cardiovasculaires, le vieillissement cutané et certaines affections

de la peau. Ils stimulent également le système immunitaire et préviennent les troubles liés à la ménopause. L'huile d'argan est également appréciée pour sa valeur nutritionnelle, car elle est riche en acides gras insaturés, en vitamine E et en autres composés bioactifs. Ces composants contribuent à une alimentation équilibrée et peuvent jouer un rôle dans la prévention de diverses maladies.

D'un point de vue chimique, l'arganier est particulièrement intéressant en raison de sa composition unique en acides gras, stérols et autres composés organiques. Ces substances sont utilisées dans la synthèse de produits pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires. Les avancées technologiques ont permis d'optimiser l'utilisation des produits de l'arganier, de la production à la transformation. Des techniques innovantes sont en cours de développement pour extraire et purifier efficacement les principes actifs tout en préservant leur intégrité et leur qualité.

1. INTRODUCTION

The argan tree, also known as the "tree of life," is a valuable plant species. Its importance is mainly attributed to the oil-rich almonds extracted from its fruits. Argan oil, renowned worldwide, has multiple applications. Rich in antioxidants and essential fatty acids, it has been used for centuries for culinary, cosmetic, and medicinal purposes [1].

The Moroccan argan forest covers approximately 830,000 hectares in the southwest of Morocco. In these semi-arid and arid regions, nearly 90% of the rural economy of the argan region depends on argan-based agroforestry systems. More than 2 million people are affected by the misuse of traditional argan-based agroforestry systems [2].

The argan sector plays a significant socio-economic role (employment, production, exports, etc.). In addition to the confirmed environmental properties for maintaining ecological balance by preserving biodiversity and combating soil erosion [3].

However, the importance of the argan tree is not limited to the production of its oil. This tree plays a crucial role in promoting sustainable development for local populations as well as in mitigating the effects of climate change in the region [3].

2.CULTIVATION OF THE ARGAN TREE: HEALTH, NUTRITION AND CHEMISTRY

2.1 Argan tree for health

Derived products from the argan tree, such as argan oil, are renowned for their anti-oxidant, anti-inflammatory, and moisturizing properties. These characteristics make them valuable allies for:

- Health benefits: Argan oil is known for its antioxidant, anti-inflammatory, and cardioprotective properties. In traditional Moroccan medicine, it is used to treat various health issues, including skin conditions, joint pain, cardiovascular diseases, digestive disorders, and its chemoprotective effects against prostate cancer [4] [5].

- Skin health: Argan oil is both protective, nourishing, moisturizing, and naturally regenerating. Its antioxidant properties help protect the skin from damage caused by free radicals, while its anti-inflammatory properties can help soothe skin irritations and redness. It revitalizes and restores the skin's radiance and vitality. It also helps combat skin dryness, especially after sun exposure [6].

- Hair and nail health: Argan oil is beneficial for hair. It moisturizes dry and damaged hair, reduces frizz and split ends, and gives hair a shiny and healthy appearance. Argan oil can also be used to strengthen nails and moisturize cuticles, helping to maintain strong and healthy nails [6].

2.2 Argan oil for nutrtion [7] [8]

Argan oil is a vegetable oil that also serves as a healthy alternative to saturated fats for cooking and food preparation. It is also valued for its nutritional qualities. It is rich in unsaturated fatty acids (80%), notably oleic acid, which are beneficial for cardiovascular health. It is particularly high in omega-6 linoleic acid (35%), which is essential for cholesterol and lipid metabolism. It also contains omega-9 (45%), which helps regulate cholesterol by reducing levels of LDL cholesterol. Additionally, it is rich in vitamin E, minerals (potassium and magnesium), antioxidants, and phytosterols. This

composition benefits blood circulation, water balance, bones, muscles, and blood vessels. It also contributes to strengthening the immune system and protecting cells from damage caused by free radicals.

2.3 Argan tree in chemistry [9][10]

Chemical enhancements of the argan tree include the utilization of compounds present in the argan tree, such as argan oil. It can be used for various chemical applications. Here are some uses of the argan tree in chemistry:

• Chemical synthesis: The fatty acids present in argan oil can be used as raw materials for the synthesis of various chemicals such as esters, fatty alcohols, and surfactants. These chemicals find applications in the cosmetic industry, detergent manufacturing, and lubricants.

This utilization highlights the versatility of argan oil and its potential contributions to various chemical processes and industries.

• Extraction of active compounds: Argan oil is a rich source of fatty acids, to-copherols, phytosterols, and other bioactive compounds. These compounds can be extracted and used as ingredients in the formulation of cosmetic, pharmaceutical, and food products. Argan oil also contains antioxidants. They can be used as natural food additives to extend the shelf life of food products.

• Biofuels: Residues from argan oil production, such as press cakes, can be used as raw materials for the production of biofuels, such as biodiesel. This valorization allows for the recycling of waste from the argan oil industry and reduces dependence on fossil fuels [12].

3. Adaptation of technologies for valorization argan tree [11]

Adapting technology to valorize the argan tree involves the use of innovative methods and advanced techniques to maximize the efficiency of extracting useful compounds from the argan tree and utilizing them in various domains. This includes improved extraction processes, more effective purification techniques, and innovative processing methods to obtain high-quality end products. These technological advancements aim to optimize the potential of the argan tree as a valuable resource, both economically and environ-mentally.

Here are some examples of adapted technologies:

Implementation of advanced extraction methods such as supercritical CO2 extraction to obtain purer and more concentrated extracts.

Utilization of purification techniques such as chromatography to separate and purify specific active compounds from the argan tree.

Quality control and traceability measures

4. CONCLUSIONS

The argan tree, a symbolic tree of Morocco, is an undeniable source of wealth that must be preserved to ensure its ecological and economic future in the region. It has been utilized for centuries by the Berbers to address various health issues such as joint pain, burns, skin infections, skin diseases, and digestive problems.

Technological advancements enable the efficient exploitation of the beneficial properties of the argan tree, opening up new possibilities in fields such as health, nutrition, and cosmetics.

REFERENCES

1.Z. Charrouf, S. Fkih-Tétouani, F. Rouessac. « Occurrence of Erythrodiol in Argania spinosa » (Sapotaceae). Al Biruniya, 1990, 6, (2), 135.

2. Faouzi K., Rharrabti Y., Boukroute A., Mahyou H., Berrichi A., (2014). Délimitation de l'aire de l'arganier dans les Beni-snassen occidentaux de la région orientale du Maroc. 2e Edition du Colloque International des utilisateurs des SIG, 20-21 novembre 2014, Meknès, Maroc: 693-697.

3. H Faouzi, J Martin. Soutenabilité de l'arganeraie marocaine; Entre valorisation de l'huile d'argane et non-régénération de l'arganier. Confins revue Franco brésilienne de géographie 2014, 20.

4. Monfalouti, H. E., Guillaume, D., Denhez, C., & Charrouf, Z. (2010). Therapeutic potential of argan oil : a review. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 62(12), 1669 1675. https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2010.01190.x

5. Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008). Argan oil : Occurrence, composition and impact on human health. European Journal of Lipid Science

and Technology, 110(7), 632 636. https://doi.org/10.1002/ejlt.200700220

6. Boucetta, K. Q., Charrouf, Z., Derouiche, A., Rahali, Y., & Touzani, M. (2013). Skin hydration in postmenopausal women: argan oil benefit with oral and/or topical use. Przeglad menopauzalny= Menopause review, 12(5), 445.

7. SITE WEB : L. (2020, août 6). Huile d'argan : 3 recettes pour cuisiner avec - Académie Végétale. Académie Végétale. https://academievegetale.com/2020/08/05/huile-dargan-3-recettes-pour-cuisiner-avec/

8. Cherki, M., Derouiche, A., Drissi, A., El Messal, M., Bamou, Y., Idrissi-Ouadghiri, A., ... & Adlouni, A. (2013). Argan oil: which benefits on cardiovascular diseases?. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 23(11), 1072-1077.

9. Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008). Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of Argania spinosa (L.) Skeels. Journal of Ethnopharmacology, 116(3), 449-462.

10. Boukhatem, M. N., Kameli, A., Ferhat, M. A., Saidi, F., & Mekarnia, M. (2014). Rose geranium essential oil as a source of new and safe anti-inflammatory drugs. Libyan Journal of Medicine, 9(1), 25431.

11. Boukharta, M., Boukhatem, N., & Kameli, A. (2015). Valorisation de l'arganier. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 3(2), 174-185.

12. Mouhib, M., M'Hamedi, I., & El Aboudi, A. (2020). Valorisation des déchets de l'arganier: production de biocarburants et d'huile essentielle. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 89, 216-228.

Argan, Olive, Soya, Colza, Sunflower : What is the best oil for health?

Miloudi Hilali [1,*] and Nadia Maata[2].

[1]*Laboratory of Plant Chemistry and Organic and Bioorganic Synthesis, Faculty of Science, University Mohamed-V, Av. Ibn Battouta, BP 1014 Agdal-Rabat, Morocco.*

[2]*Official Laboratory of Chemical Analysis and Research 25, street Nichakra Rahal, Casablanca, Morocco.*

** hilali400@yahoo.com*

ABSTRACT

Argan oil is one of the rarest oils in the world and is considered the "gold liquid" of Morocco. It has many uses in cooking, medicine and cosmetics. This work consists in comparing the chemical composition of argan oil and other edible oils such as: olive, soya, rapeseed and sunflower in order to draw conclusions on the exceptional nutritional qualities of argan oil. The result of this work shows that argan oil has remarkable nutritional qualities. It is an oil rich in monounsaturated (43.15% oleic acid: omega 9) and polyunsaturated (38.86% linoleic acid: omega 6). The level of linoleic acid is three times higher in argan oil than in olive oil (linoleic acid 10.83%).The tocopherol content of argan oil is 70 mg/100g (olive oil: 31 mg/100g). Argan oil is very rich in gamma tocopherol (52.5 mg/100g) (olive 3 mg/100g) which gives it a protective effect against free radicals. Argan oil is rich in phytosterols. The main sterols in argan oil are schottenol and spinasterol (they only exist in argan oil). Schottenol has been shown to be anticarcinogenic with pronounced cytotoxic potential. These chemical compounds, fatty acids, tocopherols and sterols give argan oil a high nutritional value. They ensure the proper physiological functioning of cell membranes and reinforce the preventive action of argan oil against chronic pathologies.

Keywords
Argan, edible oils, fatty acids, sterols, tocopherols.

RÉSUMÉ

Argane, Olive, Soja, Colza, Tournesol : Quelle est la meilleure huile pour la sante

L'huile d'argan est l'une des huiles les plus rares au monde et est considérée comme « l'or liquide » du Maroc. Elle a de multiples usages en cuisine, en médecine et en cosmétique. Ce travail consiste à comparer la composition chimique de l'huile d'argan et des autres huiles alimentaires tels que : olive, soja, colza et tournesol afin de tirer des conclusions sur les qualités nutritionnelles exceptionnelles de l'huile d'argan. Le résultat de ce travail montre que l'huile d'argan possède des qualités nutritionnelles remarquables. C'est une huile riche en acides gras mono-insaturés (43,15% d'acide oléique : oméga 9) et polyinsaturés (38,86% d'acide linoléique : oméga 6). Le taux d'acide linoléique est trois fois plus important dans l'huile d'argan que dans l'huile d'olive (d'acide linoléique 10,83%). La teneur en tocophérols de l'huile d'argan est 70 mg/100g (l'huile d'olive : 31 mg/100g). L'huile d'argan est très riche en gamma tocophérol (52,5 mg/100g) (olive 3 mg/100g) ce qui lui confère un effet protecteur contre les radicaux libres. L'huile d'argan est riche en phytostérols. Les stérols majoritaires dans l'huile d'argan sont le schotténol et le spinastérol (Ils n'existent que dans l'huile d'argan). Le schotténol est démontré être anticancérigène avec un potentiel cytotoxique prononcé. Ces composés chimiques, acides gras, tocophérols et stérols confèrent à l'huile

Mots clés
Argan, huiles alimentaires, Acides gras, Stérols, tocophérols.

d'argan une forte valeur nutritionnelle, ils assurent le bon fonctionnement physiologique des membranes cellulaires et renforceraient l'action préventive de l'huile d'argan contre les pathologies chroniques.

1. INTRODUCTION

The argan tree (Argania spinosa, Skeels L., Sapotaceae) is an endemic tree of southwestern Morocco, where it plays a very important socio-economic and environmental role. It is deeply rooted in the daily life of rural populations and plays a fundamental role in their livelihood.

The argan tree produces a very valuable vegetable oil from its kernels and its oil has not been widespread in the world until recently. In Morocco, this oil is used to drizzle food, almost like with olive oil, but recent discoveries of the health benefits of this oil have led to its wider export.

Food argan oil known for millennia by the people of southwestern Morocco. This oil is prepared from roasted almonds. This preparation step gives the oil its Perfumed taste, reminiscent of grilled hazelnut. Thanks to the work of Moroccan chemists and biologists, argan oil is recognized for its exceptional nutritional qualities. In addition to the nutritional value, argan oil also has many pharmacological properties, particularly in the field of cardiovascular diseases and cancers [1]. This gives argan oil a unique added value in terms of health.

Great efforts have been made to develop argan oil by improving its extraction technology and by allowing forest users to benefit from this added value by creating cooperatives in the region for the production and marketing of the argan oil [2-3]. The purpose of this work is therefore to make a comparative study of the physico-chemical composition of argan oil and other edible oils such as: olive, soya, colza, and sunflower, in order to contribute a conclusion on the exceptional nutritional qualities of argan oil on health.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Preparation of oils

Argan oil was prepared by extraction, by the method of mechanical pressing in the cooperative of Tidzi (province of Essaouira, southern Morocco) according to methods already described: extraction by mechanical pressing (roasted almonds [4-5] The olive oil was prepared by mechanical extraction in a company in Ouezzane (northern Morocco) [6], and the other oils were purchased from a store in Rabat (Morocco).The analyzes of these oils were carried out within the official laboratory for chemical analysis and research in Casablanca.

2.2. Physico-chemical analyzes of oils

Determination of acidity, the peroxide index, the refractive index, the saponification index, the unsaponifiable content, were measured according to the standardized reference methods respectively ISO 660 [7], ISO 3960 [8], ISO 6320 [9], ISO 3657 [10], NFT.60.205 NOV 1975 [11]

2.3. Determination of the composition and nature of total sterols [12]

We weigh 2.5g of oil in a 20ml balloon. 25 ml of a solution of potassium hydroxide (1N ethanol) are added to it. The flask is boiled under reflux for 30 min until the solution becomes clear. Then, 25 ml of distilled water is added to stop the reaction. The extraction of the unsaponifiable is carried out using 75 ml of hexane or petroleum ether. The organic phase undergoes a series of washes with 15 ml of a mixture (water/95° ethanol) (90/10) in a separatory funnel.

The hexane phase is transferred from the top of the vial into a 100ml flask. After evaporation of the solvent using a rotary evaporator, the unsaponifiable is recovered.

The unsaponifiable, diluted with 300 µl of hexane or petroleum ether, is filtered.

The unsaponifiable is obtained according to the NFT 50-205 standard. It is fractionated by high performance liquid chromatography (HPLC) on a silica column (25cm × 4 mm). The HP device is equipped with a 205 nm-254 nm UV detector. The eluent is an isooctane/isopropanol mixture (99/1) with a flow rate of 1.2ml/min. The duration of the analysis is 15 min, the sterol fraction recovered according to standard NF 12228 May 1999, is evaporated to dryness.

The sterols are transformed into silylated

derivatives (TMS) using a mixture of pyridine, hexamethyldisilazane (HMDS) and trimethylchlorosilane (TMCS), (9/1/1), (v/v/v). The pyridine was evaporated to dryness and the silylated derivative is diluted with 60 µl of heptane or hexane.

The TMS sterols are analyzed by gas chromatography (GC) on an apolar column (Chroma pack) (30m× 0.32mm, ID: 0.25 µm, phase: CPSIL8CB). The HP Hewlett packard 6890 series GC system chromatograph is equipped with an FID detector (T°: 300°C). The carrier gas is nitrogen and its flow rate is 1ml/min (P.E: 8.6 bar). The analysis is carried out in temperature programming (200°C up to 270°C with a speed of 10°C /min and an isotherm at 270°C for 35 min).

2.4. Cis fatty acid analysis [13]

The 1 g oil test sample is added with 0.5 ml of methanolic KOH for HPLC (minimum 98%) and 10 ml of methanol in a 100 ml flask. The mixture is refluxed for 15 min until the solution is clear. Then 1 ml of heptane is added to the reaction mixture after cooling. The heptane phase containing the methyl esters is transferred to a test tube and then a solution of sodium carbonate Na2CO3 is added. The latter neutralizes all the free acids by giving sodium salts with a release of carbon dioxide. The methyl esters, which are in the organic phase, are removed using a 2 ml cone pipette and then placed in a test tube.

The methyl esters undergo a series of washings. 20 µl of the esters are taken and placed in a tube of nominal capacity of 2 ml, then filled with heptane. Fatty acid methyl esters are analyzed by GPC gas chromatography.

The HP Hewlett packard 6890 series GC system chromatograph is equipped with a splitter injector (T: 240°C) and an FID (T: 260°C). The carrier gas is nitrogen (PE: 12.4 bar). The analysis is carried out in temperature programming (140°C to 200°C with a speed of 10°C/min and an isotherm at 200°C for 40 min) on a capillary column (polyethylene glycol) (30 m× 0 .32 mm, ID: 0.25 µm).

2.5. Tocopherol analysis [14]

In a 25ml volumetric flask, 2 g of oil are diluted with 2, 2, 4 trimethylpentane. The test sample is added to 2, 2, 4 trimethylpentane up to the mark, then mixed carefully.

The tocopherols are analyzed by HPLC, on a silica column (25 cm × 4 mm), according to the AOCS method, official method CE8-89 revised 1990 updated 1992. The SHIMADZU brand device is equipped with a fluorimetric detector (excitation wavelength 290 nm – emission wavelength 330 nm). The elution is carried out with a mixture (isooctane/ isopropanol) (99/1) with a flow rate of 1.2 ml/min for the analysis time (20 min).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physico-chemical constants

The main physico-chemical constants of oils are listed in table 1.

Table 1: Main physico-chemical constants of oils

Constants/samples.	Argan oil	Olive oil	Soya oil	Sunflower oil	Colza oil
Acidity in %	0,5	1,1	-	-	-
the peroxide value in meq O_2/kg	1,23	12	-	-	-
Refractive index at 20 ^{0}c	1,468	1,468	1,473	1,474	1,472
Saponification index	195	190	190	191	172
Unsaponifiable %	1,0	2,0	-	-	-

The results of this work show that the physico-chemical constants of the oils are very similar and overlap almost completely, from these results we noted that the peroxide index of olive oil is higher (12 in meq of O2/kg) compared to argan oil (1.23 in meq of O2/kg) [15]. This index makes it possible to evaluate the degree of oxidation of the unsaturated fatty acids of the fat (rancidity), for oils or fats for food, or for cosmetic uses.

3.2. Fatty acid analysis

Table 2 presents the results of fatty acids in %

Le tableau 2 présente les résultats des acides gras en %

Fatty acid en % / samples .	Argan oil	Olive oil	Soya oil	Colza oil	Sunflower oil
Myristique C14:0	0,12	0,2	0,07	0,05	0,07
Pentade-canoique C15:0	0,05	-	0,01	0,02	0,01
Palmitique C16:0	12,24	9,20	10,77	4,73	6,55
Palmitol-éique C16:1	0,03	0,41	0,07	0,15	0,10
Hepatadecanoiqe C17:0	0,09	0,04	0,10	0,04	0,05
Stearique C18:0	6,47	3,15	4,92	3,04	3,30
Oleique C18:1	45,66	74,42	23,64	45,98	33,30
Linoleique C18:2	34,03	10.83	51,75	36,62	54,39
Linolenique C18:3	0,10	0,83	6,98	4,54	0,65
Arachidique C20:0	0,47	0,43	0,41	0,52	0,27
Gadoleique C20:1	0,51	0,44	0,29	1,05	0,23
Behenique C22:0	0,16	-	0,50	0,61	0,73

The fatty acid result shows that argan oil contains 80% unsaturated fatty acids. It is of the oleic (C18:1 ω-9)–linoleic (C18:2 ω-6) type and contains 38% of essential fatty acids: linoleic acid (34.03%) [15,16]. On the other hand, the percentage of linoleic acid in olive oil is 10.83% (52% in soybean and sunflower oil) and (36.6% in rapeseed oil). This acid is said to be essential because it cannot be synthesized by the body and must be provided by food. Our result also shows that the percentage of oleic acid is higher in olive oil 74% compared to other oils (45% in argan and rapeseed oil) (33% in sunflower). The oleic acid content (45%) makes argan and olive oil particularly interesting in the regulation of cholesterol. Unsaturated fatty acids play an essential role in the prevention of cardiovascular diseases and, the family of omega 6 (such as linoleic acid) is essential for the growth of the child are higher in argan oil [17-18].

3.3. Sterol analysis

Table 3 presents the results of the sterols obtained in the Laboratory on the different samples.

Table 3: Compositions of sterols in %

Sterols / Type of samples.	Argan oil	Olive oil	Soya oil	Colza oil	Sunflower oil
Cholesterol	-	0,13	-	0,36	0,27
Brassicasterol	-	-	-	6,09	-
Campesterol	0,29	2,85	19,83	27,9	10,51
Stigmasterol	-	-	17,37	-	8,84
Stigmasta 8,22 diene 3β-ol	4,40	-	-	-	-
β-sitosterol	-	86,13	49,57	52,04	57,57
Spinasterol	36,21	-	-	-	-
Δ5avénasterol	-	8,43	1,17	3,82	1,80
Δ7 stigmasterol	-	-	1,75	0,92	11,14
Schottenol	47,75	-	-	-	-
Δ7 avenasterol	5,00	0,38	1,42	2,79	4,0
Total sterols mg/100g	154,3	235,2	381,5	421,5	345,1

The total sterol content of argan oil is 154 mg/100g of fat [16]. This is not negligible compared to olive oil which contains 235 mg/100g [19]. The major products in argan oil are schottenol (47.75%) (or Δ-7-stigmasterol) and spinasterol (36.21%). Schottenol and spinasterol are rarely found in vegetable oils and are characteristic of argan oil. Argan oil does not contain β–sitosterol (Δ-5-stigmasterol), however our result shows that olive oil is rich in β–sitosterol (Δ-5-stigmasterol) (86.13 %) and does not contain schottenol and spinasterol. Phytosterols can block cholesterol absorption, they are often touted as a way to improve heart health and lower blood levels of LDL (bad) cholesterol

3.5. Tocopherol analysis

In vegetable oils there are four groups of tocopherols (α, β, γ and δ). Tocopherols have both vitamin power (vitamin E, in particular a tocopherol) and antioxidant properties [20]. The tocopherol contents of argan oil and other oils are given in Table 4.

Table 4: Tocopherol composition (mg/100g)

Samples	Argan oil	Olive oil	Soya oil	Colza oil	Sunflower oil
α-tocopherol	7	27,2	7,7	18	47
β-tocopherol	0,7	0,8	11	0,5	-
γ-tocopherol	52,5	3	75,9	32	3,5
δ-tocopherol	9,8	-	25,4	2	4
Total mg/100g	70	31	120	50,5	54,6

The result of tocopherol shows that the content of γ-tocopherol of argan oil is higher (52 mg / 100g) than olive oil (3 mg / 100g), on the other hand the content of this parameter in soybean oil is higher (75 mg/100g), regarding the content of α-tocopherol, this compound is higher in sunflower oil (47 mg/100g) and in olive oil (27 mg/100g), on the other hand the content of this compound in argan oil is 7 mg/100g. Argan oil is richer in tocopherol (70 mg/100g) than olive oil (31 mg/100g) [15]. Argan oil is rich in γ-tocopherol (80-90%) and is consistent with published data [16, 22].

Tocopherols have vitamin E activity. This vitamin is a powerful antioxidant that captures free radicals and neutralizes destructive oxidation [20].

The work of Jiang and Coll [21] demonstrated that γ-tocopherol has an antioxidant power superior to that of α-tocopherol (vitamin E) in In vivo tests.

Argan oil is very rich in gamma tocopherol which gives it a protective effect against free radicals. These are the cause of skin aging and are thought to be involved in several diseases such as cancer or cardiovascular disease.

CONCLUSION

Argan oil is rich in phytosterols, these parameters can block the absorption of cholesterol, they are often promoted as a way to improve heart health and reduce blood levels of LDL (bad) cholesterol. These chemical compounds, fatty acids, tocopherols and sterols give argan oil a high nutritional value, they ensure the proper physiological functioning of cell membranes and reinforce the preventive action of argan oil against chronic diseases.

REFERENCES

1. Derouiche, A., Cherki, M., Drissi, A., Bamou, Y., El Messal, M., Idrissi-Oudghiri, A., Adlouni, A. Nutritional intervention study with argan oil in man: effects on lipids and apolipoproteins. Annals of Nutrition and Metabolism, 2005, 49, 196-201.

2. El Hammari, L., Hilali, M. and Lebkiri. Phenolic composition and antimicrobial activity of essential oils from the fruit pulp of the argan tree. Nativa, Sinop, 2023, 11(2): 143-147.

3. Charrouf, Z. Valorisation de l'arganier pour une gestion durable de l'arganeraie. OIFIEPF: Lyon, 2012, 5-9.

4. Charrouf, Z., El Kabouss, A., Nouaim, R., Bensouda, Y., Yaméogo, R. Etude de la composition chimique de l'huile d'argan en fonction de son mode d'extraction. Al-Biruniya, 1997, 13, 35-39.

5. Gonet, W. Avancement des travaux de recherche sur l'extraction de l'huile d'argan au niveau du ménage. Journées d'études sur l'Arganier, 1988, 23-24.

6. Hilali, M., Maata, N., Monfalouti, H. E. and Kartah, B. E. Study of the chemical composition of olive oil according to its mode of extraction and its age from the olive tree. J Environ Treat Tech, 2020, 8 (3), 1075-1080.

7. ISO 660: Corps gras d'origines animale et végétale- détermination de l'indice d'acide et de l'acidité, 1996.

8. ISO 3960 : Corps gras d'origines animale et végétale- détermination de l'indice de peroxyde, 2001.

9. ISO 6320: Corps gras d'origines animale et végétale- détermination de l'indice de réfraction, 2000.

10. ISO 3657: Corps gras d'origines animale et végétale- détermination de l'indice de saponification,2002.

11. NF T60.205. Norme Afnor, le conseil d'administration de l'association française de normalisation par décision n° 2005-05 février 2005.

12. ISO 6799: Les animaux et les graisses et huiles végétales- détermination de la composition de la fraction de stérol-méthode par chromatographie en phase gazeuse, 1991.

13. ISO 5509: Corps gras d'origines animale et végétale- préparation des esters méthylique, 2000.

14. IUPAC. International of pure and Applied Chemistry. Detremination of tocophérols in vegetable oils fats by HPLC; Method 2432 In Standart Methods for the Analysis of oils, fats and derivatives, Paquot C, Haufenne A, (Eds) Blackwell Scientfic publications, Oxford, 1987, .2432/1-2432/7.

15. Hilali, M., Charrouf, Z., Aziz Soulhi, A. E., Hachimi, L. and Guillaume, D. Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53, 2081-2087.

16. Amaral, J. S., Casal, S., Citová, I., Santos, A., Seabra, R. M. and Oliveira, B. P. Characterization of several hazelnut (Corylus avellana L.) cultivars based in chemical, fatty acid and sterol composition. European Food Research and Technology, 2006, 222, 274-280.

17. Charrouf, Z. L'huile d'argane, une prodigieuse vitalité née au bord du désert…. Espérance médicale, 2002, 9, 1-8.

18. Chaumont, J. P., Millet-Clerc, J. Phyto-aromathérapie appliquée à la dermatologie. Lavoisier, 2011.

19. Karleskind, A. Manuel des corps gras. Tec and Doc, Lavoisier Ed., Paris, 1992

20. Hilali, M., El Hammari,L, El Monfalouti, H. Maata, M. and Kartah, B.E. Study of the chemical composition of argan oil according to the form of the fruit. Procedings of Applied Botany Genetics and Breeding, 2022,183 (2):1-8.

21. Li, G. X., Lee, M. J., Liu, A. B., Yang, Z., Lin, Y., Shih, W. J. and Yang, C. S. δ-tocopherol is more active than α-or γ-tocopherol in inhibiting lung tumorigenesis in vivo. Cancer Prevention Research, 2011, 4(3), 404-413.

Evaluation of the in vitro antagonistic effect of fungal species extracted from the argan tree, for biological control of pathogenic colonies

Hajar Banaille [1,*], Hasnae Charai [1] , Zineb Mahlaoui [1] , Imane Jamouri [1] , Noamane Taarji [2] , Khadija Lamrani [1] , Kuniyoshi Shimizu [3] and , Tarik Ouchbani [1].

[1]*Département des sciences alimentaires et nutritionnelles, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat ;*

[2] *Agrobiosciences program, College of Sustainable Agriculture & Environmental Sciences, Université Mohammed VI Polytechnique, Benguerir ;*

[3] *Faculté d'Agriculture, Université de Kyūshū, Japon ;*

** banaillehajar@gmail.com ;*

ABSTRACT

The argan tree, the emblematic tree of Morocco, is of crucial importance in today's food security context. Thriving in arid and semi-arid regions, this tree plays an essential role both ecologically and economically, being the exclusive source of argan oil prized in many fields, including cuisine and cosmetics. However, despite its resilience, the argan tree faces its fair share of challenges, such as phytopathogens synthesizing toxic metabo-lites that compromise harvest quality. Our study focuses on the in vitro antagonistic action of purified strains of *Mucor spp*., *Aspergillus Niger* and *Penicillium spp*., extracted from argan fruits, against pathogens such as *Fusarium spp*. and *Cladosporium spp.* The evaluation of the pathogenic strains' antagonistic power was carried out by indirect confrontation at a constant temperature of 25°C over five days. The results obtained show significant inhibition of pathogen growth, and underline the strong potential of these antagonistic agents in biological control for sustainable agriculture and environmentally-friendly farming practices.

Keywords
biological control ; antagonist ; inhibition ; pathogens

RÉSUMÉ

Évaluation de l'effet antagoniste in vitro des espèces fongiques extraites de l'arbre d'argan, pour le contrôle biologique des colonies pathogènes

L'arbre d'argan, emblème du Maroc, revêt une importance cruciale dans le contexte actuel de la sécurité alimentaire. Poussant dans des régions arides et semi-arides, cet arbre joue un rôle essentiel à la fois écologique et économique, étant la source exclusive de l'huile d'argan, prisée dans de nombreux domaines, notamment la cuisine et la cosmétique. Cependant, malgré sa résilience, l'arbre d'argan fait face à des défis, tels que des phytopathogènes synthétisant des métabolites toxiques compromettant la qualité des récoltes. Notre étude porte sur l'action antagoniste in vitro de souches purifiées de *Mucor spp*., *Aspergillus niger* et *Penicillium spp*., extraites des fruits de l'arganier, contre des pathogènes tels que *Fusarium spp*. et *Cladosporium spp*.. L'évaluation du pouvoir antagoniste des souches pathogènes a été réalisée par confrontation indirecte à une température constante de 25°C sur une durée de cinq jours.

Mots clés
lutte biologique ; antagoniste ; inhibition ; pathogènes

Les résultats obtenus montrent une inhibition significative de la croissance des pathogènes et soulignent le fort potentiel de ces agents antagonistes dans la lutte biologique pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

1. INTRODUCTION

The argan tree, an endemic Moroccan tree, takes on a special dimension in today's context of food productivity issues. Extending over some 871,210 hectares nationwide and thriving in the country's arid regions, the argan tree plays a vital role both ecologically and in the local economy, making a significant contribution to combating desertification and soil erosion while fostering a specific biodiversity [1].

At the very heart of the Moroccan argan grove, this resilient tree provides an essential habitat for numerous species and is the exclusive source of argan oil, a renowned product whose multiple functions have long shaped and influenced the lives of local populations, and whose immense potential has aroused the particular interest of scientists.

However, despite its remarkable robustness, the argan tree is not without its challenges. Demographic change, variable climatic conditions and growing consumer habits have led to the development of a range of plant pathogens affecting argan crops. These pathogens, extracted from argan fruits, are the cause of many devastating diseases and toxic sec-ondary metabolites, affecting the crop's sanitary quality.

The widespread use of chemical pesticides, once considered the main solution against pathogens, is now under question due to its negative impact on ecosystems and human health, as well as the resistance developed by pathogens. Agricultural production is therefore faced with a number of constraints: on one hand, climatic changes that are conducive to microbial development and toxin production, and on the other hand, in-creasingly stringent regulations to limit the use of phytosanitary products.

In light of these constraints, biological control is emerging as a promising alternative. The aim of our study is to evaluate the indirect in vitro antagonistic action of purified strains of Mucor spp., Aspergillus Niger and Penicillium spp., extracted from argan fruits, against pathogens such as Fusarium spp. and Cladosporium spp.

This innovative approach is part of the long-term goal of developing sustainable solutions to counter the pathogenic threats to argan crops, thereby preserving the delicate balance of the Moroccan argan grove.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Biological material

In this study, the phytopathogens used, namely Cladosporium spp., Fusarium spp., Mucor spp., Penicillium spp. and Aspergillus Niger, came from the mycological laboratory col-lection at the 'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II'. They were isolated from argan fruits originating from Essaouira.

2.2. Culture medium

The culture medium used in this study is PDA (Potato Dextrose Agar), widely used for the cultivation, isolation and purification of fungi. The evaluation of indirect interactions between the purified strains will be carried out in vitro on this medium, for 5 days.

Before use, the culture medium is sterilized in an autoclave for 20 minutes at 121°C. Still warm (at around 50°C), it is aseptically divided into sterile Petri dishes (15-20 ml each). Once the agar has solidified, the plates are ready for use [2].

2.3. Purification and conservation

In order to isolate a single colony per Petri dish, subculturing is performed. The process, carried out aseptically near a Bunsen burner, involves removing a colony disk with a sterilised inocultating loop and placing it in the center of a new dish containing the same PDA culture medium, by avoiding any contact with nearby colonies [3].

The plates are then incubated at 30°C for seven days to obtain pure strains. This process is repeated as many times as necessary, until totally pure isolates are obtained.

To preserve them, the strains obtained are transferred

to Agar slant vials, kept in an incubator at 25°C for 6 to 7 days, then stored at 4°C for later use.

2.4. Fungal antagonism test

To realize the fungal antagonism test, the antagonist and the studied pathogen are in-oculated into 2 distinct PDA Petri dishes, following the indirect co-culture method by (Abdallah et al., 2018) [4]. The 2 Petri dishes are then placed against each other in a face-to-face manner, with the antagonist dish at the bottom and the pathogen at the top ; using layers of parafilm, the junction between the two plates is sealed to prevent any loss of volatile substances [5].

A control is established by inoculating the pathogen in the center of a Petri dish, and superposing it to one containing only the PDA medium. All the prepared Petri dishes are then incubated for 5 days at a temperature of (25 ± 2°C).

Results were assessed daily during the 5-day incubation period by measuring the di-ameter of the mycelial growth zone. The inhibition percentage of mycelial growth was calculated using the following formula:

$$In(\%) = \frac{(C_0 - C_n)}{C_0} \times 100 \qquad [5]$$

With : C_0 : The diameter of pathogenic colonies in the control ; Cn : The diameter of pathogenic colonies in the presence of antagonists.

The chosen antagonist/pathogen combinations are as follows:

- *Penicillium spp.* (antagonist) and *Cladosporium spp.* (pathogen);
- *Aspergillus Niger* (antagonist) and *Fusarium spp. (pathogen)* ;
- *Mucor spp*. (antagonist) and *Cladosporium spp*. (pathogen).

3. RESULTS

3.1. Inhibitory effect of Penicillium spp. on Cladosporium spp.

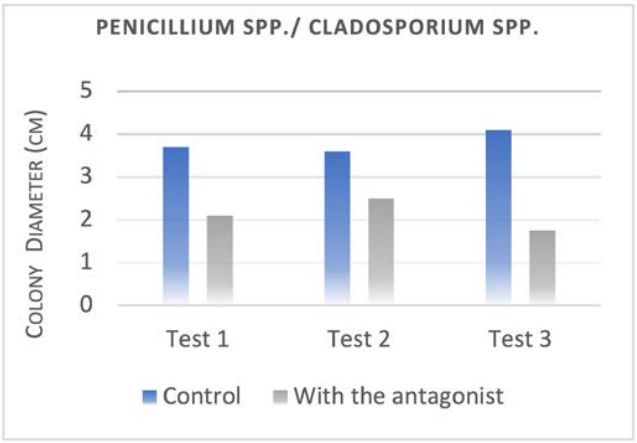


Figure 1. Diameter of Cladosporium spp. colonies in indirect confrontation with Penicillium spp. after a 5-day incubation at 25°C.

The inhibitory effect of Penicillium spp. can be seen in the significant reduction in *Cladosporium spp.* colony diameter, averaging around 45%.

3.2.Inhibitory effect of Aspergillus Niger on Fusarium spp.

The results obtained show a clear reduction in

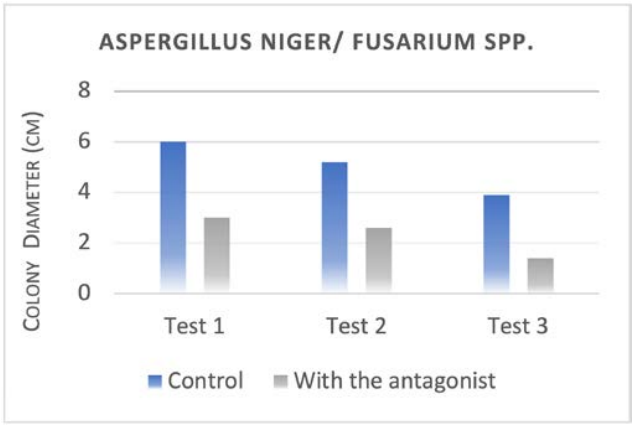


Figure 2. Diameter of Aspergillus Niger colonies in indirect confrontation with Fusarium spp. after a 5-day incubation at 25°C

the diameter of Fusarium spp. colonies in the presence of Aspergillus Niger compared with the untreated control. This reduction translates into a very significant mycelial growth inhibition rate of around 60%.

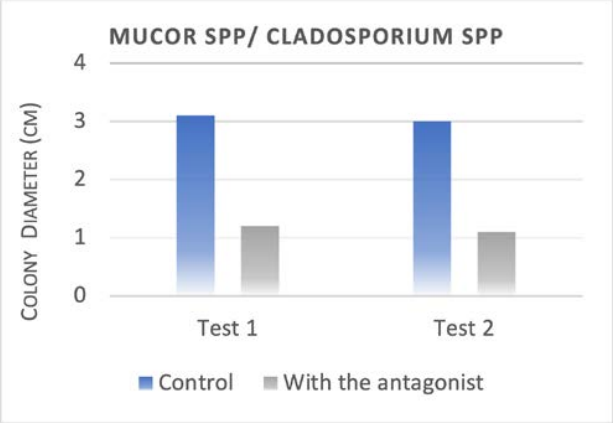
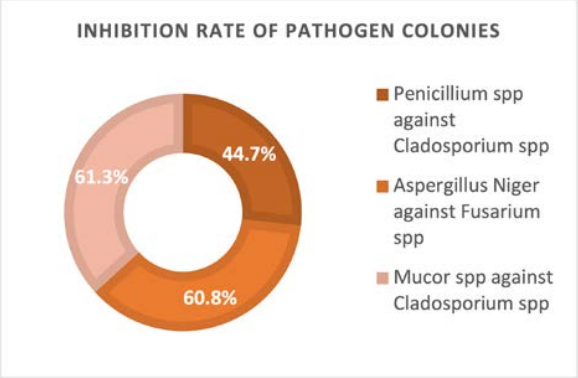


Figure 3. Diameter of Mucor spp. colonies in indirect confrontation with Cladosporium spp. after a 5-day incubation at 25°C.



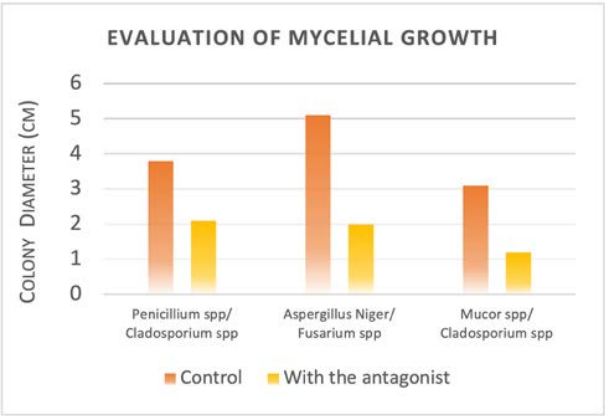
(b)

Figure 4. (a) Antagonist colonies' long-distance inhibitory effect on pathogens; (b) Inhibition rate of pathogenic colonies in indirect confrontation with antagonistic agents

After a 5-day incubation period, the Petri dish was completely invaded by the antagonist (Mucor spp.), at a remarkably rapid rate. Cladosporium spp. underwent a mycelial growth inhibition rate of over 60%, dropping from 3.1cm diameter (in the control), to 1.2 on average in the presence of the antagonist.

3.4. Evaluation of mycelial growth

To evaluate the mycelial growth of the pathogenic strains studied, we measured the average diameter of pathogenic colonies after a 5-day incubation period at 25°C, with and without the presence of antagonists.



(a)

Despite the absence of direct contact between the pathogenic strains tested, Fusarium spp. and Cladosporium spp., against the antagonistic agents : Aspergillus Niger, Mucor spp. and Penicillium spp., the latter were able to exert inhibitory activity on the mycelial development of pathogenic colonies at significant inhibition rates. This can be explained by the antago-nists' ability to produce volatile substances that inhibit the pathogen's mycelial growth.

4. DISCUSSION

Despite the absence of direct contact between the pathogenic strains tested, Fusarium spp. and Cladosporium spp., against the antagonistic agents : Aspergillus Niger, Mucor spp. and Penicillium spp., the latter were able to exert inhibitory activity on the mycelial devel-opment of pathogenic colonies at significant inhibition rates. The observed outcomes include a 61.3% inhibition of Cladosporium spp. by Mucor spp., a substantial 60.8% inhi-bition of Fusarium spp. by Aspergillus Niger, and a commendable 44.7% inhibition of Cladosporium spp. by Penicillium spp. This can be explained by the antagonists' ability to produce volatile substances that inhibit the pathogen's mycelial growth.

It's also worthy to note that within the realm of fungi, Chitin stands as a crucial constituent of the cell wall, serving to envelop and shield fungal cells from the external environment. Consequently, the cell wall plays a pivotal role in both fungal development and

resilience against external threats. Any modification, such as that linked to the virulence of the inoculum, would result in an impairment of the mycelium [6]. This underscores the potent myco-parasitic capabilities exhibited by Aspergillus Niger, Mucor spp, and Penicillium spp.

Additionally, the substantial lysis of mycelium, as mentioned in other studies, could also be a contributing factor to the inhibition of the mycelial growth in Fusarium spp. and Cladosporium spp. [7].

Our findings emphasize the great potential of these antagonistic agents in biologically controlling crop pathogens and suggest potential applications in crop protection.

As a matter of fact, exploiting them presents an opportunity to develop more sustainable agricultural strategies, reducing reliance on chemical pesticides while safeguarding crop health. This study thus makes a meaningful contribution to the promotion of environ-mentally friendly agricultural practices that prioritize the well-being of plants.

5. CONCLUSION

The results obtained during this study revealed an interesting inhibitory effect of argan fruit extracts on the growth of pathogenic microorganisms such as Fusarium spp. and Cladosporium spp. This paves the way for potential applications in the field of crop pro-tection. By exploiting these biological control agents, it is possible to develop more sus-tainable agricultural strategies, limiting the dependence on chemical pesticides while preserving the crop's sanitary quality. Our next step would be to deepen our research, assessing the inhibitory effect of other isolates, before undertaking our in vivo studies.

REFERENCES

1. Aziz, L., Mormont, M., & Allali, K. (2013). Effets de la marchandisation de l'arganier sur la vie socioéconomique des populations de l'arganeraie marocaine. VertigO, (Volume 13 Numéro 1). DOI:10.4000/vertigo.13445

2. Udawattha, C., Galkanda, H., Ariyarathne, I. S., Jayasinghe, G. Y., & Halwatura, R. (2018). Mold growth and moss growth on tropical walls. Building and Environment, 137, 268–279. DOI:10.1016/j.buildenv.2018.04.018

3. Guiraud J.P. (2003). Microbiologie alimentaires. (edn) Dunod. Paris.p : 651.

4. F Abdallah, M., De Boevre, M., Landschoot, S., De Saeger, S., Haesaert, G., & Audenaert, K. (2018). Fungal Endophytes Con-trol Fusarium graminearum and Reduce Trichothecenes and Zearalenone in Maize. Toxins, 10(12), 493. Doi: 10.3390/toxins10120493

5. Tian, Y., Yu, D., Liu, N., Tang, Y., Yan, Z., & Wu, A. (2020). Confrontation assays and mycotoxin treatement reveal antagonistic activities of Trichoderma and the fate of Fusarium mycotoxins in microbial interaction. Environmental Pollution, 267, 11559. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115559

6. Benhamou, N., & Chet, L. (1996). Parasitism of sclerotia of Sclerotium rolsii by Trichoderma harzianum:ultrastructural and cytochemical aspects of the interaction. Phytopathology, 86, 405-4160.

7. Daami-remadi, M., & El Mahjoub, M. (2001). Lutte biologique contre la pourriture aqueuse des tubercules de pomme de terre par Trichoderma harzianum. Ann.L'INRAT, 74, 167-186.

Impact du génotype sur la teneur en huile et la composition en acides gras chez *Argania spinosa* L.

Ilham Rahmouni[1, 2], Siham Oumous[1, 2], Ghizlane Tobi[1], Mohammed Bouksaim[2], Yasmina El Bahloul[1].

[1] *Unité de Recherche en Amélioration des Plantes Conservation et Valorisation des Ressources Phytogénétiques Centre Régional de la Recherche Agronomique de Rabat. INRA- Maroc ;*

[2] *Laboratoire Eco valorisation, Centre Régional de la Recherche Agronomique CRRA – Rabat ;*

** yasmina.elbahloul@inra.org.a*

RÉSUMÉ

Argania spinosa (L.) est l'une des espèces indigènes les plus importantes économiquement et culturellement au Maroc. Ses graines contiennent une huile végétale, connue internationalement sous le nom d'huile d'argane, largement utilisée dans les secteurs alimentaire, cosmétique et pharmaceutique. L'objectif de cette étude est d'évaluer les niveaux de variation de la teneur en huile et de la composition en acides gras chez dix-huit arbres, afin d'identifier les génotypes présentant des traits désirables en termes de quantité et qualité de l'huile. Le rendement en huile de dix-huit génotypes a été déterminé après pressage mécanique, et l'analyse d'acides gras a été réalisée par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats obtenus montrent que les rendements en huile variaient entre 37,2 et 43,8 % et que les principaux acides gras dans l'huile extraite étaient l'acide oléique (47,15 %), suivi de l'acide linoléique (31,57 %), de l'acide palmitique (14,24 %) et de l'acide stéarique (5,8 %). La grande variabilité observée entre les génotypes représente une base très prometteuse pour développer une nouvelle variété d'argane avec une qualité d'huile élevée.

Mots clés
Argania spinosa, génotype, rendement en huile, acides saturés, acides insaturés

ABSTRACT

Impact of Genotype on Oil Content and Fatty Acid Composition in *Argania spinosa* L.

Argania spinosa (L.) is one of the most economically and culturally significant indigenous species in Morocco. Its seeds contain a vegetable oil, internationally known as argan oil, which is widely used in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries. The objective of this study is to evaluate the levels of variation in oil content and fatty acid composition among eighteen trees to identify genotypes with desirable traits in terms of oil quantity and quality. The oil yield of the eighteen genotypes was determined through mechanical pressing, and fatty acid analysis was performed using gas chromatography. The results showed that oil yields ranged from 37.2% to 43.8%, and the main fatty acids in the extracted oil were oleic acid (47.15%), followed by linoleic acid (31.57%), palmitic acid (14.24%), and stearic acid (5.8%). The significant variability observed among the genotypes provides a very promising basis for developing a new argan variety with high oil quality.

Keywords
Argania spinosa, genotype, oil yield, saturated acids, unsaturated acids

1. INTRODUCTION

L'arganier est parmi les espèces oléagineuses à haute valeur gastronomique, pharmaceutique et cosmétique, et qui occupe une place irremplaçable. Il s'agit est d'un arbre endémique du Maroc avec des affinités tropicales, produisant des fruits contenant des noyaux utilisés pour produire les huiles d'argane cosmétique et comestible. Il joue un rôle essentiel dans le développement durable de la région sud-ouest. L'huile d'argane présente une composition chimique riche et spécifique en acides gras, tocophérols, polyphénols, stérols, caroténoïdes, xanthophylles, squalène, mélatonine et saponines [1–4]

Dans la plupart des études précédentes sur l'huile d'argane, l'impact du génotype n'a pas été pris en compte et certains génotypes très prometteurs pour la culture n'ont pas été examinés jusqu'à présent au niveau de la qualité des fruits et de la composition en acides gras. Par conséquent, le présent travail de recherche a été réalisé dans le but de caractériser la composition en acides gras de dix-huit génotypes sélectionnés d'Oued Grou (région de Rabat). Les génotypes ont été choisis en fonction de leurs propriétés et des critères agro-morphologiques comme l'aspect de l'arbre, le rendement, les fruits et les noyaux. Ces données peuvent servir comme référence pour les nutritionnistes, les sélectionneurs, les cultivateurs et dans la sélection des génotypes les plus utiles pour une future production commerciale dans la région.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Matériel végétal : Dans cette étude, dix-huit génotypes d'Argania spinosa (L.) ont été sélectionnés dans la forêt de Tsili, dans la région d'Oued Grou, province de Khémisset, Maroc. Tsili est situé dans la vallée moyenne de Grou à une latitude de 33°28'N, une longitude de 6°23'W et à une altitude de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette région est caractérisée par un climat méditerranéen. La sélection a été effectuée en fonction de rendement des arbres et des descripteurs morphologiques. Les génotypes avec des graines de différentes formes et tailles ont été sélectionnés et collectés au même stade de maturité. L'étape suivante a consisté à extraire l'huile de chaque individu sélectionné. L'huile d'argane cosmétique utilisée dans cette étude a été extraite par un processus de pressage mécanique à froid à partir de graines non torréfiées de chaque génotype séparément. Les échantillons ont été stockés dans des bouteilles en verre ambré à l'abri de la lumière à 4°C.

Détermination des esters méthyliques d'acides gras : Le profil des acides gras a été déterminé en utilisant une méthode directe d'extraction et de méthylation, suivant la méthode officielle du Conseil Oléicole International (COI, 2001). L'analyse des esters méthyliques des acides gras par chromatographie en phase gazeuse a été réalisée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (Varian CP 3380) équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire Varian CP-Select CB. L'identification des acides gras a été effectuée en comparant leurs temps de rétention avec des standards méthyliques d'acides gras. Les résultats pour chaque acide gras ont été exprimés en pourcentage de la somme totale des acides gras, et les acides gras saturés (AGS), les acides gras monoinsaturés (AGMI) et les acides gras polyinsaturés (AGPI) ont été également calculés.

Analyse statistique : Les analyses statistiques ont été effectuées et les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart-type. La valeur de $p < 0,05$ a été utilisée pour indiquer les différences significatives entre les valeurs moyennes déterminées par une analyse d'ANOVA.

3. RÉSULTATS

Le rendement en huile de graines est généralement l'objectif principal de la gestion des ressources oléagineuses, cette analyse a été la première étape de la présente étude. Les résultats montrent que le rendement en huile des différents génotypes d'arganier varie de 37,2 à 43,8 %. Le tableau 1 montre des différences significatives entre les génotypes. En plus, les rendements en huile considérablement les plus élevés ont été notés pour les génotypes OG4 et OG10. Cependant, les rendements les plus faibles en huile a été obtenus à partir des graines des arbres OG7 et OG11.

Les triglycérides sont des composants importants de l'huile des plantes oléagineuses. Il existe trois principaux types d'acides gras qui peuvent être présents dans un triglycéride : les acides gras saturés (AGS), monoinsaturés (AGMI) et polyinsaturés

(AGPI) avec deux ou trois doubles liaisons. L'analyse des pics d'acides gras de 18 génotypes a révélé la dominance des acides gras insaturés (AGI) avec un pourcentage variant entre 77,64 et 81,62 %. En outre, les acides gras saturés ont été présents dans les échantillons analysés avec un pourcentage variant de 18,09 à 22,37 %, avec une prédominance des acides palmitique et stéarique. De même, les ratios d'acides gras AGI/AGS et AGMI/AGPI dans les huiles de noyaux d'argane a été compris entre 3,49 et 4,44 et entre 1,42 et 1,63, respectivement (Tableau 1).

Table 1. Rendement en huile et composition en acides gras de 18 génotypes sélectionnés d'arganier.

OG	RH	AGMI	AGPI	AGS	AGI	Mono/poly
1	39,33	48,67±0,63	31,48±1,06	20,08±0,25	80,15±0,42	1,55
2	40,33	48,93±0,77	31,06±0,64	19,74±0,33	79,99±1,4	1,58
3	39	48,30±0,68	32,94±0,55	19,99±0,17	81,23±0,78	1,44
4	43	45,72±0,02	32,13±0,58	22,37±0,52	77,85±0,60	1,42
5	38,7	46,53±1,39	31,11±0,69	22,26±0,35	77,64±0,74	1,50
6	42,7	47,83±1,09	30,22±0,65	21,73±0,10	78,05±0,43	1,59
7	37,4	47,46±0,06	31,43±1,09	21,27±0,58	78,89±1,15	1,53
8	38,9	48,58±0,46	31,87±1,04	19,15±0,40	80,45±0,57	1,51
9	40,33	48,28±0,05	33,35±0,03	18,09±0,19	81,62±0,01	1,45
10	43,8	47,56±0,05	30,63±0,7	21,97±0,66	78,19±0,65	1,57
11	37,2	49,2±0,02	30,46±0,51	20,39±0,56	79,66±0,53	1,63
12	42	48,11±0,06	32,09±0,78	20,03±0,21	80,20±0,82	1,50
13	39	47,73±0,05	31,73±1,00	20,52±0,27	79,46±0,96	1,51
14	38,42	48,77±0,02	31,31±0,89	19,72±0,13	80,09±0,9	1,55
15	42	48,42±0,04	32,15±0,68	19,48±0,07	80,58±0,65	1,50
16	40,67	47,99±0,06	32,02±0,69	20,08±0,51	80,02±0,75	1,50
17	38,8	47,40±0,08	33,47±0,43	19,12±0,56	80,88±0,37	1,42
18	38	46,39±0,02	31,72±0,20	21,82±0,08	78,12±0,18	1,46

Le texte continue ici. Pour compléter la présente étude, des profils en acides gras ont été réalisés, incluant les acides : palmitique, palmitoléique, stéarique, oléique, alpha-linolénique, vaccénique, linoléique, arachidique et gadoléique. La composition moyenne en esters méthyliques d'acides gras des huiles obtenues à partir des dix-huit génotypes est présentée dans le Tableau 2. Les résultats ont montré que les principaux acides gras dans l'huile extraite étaient l'acide oléique (47,15 %), suivi de l'acide linoléique (31,57 %), l'acide palmitique (14,24 %) et l'acide stéarique (5,8 %). Les autres acides étudiés ont été présents mais en faibles quantités. La composition en acides gras dans les huiles des dix-huit génotypes d'arganier a été significativement différente ($P \leq 0,05$) dans la plupart des cas, à l'exception de l'acide stéarique. La teneur en acide gras oléique a été significativement plus élevée dans les huiles extraites des génotypes OG 2 et OG 11 par rapport à celles produites par OG 4, OG 5 et OG 18. De plus, la teneur la plus faible et la plus élevée en acide linoléique polyinsaturé ont été détectées dans OG 6 (30,12 %) et OG 17 (33,39 %), respectivement. La concentration la plus élevée en acide palmitique a été trouvée dans OG 4, OG 5 et OG 10 (15 %), tandis que des niveaux autour de 12 % ont été observés dans le génotype OG 9. Une faible teneur (inférieure à 1 %) a été notée pour les acides palmitoléique, vaccénique, linoléique, arachidique et gadoléique.

Table 2. Composition en acides gras de 18 génotypes sélectionnés d'arganier.

GP	C16:0	C16:1	C18:0 ns	C18:1 w9	C18:1 w7	C18:2	C18:3	C20:0	C20:1
1	13,90±0,10	0,26±0,07	5,57±0,44	47,87±0,66	0,16±0,01	31,29±1,06	0,18±0,03	0,33±0,09	0,39±0,03
2	14,03±0,14	0,11±0,02	5,64±0,45	48,44±0,75	0,14±0,04	30,91±0,67	0,14±0,05	0,31±0,02	0,28±0,03
3	13,82±0,32	0,16±0,01	5,65±0,47	46,81±0,67	0,10±0,05	32,84±0,56	0,09±0,03	0,35±0,06	0,21±0,06
4	15,26±0,19	0,14±0,01	6,42±0,31	45,03±0,01	0,09±0,02	32,02±0,57	0,08±0,02	0,38±0,02	0,44±0,01
5	15,26±0,14	0,12±0,02	6,62±0,43	45,91±1,33	0,09±0,09	31,02±0,7	0,09±0,04	0,39±0,05	0,40±0,06
6	14,60±0,20	0,15±0,02	6,55±0,19	47,38±1,12	0,10±0,03	30,12±0,66	0,10±0,05	0,43±0,02	0,52±0,05
7	14,90±0,03	0,15±0,04	6,04±0,64	46,66±0,01	0,10±0,02	31,34±1,10	0,09±0,03	0,40±0,03	0,55±0,07
8	13,61±0,17	0,13±0,02	5,31±0,49	47,70±0,48	0,13±0,03	31,66±0,99	0,17±0,02	0,55±0,02	0,53±0,01
9	12,63±0,19	0,10±0,03	5,30±0,01	47,47±0,22	0,13±0,02	33,22±0,01	0,14±0,05	0,44±01	0,57±0,03
10	15,16±0,03	0,17±0,01	6,40±0,66	46,92±0,12	0,10±0,04	30,56±0,69	0,07±0,04	0,42±0,03	0,37±0,04
11	14,79±0,04	0,14±0,02	5,39±0,57	48,44±0,33	0,11±0,05	30,39±0,5	0,07±0,01	0,33±0,03	0,50±0,03
12	14,02±0,07	0,12±0,03	5,46±0,24	47,45±0,78	0,15±0,03	31,91±0,80	0,22±0,02	0,32±0,01	0,36±0,031
13	14,78±0,03	0,13±0,02	5,52±0,22	46,99±0,55	0,10±0,04	31,61±1,02	0,10±0,02	0,33±0,02	0,50±0,07
14	13,76±0,09	0,12±0,02	5,37±0,01	£47,89±0,1	0,14±0,04	31,23±0,91	0,13±0,04	0,61±0,05	0,61±0,03
15	13,58±0,10	0,11±0,03	5,52±0,04	47,89±0,47	0,14±0,01	32,07±0,7	0,08±0,03	0,31±0,02	0,28±0,04
16	14,02±0,05	0,13±0,02	5,54±0,56	47,35±0,88	0,10±0,05	31,95±0,67	0,08±0,04	0,33±0,02	0,40±0,06
17	13,43±0,07	0,12±0,02	5,45±0,49	46,67±0,20	0,09±0,03	33,39±0,44	0,07±0,02	0,34±0,01	0,50±0,08
18	14,82±0,07	0,12±0,01	6,60±0,01	45,79±0,33	0,09±0,02	31,64±0,2	0,08±0,01	0,41±0,02	0,39±0,01

4. DISCUSSION

Les caractéristiques multifacettes de l'huile d'argane telles que la couleur, l'arôme, les propriétés nutritives et cosmétiques la différencient des autres huiles végétales. Ces attributs sont influencés par de nombreux facteurs, essentiellement le génotype, l'écologie, la morphologie, la physiologie et les pratiques agronomiques. Les résultats montrent que le rendement en huile des différents génotypes d'arganier varie de 37,2 à 43,8 %. Ces résultats sont en accord avec ceux de Taribak et al. [5], qui ont rapporté que la teneur totale en huile varie autour de 45 %. D'autre part, Belcadi-Haloui et al. [6] ont mentionné que la teneur totale en huile a été de 41 %. En plus du génotype, la teneur en huile dépend également de l'environnement et de la méthode d'extraction. En fait, l'extraction par solvant a donné un rendement plus élevé de l'ordre de 57% [7], 59,25 % [6], 51-57 % [8], 61,3 % [9]. L'analyse des pics d'acides gras de 18 génotypes a révélé la dominance des acides gras insaturés (AGI) avec un pourcentage variant entre 77,64 et 81,62 %. Ces pourcentages sont en accord avec ceux rapportés par des études antérieures. En effet, Hilali et al. [10] et Kouidri et al. [11] ont montré que la teneur en acides gras insaturés des huiles obtenues à partir de graines non torréfiées fluctue autour de 80 %. D'autre part, les acides gras saturés ont été présents dans les échantillons analysés avec un pourcentage variant de 18,09 à 22,37 %, avec une prédominance des acides palmitique et stéarique. Ces résultats ont été confirmés lorsqu'ils ont été comparés à ceux rapportés précédemment [12,13]. Il est clair que le type de génotype sélectionné a affecté la composition en acides gras de l'huile d'argane. Le facteur génétique influence également la composition des acides gras dans les huiles, comme cela a été rapporté pour certaines drupes, telles que la cerise acide (Prunus cerasus L.), la cerise douce (Prunus avium L.) et l'amande (Prunus amygdalus Batsch) [14, 15]. Généralement, les lipides avec une teneur élevée en acides gras monoinsaturés, en particulier l'huile de graines d'argane, sont utilisés dans les produits de soins de la peau émollients, les crèmes, les huiles de bain, les après-shampoings et le maquillage [16].Les résultats montrent que les principaux acides gras dans l'huile extraite étaient l'acide oléique, suivi de l'acide linoléique, l'acide palmitique et l'acide stéarique. Cela correspond au résultat de la biosynthèse des acides gras où

l'acide palmitique est principalement le premier acide gras à être synthétisé après une activation de la thioestérase sur le palmitoyl-ACP (Palmitoyl-CoA). Le palmitoyl-ACP est converti par une synthase de 3-cétolacyl-ACP (KAS II) en stéaroyl-ACP [17], qui est généralement transformé en acide oléique (C18:1w9) en présence de stéaroyl-ACPΔ9-désaturase et de thioestérase libérant la fraction ACP. Les autres acides étudiés étaient présents en faibles quantités. Les valeurs obtenues sont en accord avec des travaux antérieurs [18]. Des faibles teneurs (inférieure à 1 %) ont été notées pour les acides palmitoléique, vaccénique, linoléique, arachidique et gadoléique. Bien que ces acides soient présents en petites quantités, ils jouent un rôle structural. De plus, l'huile d'argane favorise un apport adéquat en acides gras polyinsaturés n-6, principalement constitué par l'acide linoléique, précurseur de la série n-6 avec des propriétés pharmacologiques élevées et des effets protecteurs contre les maladies dégénératives telles que les maladies cardiovasculaires et le cancer [19]. Rahmani [20] a rapporté que 17 à 21 g d'huile d'argane confèrent les besoins quotidiens du corps en acide linoléique. Les génotypes étudiés se sont révélés prometteurs, et il est suggéré qu'ils soient développés dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique à l'avenir, en fonction de leurs propriétés agricoles, physiques et biochimiques. Les résultats rapportés dans cet article confirment que les arbres d'argane sont une source riche en acide linoléique et en nombreux autres acides gras qui semblent avoir un effet très positif sur la santé humaine.

5. CONCLUSIONS

L'huile d'argane est l'un des produits importants utilisés dans l'alimentation humaine et la cosmétique. Elle contient des niveaux élevés à la fois d'acide oléique et d'acide linoléique, ce qui en fait une excellente source d'acides gras polyinsaturés oméga-6. Les résultats de cette étude illustrent la grande diversité génétique existant au sein des arbres d'arganier en tant qu'espèce forestière, ainsi que le rôle du génotype dans la composition de l'huile et des acides gras. La forte variabilité observée entre les génotypes représente une base très prometteuse pour développer une nouvelle variété d'argane de haute qualité. Davantage d'expérimentations sont nécessaires pour clarifier l'hérédité des acides gras chez l'arganier et pour déterminer la meilleure méthode d'amélioration génétique permettant de générer des génotypes supérieurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Guillaume, D.; Charrouf, Z. Saponines et métabolites secondaires de l'arganier (Argania spinosa). Cahiers Agricultures 2005, 14, 509-516.

2. Charrouf, Z.; Guillaume, D. Should the amazigh diet (regular and moderate argan-oil consumption) have a beneficial impact on human health?. Critical reviews in food science and nutrition 2010, 50 (5), 473-477. DOI: https://doi.org/10.1080/10408390802544520

3.Venegas, C.; Cabrera-Vique, C.; García-Corzo, L.; Escames, G; Acuña-Castroviejo, D.; López, L. C. Determination of coenzyme Q10, coenzyme Q9, and melatonin contents in virgin argan oils:Comparison with other edible vegetable oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2011, 59 (22), 12102-12108.

4. Cabrera-Vique, C.; Marfil, R.; Giménez, R.; Martínez-Augustin, O. Bioactive compounds and nutritional significance of virgin argan oil–an edible oil with potential as a functional food. Nutrition reviews 2012, 70 (5), 266-279. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00478.x

5. Taribak, C.; Casas, L.; Mantell, C.; Elfadli, Z.; Metni, R.E.; Martínez de la Ossa, E.J. Quality of Cosmetic Argan Oil Extracted by Supercritical Fluid Extraction from Argania spinosa L. Journal of Chemistry 2013, 9. DOI: https://doi.org/10.1155/2013/408194

6. Belcadi-Halouli, R.; Zekhnini, A.; Hatimi, A. Effects of extraction methods on chemical composition and oxidative stability of Argan oil. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 2015, 7 (6), 518-524. Available at: https://www.jocpr.com/articles/effects-ofextraction-methods-on-chemical-composition-and-oxidativestability-of-argan-oil.pdf [Accessed 26 May 2021]

7. Belcadi-Haloui, R.; Zekhnini, A.; Hatimi, A. Comparative study on fatty acid and tocopherol composition in argan oils ex-tracted from fruits of different forms. Acta Botanica Gallica 2008, 155 (2), 301–305. DOI: https://doi.org/10.1080/12538078.2008.10516110

8. Ait Aabd, N.; El Asbahani, A.; El Alem, Y.; El Finti, A.; Msanda, F.; El Mousadik, A. Variation in oil content and fatty acid composition in preselected argan trees with morphological characters and geographical localization. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism 2013, 6 (3), 217-225. DOI: https://doi.org/10.1007/s12349-013-0134-2

9. Hanana M.; Mezghenni H.; Ayed R.B.; Dhiab A.B.; Jarradi S.; Jamouss B.; Hamrouni L. Nutraceutical potentialities of Tuni-sian Argan oil based on its physicochemical properties and fatty acid content as assessed through Bayesian network anal-yses. Lipids in health and disease 2018, 17 (1), 138. DOI: https://doi.org/10.1186/s12944-018-0782-9

10. Hilali, M.; Charrouf, Z.; Aziz Soulhi, A.E.; Hachimi, L.; Guillaume, D. Influence of origin and extraction method on argan oil physico-chemical characteristics and composition. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2005, 53 (6), 2081-2087. DOI: https://doi.org/10.1021/jf040290t

11. Kouidri, M.; Saadi, A.K.; Noui A.; Medjahed, F. The chemical composition of argan oil. International Journal of Advanced Studies in Computers, Science and Engineering 2015, 4 (1), 24. Available at: http://www.ijascse.org/volume-4-theme-based-issue-1/Argon%20Oil.pdf [Accessed 23 April 2021]

12. Khallouki, F.; Younos, C.; Soulimani, R.; Oster, T.; Charrouf, Z.; Spieglehader, B.; Batsh, H.; Owen, R.W. Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols, and phenolics compounds should confer valuable cancer chemo-preventive effects. European Journal of Cancer Prevention 2003, 12 (1), 67-75.

13. Yousfi, M.; Bombarda, I.; Hamia, C.; Djeridane, A.; Stocker, P.; Gaydou, E. Fatty acid, triglyceride and tocopherol composi-tion of Algerian Argan (Argania spinosa) fruit seed lipids. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism 2009, 2 (3), 197. DOI: https://doi.org/10.1007/s12349-009-0058-z

14. Kodad, O.; Socias i Company, R. Variability of oil content and of major fatty acid composition in almond (Prunus amygdalus Batsch) and its relationship with kernel quality. Journal of agricultural and food chemistry 2008, 56 (11), 4096-4101.

15. Górnaś, P.; Rudzińska, M.; Raczyk, M.; Mišina, I.; Segliņa, D. Impact of cultivar on profile and concentration of lipophilic bioactive compounds in kernel oils recovered from sweet cherry (Prunus avium L.) by-products. Plant Foods for Human Nutri-tion 2016, 71 (2), 158-164. DOI: https://doi.org/10.1007/s11130-016-0538-5

16. Goik, U.; Goik, T.; Załęska, I. The properties and application of argan oil in cosmetology. European Journal of Lipid Science and Technology 2019, 121 (4), 1800313. DOI: https://doi.org/10.1002/ejlt.201800313

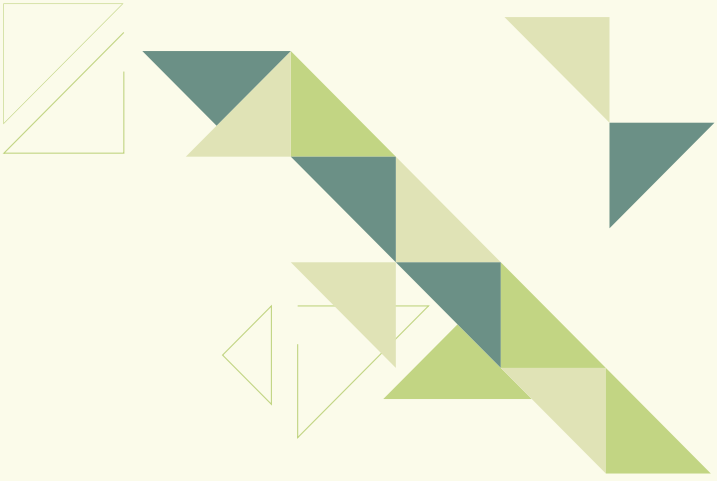
17.Ohlrogge, J.; Browse, J. Lipid biosynthesis. The Plant Cell 1995, 7 (7), 957. DOI: https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.957

18. Ben Mansour, R.; Ben Slema, H.; Falleh, H.; Tounsi, M.; Kechebar, M.S.A.; Ksouri, R.; Megdiche-Ksouri, W. Phytochemical characteristics, antioxidant, and health properties of roasted and unroasted Algerian argan (Argania spinosa) oil. Journal Food Biochemistry 2018, 42 (5), e12562. DOI: https://doi.org/10.1111/jfbc.12562

19. Soel, S.M.; Choi, O.S.; Bang, M.H.; Park, J.H.Y.; Kim, W.K. Influence of conjugated linoleic acid isomers on the metastasis of colon cancer cells in vitro and in vivo. The Journal of Nutritional Biochemistry 2007, 18 (10), 650-657. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.10.011

20. Rahmani, M. Composition chimique de l'huile d'argane « vierge». Cahiers Agricultures 2005, 14 (5), 461-465. Available at: https://revues.cirad.fr/index.php/cahiersagricultures/article/view/30539/30299[Accessed 23 April 2021]

AXE 4
Socio-économie et développement territoriale de la RBA



COMMUNICATIONS AFFICHÉES

Argan Futures: Overcoming Obstacles to the Effective Utilization of Scientific Findings in Ar gan Cultivation and Conservation

Redouan QESSAOUI [1,*], Salahddine CHAFIKI [1,2], Ahmed BOUAMAIR [1,3], Naima CHABBI[1,4], Abdelmalek MAHROUG[1,3], Abdelhadi AJERRAR[1], Naima AITABD[1], Abdeghani TAHIRI[1], Meriyem KOUFAN[1], Mohamed ALOUANI[3] and Rachid BOUHARROUD [1].

[1] *Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agricul- tural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco*

[2] *AgroBioSciences Department (AgBS), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Ben Guerir, Morocco;*

[3] *Laboratory of Biotechnology and Valorization of Natural Resources, Faculty of Sci- ences - Agadir, Ibn Zohr University, BP 8106, 80000 Agadir, Morocco.*

[4] *Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Cadi Ayyad University (UCA), Marrakech, Morocco*

* *redouan.qessaoui@inra.ma*

Keywords
Argania Spinosa, valorization, conservation

ABSTRACT

Argania Spinosa plays a crucial socioeconomic role in Morocco. In recent decades, scien-tific research has substantially advanced, particularly in the valorization of argan prod- ucts. This research primarily focuses on determining the chemical composition and key biological activities of argan oil. These bioactive products find applications in cosmetics, medicine, pharmaceuticals, and various industrial sectors. Concurrently, other studies concentrate on aspects such as plant growth, climate impact, biodiversity preservation, and environmental conditions affecting argan trees. However, it's notable that a signifi- cant proportion of research efforts in Morocco (around 62%) are directed towards the eco-nomic valorization of argan rather than ecological conservation. Research endeavors on argan need to strike a balance between economic exploitation and ecological preservation. Additionally, efforts should be made to effectively disseminate research findings to farm- ers, empowering them to protect this endemic tree species and enhance argan cultivation levels across the country. The aim of this study is to highlight the research conducted on the Argan tree and raise awareness among local and scientific communities to direct re- search towards preserving this national heritage, which is severely affected by these cli- mate changes.

Mots clés
Arganier, rhizosphère, abondance microbienne.

RÉSUMÉ

Argane Futures : surmonter les obstacles à l'utilisation efficace des résultats scientifiques dans la culture et la conservation de l'arganier

Argania Spinosa revêt une importance socioéconomique majeure au Maroc. Au cours des dernières décennies, les avancées scientifiques ont largement contribué à la valorisation des produits issus de l'arganier, avec un accent particulier sur l'analyse de la composition chimique et des propriétés biologiques de l'huile d'argan. Ces produits bioactifs sont exploités dans divers domaines, notamment la cosmétique, la médecine, la pharmacie, ainsi que dans d'autres secteurs industriels. En parallèle, d'autres études se focalisent sur la croissance de l'arganier, l'influence de changement climatique, la conservation de la biodiversité de cette espèce. Néanmoins, il est important de noter qu'une part significative de la recherche au Maroc (environ 62%) se concentre

principalement sur la valorisation économique de l'arganier, au détriment de la conservation écologique. Il est essentiel que les recherches sur l'arganier au Maroc trouvent un équilibre entre l'exploitation économique et la préservation écologique de ce patrimoine. De plus, il est crucial de mettre en place des stratégies de diffusion des résultats scientifiques auprès des agriculteurs, afin de les exploiter pour la protection et la valorisation d'arganier. Cette étude vise à mettre en lumière direction des recherches scientifiques sur l'arganier et à sensibiliser les communautés locales et scientifiques sur l'importance de réorienter les efforts de recherche vers la préservation de ce patrimoine national, fortement menacé par les changements climatiques actuels.

1. INTRODUCTION

The argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels; syn A. sideroxylon Rœm & Schult.) belongs to the Sapotaceae family and is the only species of this tropical family found in the sub- tropical zone. The thorny evergreen tree grows endemically in Morocco, mainly on the western side of the High Atlas, and has also been propagated in Israeli deserts [1-3] In Morocco, this crop plays a significant role in the economy and culture of Morocco. The extraction of argan oil provides income for many rural communities, particularly women who are involved in the traditional production process. The argan forest also serves as a habitat for various plant and animal species, contributing to biodiversity conservation [4- 5]. Furthermore, argan oil, extracted from the seeds of the argan tree, is highly valued for its culinary, cosmetic, and medicinal properties. It is rich in essential fatty acids, antioxidants, and vitamin E. Culinary argan oil is used for cooking and as a condiment, while cosmetic argan oil is used in skincare and haircare products [6-9]. Argania spinosa and the argan forest ecosystem face threats from factors such as overgrazing, deforestation, and climate change. Efforts are being made to conserve and sustainably manage the argan forests to ensure the long-term viability of both the tree and the ecosystem it supports [10- 12]. In this study, we will present the state of the art of scientific production and how the findings can be of use to farmers for the conservation of the argan tree in Morocco.

2. MATERIALS AND METHODS

The data used in this work were obtained from Google Scholar using "Argania; arganier; argan" in the title of the document between 1900 and 2023. 1160 documents were obtained and used to analyze the development of document numbers by year. Among these docu- ments, we selected 510 documents published in Scopus to analyze the development of these documents by country and subject area. In addition, the VOSviewer software (ver- sion 1.6.20) was used to construct and visualize bibliometric networks. In addition, a co- occurrence analysis of keywords and co-authorship of countries was performed.

3.RESULTS

3.1.Development of scientific production on the argan tree

The results showed that the cumulative number of documents increased from 1900 to 2023 with an average of 1160 documents in 2023, while the highest number of documents by year was obtained in 2020 with an average of 67 documents followed by 2023 (65 documents) (Fig 1).

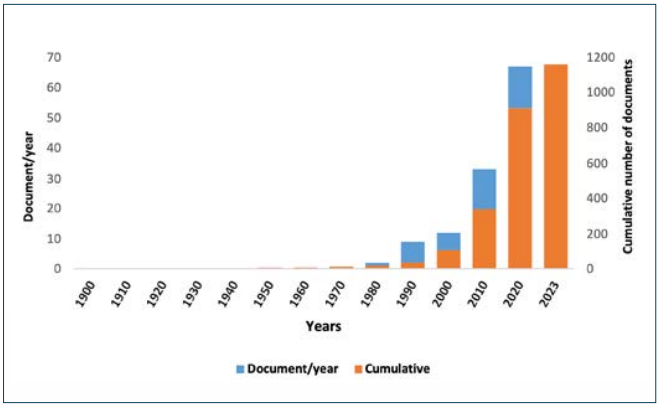


Fig 1 : Development of documents number by year

According to data from Scopus from 1981 to 2024, the highest number of documents by country or territory was recorded in Morrocco with an average of 511 documents followed by France and Spain (158 and 83 documents respectively) (Fig 2). By subject area, 22 % of the documents total were obtained in Agricultural and Biological Sciences followed by

Biochemistry, Genetics, and Molecular Biology and Chemistry with an average of 11%.

Environmental Sciences, Medicine, and Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics areas showed an average of 6-8 %, while the lowest value was obtained in Social Sciences (Fig 3).

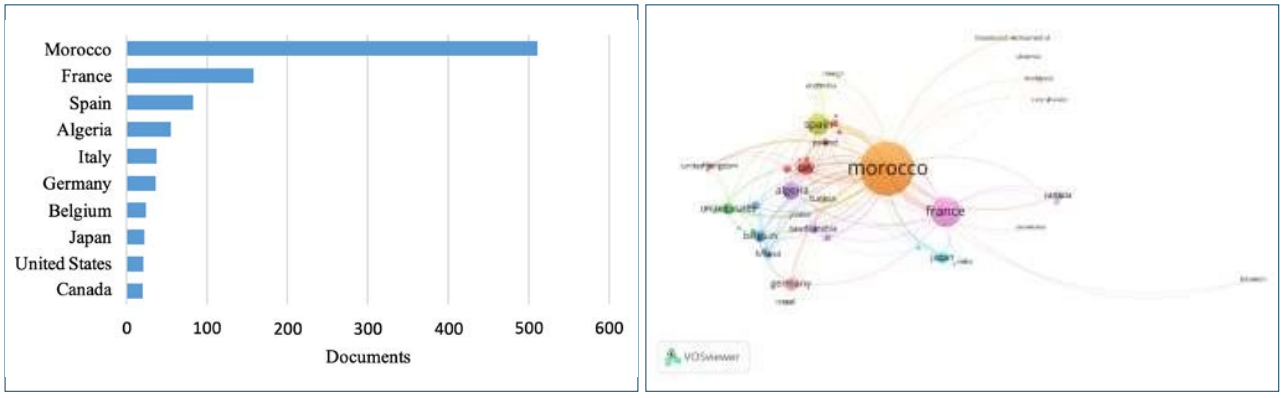


Fig 2 : Development of documents number by country or territory

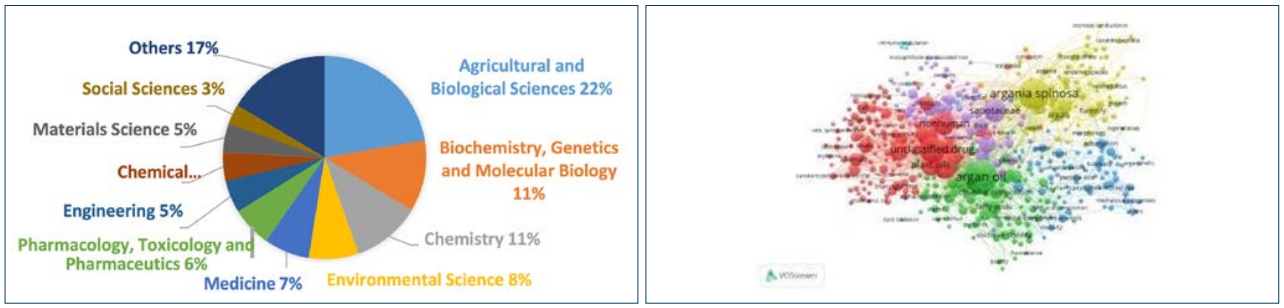


Fig 3 : Development of documents number by subject area

3.2.Key challenges of cultivating argan trees in Morocco

Cultivating argan trees in Morocco presents several challenges, including climate change, limited water resources, pest and disease management, traditional farming methods, limited access to markets, lack of technical knowledge, conservation concerns, and regulatory Issues. Furthermore, It 's estimated that a significant portion of research is likely dedicated to the economic valorization of argan with an average of 62 % while the ecological conservation present 38 % of global research in Morocco (Fig 4).

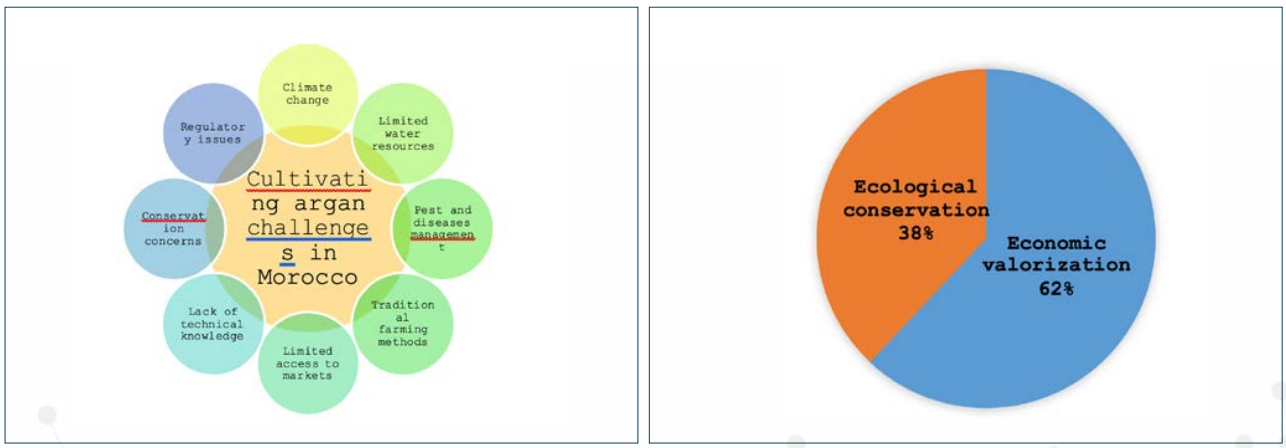


Fig 4 : Key challenges of cultivating argan trees in Morocco

3.3.Strategies to overcome obstacles to the effective utilization of scientific findings in argan cultivation and conservation

To overcome obstacles to the effective utilization of scientific findings in argan cultivation and conservation, several strategies can be implemented such as Technology Transfer, Research Prioritization, Policy Support , Incentive Mechanisms , Community Engagement, Knowledge Exchange Platforms and Capacity Building (fig 5).

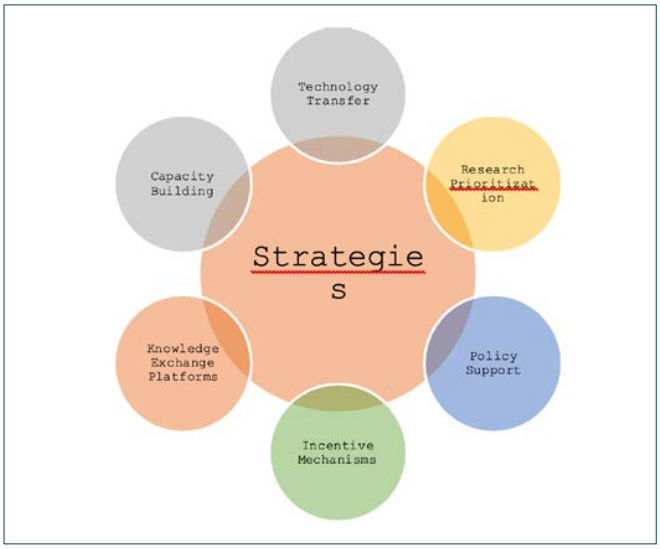


Fig 5 : Strategies

5. DISCUSSION

The scientific research on the argan tree has seen a notable increase in recent decades. This surge in interest reflects a growing recognition of the ecological, economic, and cul- tural importance of the argan tree and its unique ecosystem. In Morocco, it's estimated that a significant portion of the research is likely dedicated to the economic valorization of argan (62%), given its economic importance for Morocco as an export product and its potential for socio-economic development in producing regions. This may include stud- ies on the quality and properties of argan oil, research on new applications in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries, as well as efforts to improve yields and profita- bility of production [13-15]. On the other hand, the ecological conservation of argan and its associated ecosystem is also a major concern due to the environmental value and bio- diversity of the argan forest. A substantial portion of research is therefore likely to focus on issues such as deforestation, habitat restoration, biodiversity monitoring, sustainable natural resource management, and the impacts of climate change on argan forests[16- 18]. Overall, research on argan in Morocco should strike a balance between economic valorization and ecological conservation, recognizing the importance of both perspec- tives in ensuring sustainable development and effective management of this valuable resource.

The argan tree faces several conservations concerns due to various factors impacting its habitat and population. Also, balancing argan cultivation with conservation efforts to protect the endemic tree and its unique ecosystem poses challenges for sustainable man- agement. To overcome obstacles to the effective utilization of scientific findings in argan cultivation and conservation, several strategies can be implemented such as facilitate the transfer of appropriate technologies and innovations from research institutions to local communities, such as improved seed varieties, irrigation techniques. Also, prioritize re- search that addresses knowledge gaps and emerging challenges in argan cultivation and conservation, such as climate change resilience, pest and disease management, genetic diversity conservation, and socio-economic impacts of conservation interventions. Fur- thermore, advocate for policies that integrate scientific research findings into land-use planning, natural resource management, and conservation strategies at the local, re- gional, and national levels. Additionally, invest in educational programs and training workshops for local farmers, extension workers, and conservation practitioners to en- hance their understanding of scientific findings related to argan cultivation and conser- vation [12], [19-21].

CONCLUSIONS

The argan forest possesses considerable financial, ecological, and cultural significance in Morocco. Despite advances in scientific study, it is essential to balance commercial valorization with ecological conservation to ensure the continued development of this rich resource. The obstacles encountered in argan cultivation, including climate change, restricted water availability, and conventional agricultural practices, require targeted strategies including technology transfer, research prioritization, policy support, and community

involvement. The dissemination of scientific research and the empowerment of local farmers via targeted initiatives can improve argan production and conservation efforts, thereby ensuring the preservation of this national heritage for future generations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1.Morton JF, Voss GL. The argan tree (Argania sideroxylon, sapotaceae), a desert source of edible oil. Econ Bot. 1987 Vol 41(2):221–33.

2.Benchekroun F, Buttoud G. L'arganeraie dans l'économie rurale du sud-ouest marocain. Forêt Méditerranéenne. 1989 (2):127– 36.

3.Nerd A, Eteshola E, Borowy N, Mizrahi Y. Growth and oil production of argan in the Negev Desert of Israel. Ind Crops Prod. 1994 Vol 2(2): pp 89–95.

4. Charrouf Z, Guillaume D. Ethnoeconomical, ethnomedical, and phytochemical study of Argania spinosa (L.) Skeels. J Eth- nopharmacol. 1999 Vol 67(1): pp 7–14.

5. Barkaoui M, Msanda F, Boubaker H, El-Boullani R, El Asri O, Chokri A, et al. Ethnobotany, traditional knowledge, and nutritional value of Argan (Argania spinosa (L.) Skeels) in Western Anti-Atlas of Morocco. Brazilian Journal of Biology 2022, Vol 84(10):e260477.

6. Moukal A. L'arganier, Argania spinosa L. (skeels), usage thérapeutique, cosmétique et alimentaire*. Phytotherapie 2004 Vol 2(5):135–41.

7. Charrouf Z, Guillaume D. Secondary metabolites from Argania spinosa (L.) skeels. Phytochemistry Reviews 2002, Vol 1(3):345–54.

8. Ait Aabd N, El Asbahani A, El Alem Y, El Finti A, Msanda F, El Mousadik A. Variation in oil content and fatty acid com- position in preselected argan trees with morphological characters and geographical localization. Med J Nutrition Metab. 2013, Vol 6(3):217–25.

9. Olojo FO, Akinrinde AS, Ogundairo SA, Ubochi VC. Argania spinosa essential oil ameliorates colonic damage and ex- traintestinal alterations in a rat model of acetic acid-induced colitis by suppressing oxidative stress and inflammation. Ad- vances in Traditional Medicine 2023, pp 1–16.

10. Ezaidi S, Haddou MA, Kabbachi B, Ezaidi A, Aichi A, Das P, et al. Forest Degradation Susceptibility and Sustainability: Case Study of Arganeraie Biosphere Reserve, Atlantic High Atlas, Morocco. Forest Degradation Susceptibility and Sustain- ability: Case Study of Arganeraie Biosphere Reserve, Atlantic High Atlas, Morocco In : Geospatial Practices in Natural Resources Management Cham : Springer International Publishing 2024, 5 07–26.

11.Moukrim S, Lahssini S, Rhazi M, Alaoui HM, Benabou A, Wahby I, et al. Climate change impacts on potential distribution of multipurpose agro-forestry species: Argania spinosa (L.) Skeels as case study. Agroforestry Systems 2019, Vol 93(4):1209–19.12.El Ghiouan S, Boujrouf S. Innovation and the Sustainable Development in the Arganeraie Biosphere Reserve (ABR). Studies in Big Data 2024, Vol 143, pp 75–93.

13.Kebbaj R El, Bouchab H, Tahri-Joutey M, Rabbaa S, Limami Y, Nasser B, et al. The Potential Role of Major Argan Oil Compounds as Nrf2 Regulators and Their Antioxidant Effects. Antioxidants 2024, Vol 13(3): p 344.

14.Khattabi L, Dakkach M, Bouziane H, Allouch M. Physicochemical properties, antioxidant, and antibacterial activity of Ar- gania Spinosa honey produced only in Morocco: Application in the care of surgical wounds. Moroccan Journal of Chemistry 2023, pp1038-1056.

15. Rahim S, Bellali F, Bennani M, Sabiri C, Derouiche A, Rahim S. Secondary Metabolites And Antioxidant Activity Of Ar- gania Spinosa (L.) Almonds Cultivated In The Three Region Of Morrocco. Journal of Namibian Studies : History Politics Culture. 2023, Vol 35:24 pp 10–23.

16.
Alami M, Belkadi B, Yatrib C, Medraoui L, Pakhrou O, Rabeh K, et al. Dynamics of Tree Cover on the Adaptive Genetic Variation and Evolutionary Power of the Argan Forests from the Essaouira Region of Morocco Facing Climate Change. Environmental Science and Engineering 2023, pp 187–205.

17.Ait Aabd N, Bouharroud R, Tahiri A, Wifaya A, Mimouni A, Mousadik A El. Genetic diversity and breeding of argan tree (Argania spinosa l. skeels). Advances in Plant Breeding Strategies: Nut and Beverage Crops 2020 , Vol 4, pp 31–56.

18.Chakhchar A, Haworth M, El Modafar C, Lauteri M, Mattioni C, Wahbi S, et al. An assessment of genetic diversity and drought tolerance in argan tree (Argania spinosa) populations: Potential for the development of improved drought toler- ance. Front Plant Sci 2017, 8:234286.

19. Kesavan P. Enablers of Organisational Learning, Knowledge Management, and Innovation: Principles, Process, and Prac- tice of Qualitative Data. Springer Nature. Springer Singapore 2020. pp1–308.

20.Balslev H. Entrepreneurship and the Sustainable Development Goals. The bargain power of organ in Morocco. Geoforum.dk. 2024

21.Perry W. Social sustainability and the argan boom as green development in Morocco. World Dev Perspect. 2020 1;20:100238.

Analyse des Pratiques de Production d'Huile d'Argane : Enquêtes auprès des Coopératives du Centre-Ouest du Maroc

Hasnae Charai [1], Hajar Banaille [1], Noamane Taarji [2], Kuniyoshi Shimizu [3], Khadija Lamrani [1], Tarik Ouchbani [1,*].

[1]*Département des Sciences Alimentaires et Nutritionnelles, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II Rabat ;*

[2] *Ecole des Sciences de l'Agriculture durable et l'Environnement Université Polytechnique Mohamed 6, Ben Guerir ;*

[3]*Département des sciences agro-environnementales, Faculté d'agriculture, École supérieure de l'Université de Kyushu ;*

** t.ouchbani@iav.ac.ma*

RÉSUMÉ

Endémique du Maroc, l'huile d'argane est particulièrement intéressante tant par ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques exceptionnelles que par son caractère emblématique. Ainsi, ce travail consiste en des enquêtes menées auprès de plusieurs coopératives productrices d'huile d'argan, pour les caractériser, déceler les principales différences, notamment technologiques et productives, et à analyser divers aspects de la production d'huile d'argan. Un questionnaire a été réalisé dans cinq provinces du Centre-Ouest du Maroc. Les données ont été collectées en se focalisant sur différents aspects tels que l'approvisionnement de la matière première, les infrastructures et équipements de la coopérative, la certification, ainsi que les différentes étapes de production d'huile d'argane, incluant la collecte et le séchage du fruit, le dépulpage, le concassage, la torréfaction, l'extraction et la commercialisation. L'analyse des résultats a montré que 44,4% des coopératives ont la certification ONSSA, cependant, 33% ne sont pas encore certifiées. Il y a des différences au niveau de l'infrastructure et les équipements utilisés, avec 55,6% optant pour une extraction semi-mécanique et 22,2% pour une extraction traditionnelle. Les résultats du questionnaire ont aussi montré que le rendement en huile varie considérablement d'une coopérative à l'autre. Ces résultats soulignent l'importance de renforcer la traçabilité, la certification, et les pratiques de production afin de garantir la qualité et l'authenticité de l'huile d'argan. Des données plus précises et fiables sont nécessaires en élargissant les enquêtes à un plus grand nombre de coopératives.

Mots clés
huile d'argane, enquêtes, questionnaires, coopératives, Maroc.

ABSTRACT :

Analysis of Argan Oil Production Practices: Surveys of Cooperatives in Central-west Morocco

Argan oil is known to be a precious edible, cosmetical, and pharmaco-logical oil extracted from the argan tree [*Argania spinosa* (L.) skeels], which is endemic to central-west Morocco. Therefore, this work in-volved surveys conducted among several cooperatives producing argan oil (Argania spinosa), aiming to characterize them and identify the main differences, particularly technological and productive aspects. A com-prehensive questionnaire was administered, addressing key issues about the supply of raw materials, infrastructure and equipment, certifi-cation, as well as the different stages of the argan oil production process, including drying, depulping, crushing, roasting, and extraction. The analysis of the results showed that 44.44% of cooperatives have the ONSSA certification, but 33% are not yet certified. There are differences

Keywords
survey, questionnaires, cooperatives, argan oil, Morocco

in the infrastructure and equipment used, with 55.6% using semi-mechanical extraction and 22.2% using traditional extraction. The results also showed that oil yields vary from one cooperative to another. These findings emphasize the need to improve traceability, certification, and production practices to ensure the quality and avoid adulteration of ar-gan oil. Additional data is needed by expanding the surveys to more co-operatives. This would help to better understand various aspects of ar-gan oil production.

1. INTRODUCTION

L'huile d'argan, extraite du fruit de l'arganier (Argania spinosa (L.) Skeels) est un arbre fruitier-forestier endémique du centre-ouest du Maroc, et est le seul représentant de la famille des Sapotaceae dans l'Afrique du Nord [1], [2]. L'arganier représente la deuxième essence forestière du pays, après le chêne vert et juste avant le thuya [2]. L'huile d'argan suscite un engouement croissant pour ses vertus multiples dans l'industrie alimentaire et cosmétique. En raison de sa valeur économique et de sa demande croissante sur les marchés internationaux [3], il est essentiel de comprendre les pratiques de production et les défis auxquels sont confrontées les coopératives productrices d'huile d'argan afin de garantir sa qualité et sa durabilité. En comprenant les différentes étapes de production, de la récolte des fruits à l'extraction de l'huile, notre objectif est de contribuer à l'amélioration continue de la qualité de l'huile d'argan et à la préservation des pratiques durables dans cette filière. En identifiant les défis des coopératives, nous pourrons également formuler des recommandations pour renforcer leur compétitivité et leur durabilité à long terme.

Cette recherche revêt une importance capitale, car l'huile d'argan est un produit emblématique du Maroc, ancré dans la culture et l'économie locales. En documentant les pratiques actuelles de production, nous pourrons également mettre en évidence les aspects à améliorer et les opportunités de développement de la production d'huile d'argan, tout en préservant les traditions et l'équilibre écologique de la région.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour mener notre enquête sur la production d'huile d'argan, nous avons ciblé cinq provinces du Centre-Ouest du Maroc, à savoir Agadir, Essaouira, Taroudant, Tiznit et Sidi Ifni. Ces provinces sont endémiques de l'arganier et où les coopératives sont actives dans la production d'huile d'argane.

Nous avons utilisé un questionnaire structuré comme outil principal de collecte de données, couvrant divers aspects de la production d'huile d'argan, tels que l'approvisionnement de la matière première, les infrastructures utilisées, les équipements de transformation, la certification des coopératives et les différentes étapes de production, de la collecte des fruits à la commercialisation de l'huile. Le questionnaire a été réalisé au cours du mois d'août 2023.

Initialement, l'étude a porté sur toutes les coopératives qui respectent les critères suivants : être situées dans les cinq provinces d'étude, présenter une transparence et une traçabilité, avoir une réputation et des recommandations : reconnues par la qualité des produits, les pratiques de production et éventuellement une certification. Malheureusement, lors de l'enquête terrain, nous n'avons pas pu obtenir des réponses favorables de toutes les coopératives visitées. De ce fait, nous avons étendu la collecte de données en administrant un questionnaire en ligne disponible en deux langues (français et arabe). Les réponses obtenues correspondent entièrement aux critères initialement posés.

Les coopératives participantes ont été sélectionnées de manière aléatoire afin d'obtenir un échantillon représentatif de la diversité des pratiques de production d'huile d'argan dans la région. Nous avons pris en compte des coopératives de différentes tailles et de différents niveaux de certification, afin de recueillir des données variées et d'obtenir une image globale de la situation.

Une fois le questionnaire complété par les représentants des coopératives, nous avons procédé à l'analyse des données. Cela a été réalisé en utilisant à la fois des méthodes quantitatives et qualitatives.

En complément de l'enquête par questionnaire, nous avons également effectué des entretiens avec des

membres clés des coopératives et des experts locaux de la production de l'huile d'argan. Ces entretiens ont permis d'approfondir notre compréhension des pratiques de production et des défis auxquels sont confrontées les coopératives, et ont fourni des informations supplémentaires pour enrichir notre analyse et obtenir une vision globale de la production d'huile d'argan dans les coopératives des cinq provinces étudiées.

3. RÉSULTATS

3.1. Collecte des fruits

• La période de collecte la plus fréquente des fruits d'argan est en août, avec 37% des réponses. Septembre suit de près avec 26% ;

• Les mois de juin, juillet et octobre ont tous des pourcentages inférieurs à 25 % ;

• Il n'y a pas de collecte de fruits d'argan en mai et novembre (Figure 1).

3.2.Prise en considération du degré de maturité des fruits d'argan lors de leur récolte

• 45% des coopératives prennent en compte le degré de maturité des fruits lors de la collecte ;

• 27% ne le font pas et 27% n'ont pas répondu (Figure 2).

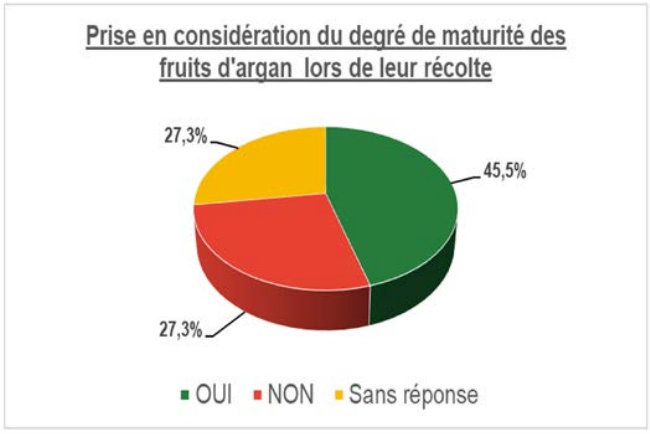


Figure 2 : Degré de maturité des fruits d'argan

3.3.Durée de séchage des fruits

• 45% des répondants ont indiqué que les fruits sont séchés plus de 15 jours

• 36% n'ont pas répondu à cette question (Figure 3).

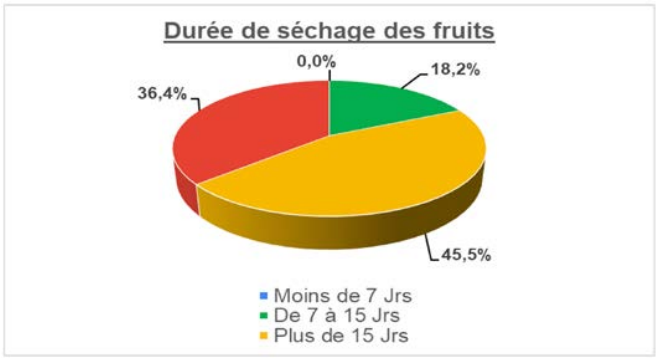


Figure 3 : Durée de séchage des fruits

3.4. Dépulpage, Concassage & Torréfaction

•Le dépulpage et le concassage sont principalement effectués manuellement, avec des réponses de 73% et 91% respectivement (Figure 4-5) ;

• La torréfaction est principalement réalisée manuellement (55%) ou mécaniquement (27%) (Figure 6).

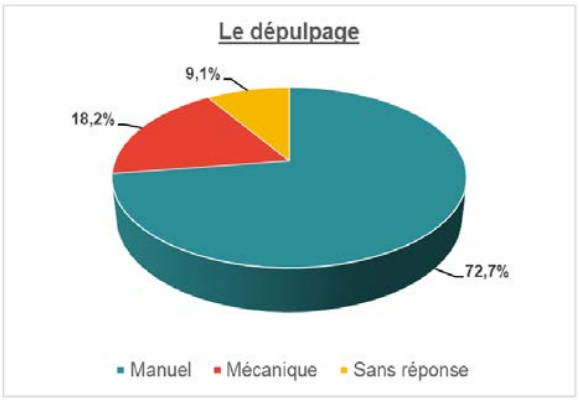


Figure 4 : Méthode de dépulpage utilisée

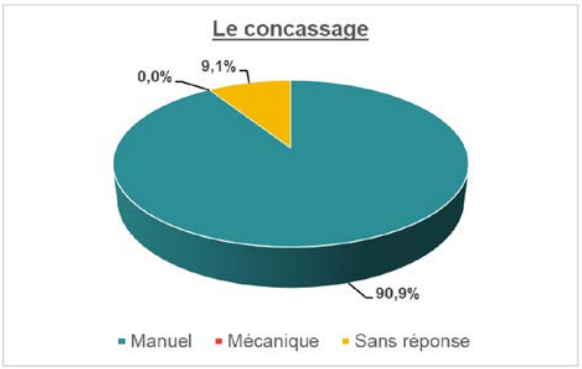


Figure 5 : Méthode de concassage utilisée

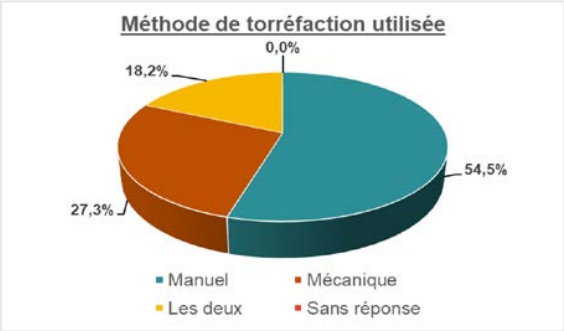


Figure 6 : Méthode de torréfaction utilisée

3.5. *Méthode d'extraction d'huile d'argan*

• L'extraction semi-mécanique est la méthode d'extraction la plus utilisée, avec 56% des réponses. L'extraction traditionnelle représente les 44% restants ;

• Aucune coopérative n'a répondu utiliser exclusivement l'extraction mécanique (Figure 7).

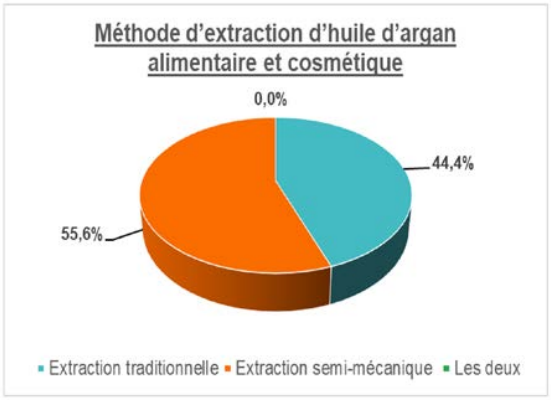


Figure 7 : Méthode d'extraction d'huile d'argan alimentaire et cosmétique utilisée

3.6. *Température d'extraction d'huile d'argan alimentaire et cosmétique*

• Pour l'huile d'argan alimentaire, la température d'extraction la plus couramment rapportée est de 150-160°C, avec 27% des réponses (Figure 8) ;

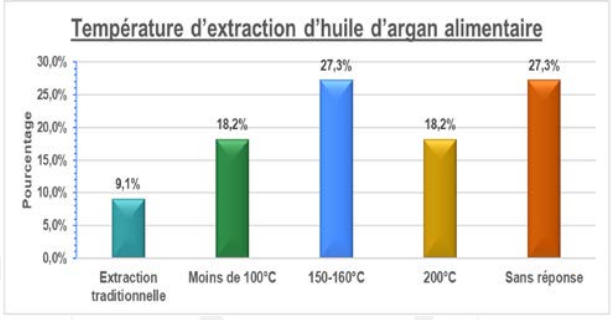


Figure 8 : Température d'extraction d'huile d'argan alimentaire

• Pour l'huile d'argan cosmétique, la température d'extraction la plus couramment rapportée est de 100-150°C, avec 45% des réponses (Figure 9).

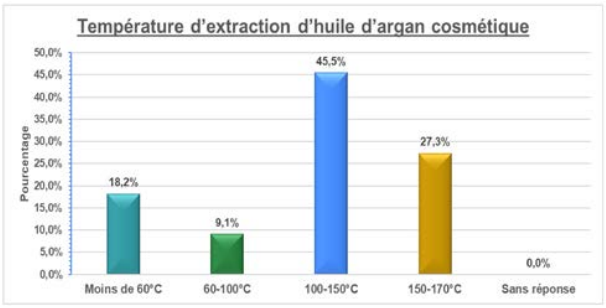


Figure 9 : Température d'extraction d'huile d'argan cosmétique

3.7. *Rendement d'huile d'argan alimentaire par rapport à d'huile d'argan cosmétique*

•Environ 36% des coopératives ont indiqué que le rendement de l'huile d'argan cosmitique est souvent le plus élevé, par contre 27% environ ont indiqué l'inverse. (Figure 10).

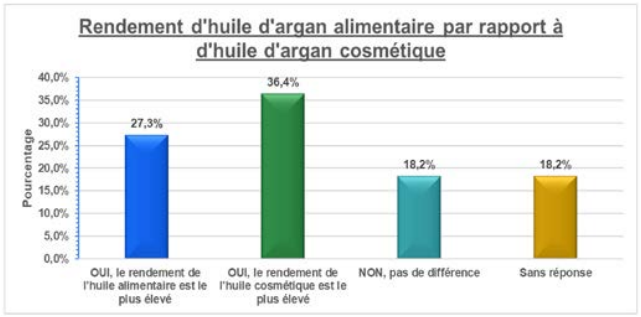


Figure 10 : Rendement d'huile d'argan alimentaire par rapport à d'huile d'argan cosmétique

3.8. *Informations supplémentaires*

• La majorité des coopératives (64%) effectuent le nettoyage et la désinfection de leurs équipements après chaque utilisation (Figure 11) ;

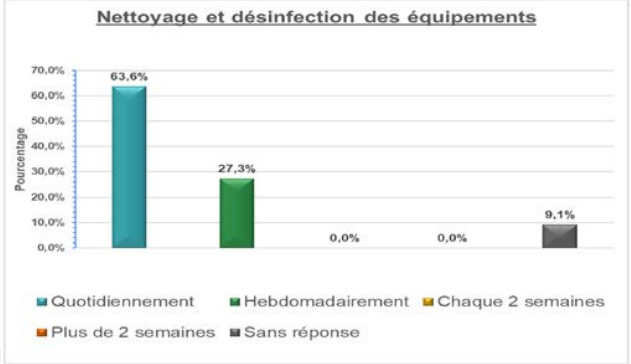


Figure 11 : Nettoyage et désinfection des équipements

•73% des coopératives ont constaté une différence au niveau du fruit d'argan par rapport aux années précédentes (Figure 12) ;

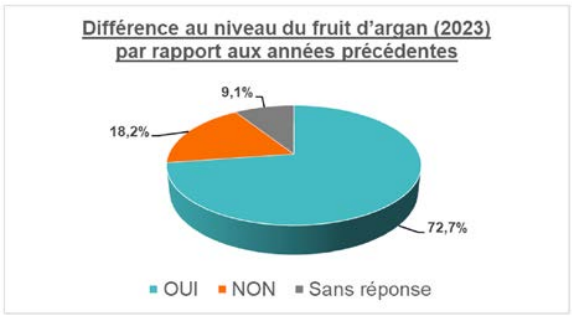


Figure 12 : Différence au niveau du fruit d'argan (2023) par rapport aux années précédentes

• 36% des coopératives ont noté une différence au niveau du rendement en huile en fonction de la forme du fruit d'argan (Figure 13) ;

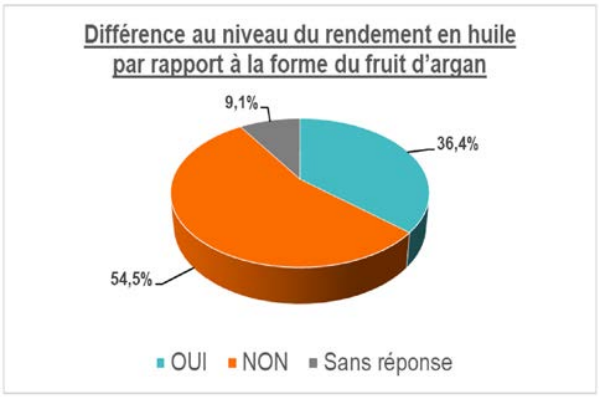


Figure 13 : Différence au niveau du rendement en huile par rapport à la forme du fruit d'argan

•73% des coopératives ont une préférence pour une région d'origine des fruits d'argan par rapport aux autres (Figure 14).

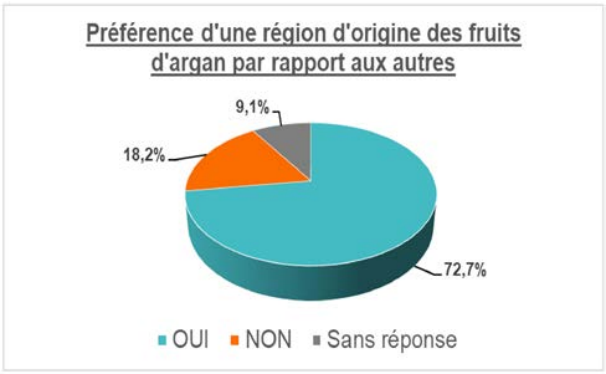


Figure 14 : Préférence d'une région d'origine des fruits d'argan par rapport aux autres

4. DISCUSSION

Les résultats de l'analyse révèlent plusieurs aspects importants des pratiques de production d'huile d'argan par les coopératives. En effet, la collecte des fruits d'argan est principalement effectuée en août, suivi de près par septembre .La période de collecte du fruit d'argane a été bien documentée [3], [4], [5]. Harhar et al ont rapporté que les habitants de la forêt d'argan classent les fruits récoltés entre avril et juillet selon leur degré de maturité : très peu mûrs, peu mûrs, à moitié mûrs et complètement mûrs [3]. Aithammou et al ont révélé que les fruits d'argane sont complètement mûres en Août [4].

En ce qui concerne le dépulpage et le concassage, ceux-ci sont principalement réalisés manuellement, tandis que la torréfaction peut être effectuée soit manuellement, soit mécaniquement. L'extraction semi-mécanique est la méthode prédominante . Ceci peut être liée à la volonté de préserver les qualités organoleptiques et traditionnelles de l'huile d'argan [6].

Selon Gharby el al, la durée de séchage optimale est de 10 à 14 jours pour obtenir une huile d'argan de haute qualité [7].

Les températures d'extraction d'huile d'argan varient selon le type d'huile. Pour l'huile alimentaire, la température d'extraction la plus courante est de 150-160°C, tandis que pour l'huile cosmétique, elle est généralement de 100-150°C . Ces températures indiquent une extraction à des températures relativement élevées, ce qui pourrait impacter les propriétés et la qualité de l'huile d'argan obtenue [8], [9], [10], [11].

Il est important de noter que les coopératives observent des différences au niveau des fruits d'argan par rapport aux années précédentes, ainsi que des variations de rendement en fonction de la forme du fruit. Ces résultats sont en concordance avec des études similaires qui ont étudié l'effet de la forme du fruit sur la composition chimique et le rendement d'huile [12], [13], [14], [15].

5. CONCLUSION

L'enquête terrain menée, combinée à l'analyse statistique des données collectées, a permis d'obtenir des informations précieuses sur les pratiques de collecte, de préparation et d'extraction

de l'huile d'argan alimentaire et cosmétique par les coopératives. Les résultats révèlent des tendances et des corrélations importantes qui éclairent la façon dont ces opérations sont menées.

L'analyse statistique a mis en évidence des variations dans les pratiques, en particulier en ce qui concerne le tri des fruits et les contrôles de qualité de l'huie d'argan. De plus, les résultats indiquent l'utilisation de méthodes traditionnelles telles que le séchage à l'air libre et la torréfaction manuelle, ce qui reflète la préservation des pratiques ancestrales dans la production d'huile d'argan.

Conformément aux résultats de notre enquête, nous recommandons de renforcer les pratiques cohérentes et rigoureuses dans la production d'huile d'argan par les coopératives. Investir dans la traçabilité et la certification de qualité telle que l'indication géographique protégée (IGP), ce qui peut accroître la valeur perçue de leurs produits et ouvrir de nouvelles opportunités de marché. Nous soulignons également la nécessité d'entreprendre des efforts supplémentaires pour évaluer les effets des différentes méthodes de collecte, de préparation et d'extraction sur les propriétés et la qualité de l'huile d'argan. Une meilleure compréhension de ces effets permettrait d'optimiser les pratiques de production et de garantir une qualité supérieure de l'huile d'argan.

En mettant en œuvre ces améliorations, nous pourrons garantir une qualité constante d'huile d'argan et renforcer sa réputation sur le marché international. L'extension des enquêtes à un plus grand nombre de coopératives permettrait d'obtenir une représentation plus complète et diversifiée des pratiques de production d'huile d'argan.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]T. D. Pennington, The Genera of Sapotaceae. Royal Botanic Gardens, Kew, 1991.

[2] O. M'Hirit - M. Benzyane - F. Benchekroun - S.M. El Yousfu - M. Bendaanoun, L'arganier - une espèce fruitière-forestière à usages multiples -, Belgique, Pierre Mardaga. Société Française d'Ethnopharmacologie, 1998. [Online]. Available: http://www.ethnopharmacologia.org/bibliotheque-ethnopharmacologie/l-arganier-une-espece-fruitiere-forestiere-a-usages-multiples/

[3]H. Harhar, S. Gharby, B. Kartah, D. Pioch, D. Guillaume, and Z. Charrouf, "Effect of harvest date of Argania spinosa fruits on Argan oil quality," Ind. Crops Prod., vol. 56, pp. 156–159, May 2014, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.01.046.

[4]R. Aithammou et al., "Effect of clones, year of harvest and geographical origin of fruits on quality and chemi-cal composition of Argan oil," Food Chem., vol. 297, p. 124749, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.024.

[5]H. Atifi, Z. Bouzoubaâ, S. Gharby, A. Laknifli, and M. Rachid, "Fruits maturity effect on the Argan oil amount, quality and chemical composition," vol. 8, pp. 512–519, Jan. 2017.

[6]Z. Charrouf, D. Guillaume, and A. Driouich, "The argan tree, an asset for Morocco," 2002. Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.semanticscholar.org/paper/The-argan-tree%2C-an-asset-for-Morocco-Charrouf-Guillaume/1eebb219e323d069a768d6669fb93e210ae3548c

[7] H. Harhar, S. Gharby, B. E. Kartah, H. El Monfalouti, Z. Charrouf, and D. Guillaume, "Long argan fruit dry-ing time is detrimental for argan oil quality," Nat. Prod. Commun., vol. 5, no. 11, pp. 1799–1802, 2010, doi: 10.1177/1934578x1000501122.

[8] T. Ouchbani, M. Bennis, A. Khaili, M. Zahar, and M. Nakajima, "Effects of the heating temperature during the press extraction process on the yield and quality of cosmetic argan oil," Euro-Mediterr. J. Environ. Integr., vol. 6, no. 1, p. 11, Apr. 2021, doi: 10.1007/s41207-020-00224-5.

[9]M. Hilali, Z. Charrouf, A. E. Aziz Soulhi, L. Hachimi, and D. Guillaume, "Influence of Origin and Extraction Method on Argan Oil Physico-Chemical Characteristics and Composition," J. Agric. Food Chem., vol. 53, no. 6, pp. 2081–2087, Mar. 2005, doi: 10.1021/jf040290t.

[10] S. Gharby and Z. Charrouf, "Argan Oil: Chemical Composition, Extraction Process, and Quality Control," Front. Nutr., vol. 8, 2022, [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2021.804587

[11] J. A. Cayuela, M. Rada, M. del C. Pérez-Camino, M. Benaissa, E. Abdelaziz, and Á. Guinda, "Characteriza-tion of artisanally and semiautomatically extracted argan oils from

Morocco," Eur. J. Lipid Sci. Technol., vol. 110, no. 12, pp. 1159–1166, Dec. 2008, doi: 10.1002/ejlt.200800146.

[12] Y. E. Idrissi et al., "THE INFLUENCE OF THE FORMS ON THE QUALITY, CHEMICAL COMPOSITION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ARGAN OIL GROWN IN MOROCCO," J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci., vol. 12, no. 4, Art. no. 4, 2023, doi: 10.55251/jmbfs.5794.

[13] S. Gharby et al., "Can Fruit-form be a Marker for Argan Oil Production?," Nat. Prod. Commun., vol. 8, no. 1, p. 1934578X1300800, Jan. 2013, doi: 10.1177/1934578X1300800106.

[14]M. Hilali, H. E. Monfalouti, L. E. Hammari, N. Maata, and B. E. Kartah, "Study of the Chemical Composition of Argan Oil According to the form of the Fruit," 2021.

[15] R. Belcadi-Haloui, A. Zekhnini, and A. Hatimi, "Comparative study on fatty acid and tocopherol composition in argan oils extracted from fruits of different forms," Acta Bot. Gallica, vol. 155, no. 2, pp. 301–305, Jan. 2008, doi: 10.1080/12538078.2008.10516110.

Revue méthodologique de l'estimation de l'empreinte carbone des chaînes agro-industrielles végétales : Leçons tirées pour l'huile d'argane

Oussama BAYSSI[1,3,4*], Mustapha NAÏMI[1], Mohamed SABIR[2], Mohamed CHIKHAOUI[1], Jamal HALLAM[3].

[1] *Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Madinat El Irfane, Avenue Allal El Fassi. BP : 6202, Rabat - 10000 Maroc ;*

[2] *Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs. BP : 511, Tabriquet, Salé - Maroc ;*

[3] *Centre Régional de Recherche Agronomique Agadir. BP : 124, Av. des Forces Armées Royales, Inzegane - Maroc*

[4] *Institut de Recherche en Energie Solaire et Nouvelles Energies « IRESEN ». 16, Avenue SAR Sidi Mohamed Rabat - Maroc*

** o.bayssi@iav.ac.ma*

Mots clés
empreinte carbone, consommation électrique, fertilisation azotée, méta-analyse.

RÉSUMÉ

L'empreinte carbone représente un instrument crucial pour surveiller les émissions de gaz à effet de serre et orienter les stratégies de décarbonisation dans la production agroali-mentaire. Une méta-analyse des articles parus entre janvier 2010 et décembre 2021 s'est concentrée sur la compréhension de l'empreinte carbone des produits agroalimentaires. Les huiles végétales et les cultures occupent une position centrale parmi les produits d'origine végétale. La fertilisation azotée et phosphatée contribue de manière significative aux empreintes carbone agricoles, tandis que la consommation d'électricité a un impact notable sur les empreintes carbones industrielles. Ces résultats offrent un aperçu de la dynamique de l'empreinte carbone et mettent en lumière les domaines où des efforts d'atténuation peuvent être entrepris dans les processus agri-coles et industriels.

Keywords
Carbon footprint, Argan Industry, Argan oil, Argan bio-sphere reserve

ABSTRACT

Determining the carbon footprint of argan oil: the case of cooperatives and com-panies in southern Morocco

By increasing carbon storage in biomass and soil, the Argan tree, also known as Argania spinosa, plays a crucial role in promoting environ-mental sustainability. Nonetheless, little is known about the carbon dynamics of Morocco's argan forests and the goods that come from them, especially argan oil. To close this gap, a study is looking into the carbon footprint of producing argan oil in the southern Moroccan Argan Bio-sphere Reserve. The study evaluates 16 cooperatives and 10 companies that are involved in production. Data is gathered through in-person in-terviews, and emissions are computed based on three different scenarios using the "Bilan Car-bone" tool. The findings show how much electricity use contributes to carbon emissions, although there are ways to lessen this impact by implementing sustainable practices like using photovoltaic electricity and creating synthetic gas from the Argan tree's byproducts. Over 30 years, cutting back on butane and electricity consumption as well as implementing sustainable practices can reduce the carbon footprint by 92.19 %. These findings offer a summary of how the production of argan oil affects the environment and offer recommendations for how to develop the sector sustainably.

1. INTRODUCTION

Le monde est confronté à des défis environnementaux urgents, liés à la surexploitation et à la pollution, qui exacerbent le changement climatique dans un contexte de croissance démographique, en particulier dans les pays les moins développés. Des activités clés telles que l'agriculture et l'utilisation des sols contribuent de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre (GES), les chaînes de production alimentaire représentant un pourcentage substantiel de 25 % [1]. Il est à noter que les émissions des systèmes alimentaires varient, les GES biologiques l'emportant souvent sur les émissions de CO2 d'origine fossile. Les transports, les pratiques inefficaces et les déchets alimentaires jouent également un rôle important dans les émissions. En outre, l'efficacité de l'utilisation des terres est cruciale, car une utilisation élevée de terres par unité de nourriture produite a un impact négatif à la fois sur les émissions et sur l'allocation des ressources. Les pratiques de gestion des terres influencent considérablement les bilans de GES et les services écosystémiques [2]. L'empreinte carbone, mesurée comme le total des émissions de dioxyde de carbone directement et indi-rectement attribuées à des activités ou à des produits, est une mesure es-sentielle. La méta-analyse, qui combine les données de diverses études, met en évidence les tendances et les lacunes de la recherche en matière de compréhension et d'atténuation de l'empreinte carbone des produits agro-industriels, ouvrant ainsi la voie à d'autres recherches et améliorations [3].

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude a largement utilisé des sources en ligne pour recueillir des infor-mations sur les empreintes carbones, notamment des rapports publiés, des articles, des actes de conférence, des communiqués de presse, des thèses et des sites web de détaillants et de fabricants. Des données couvrant la der-nière décennie ont été examinées, en utilisant diverses bases de données telles que « Google Scholar », « Science Direct », « Research Gate », SCOPUS et « FAO », choisies pour leur couverture mondiale complète. Pour garantir un accès impartial aux informations pertinentes, des termes de recherche généraux tels que "empreinte carbone" et "agro-industrie" ont été utilisés, combinés à des opérateurs booléens tels que "AND" et "OR" pour générer des combinaisons de recherche complètes.

3. RÉSULTATS

Les produits végétaux se caractérisent par une grande diversité. Les huiles végétales (en particulier l'huile d'olive et l'huile de palme) et les cultures végétales sont les principales cultures faisant l'objet de calculs de l'empreinte carbone (13 %, 8 % et 13 % respectivement) (figure 1). L'utilisation de la surface et/ou du poids comme unité fonctionnelle varie d'un cas à l'autre. Souvent, l'utilisation du poids (kg ou tonne) et l'utilisation de la combinaison poids-surface (kg avec ha ou tonne avec ha) sont les approches les plus utilisées (39% pour chacune d'entre elles). En ce qui concerne la limitation du système, les produits végétaux suivent une logique similaire à celle des produits animaux, bien qu'une distinction soit faite entre les émissions dues aux activités de l'exploitation (émissions directes dues à la fertilisation, à l'utilisation de pesticides, à l'irrigation, etc.) et les émissions liées aux activités hors exploitation (production d'engrais et de pesticides, transport, émissions dues à la production d'électricité, etc.).

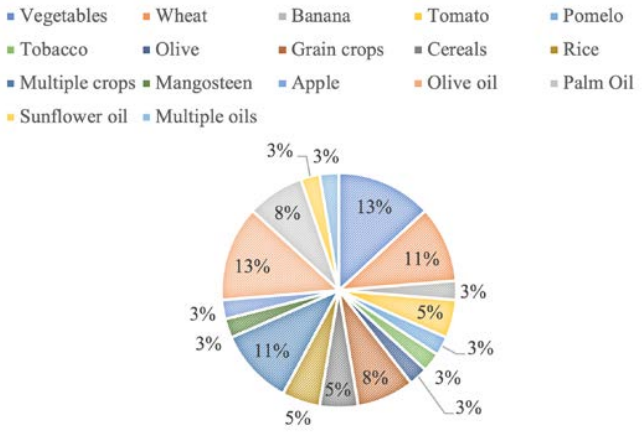


Figure 1. Répartition des spéculations végétales sujettes de travaux de calcul d'empreinte carbone

En ce qui concerne les intrants qui contribuent à l'empreinte carbone, les engrais et l'électricité ont apporté des contributions notables. L'électricité a montré une corrélation positive significative avec l'empreinte carbone produite. L'oxyde nitreux (N2O), l'un des gaz à effet de serre, est produit par la fertilisation et la dénitrification dans le sol en relation avec la fertilisation. L'utilisation de grandes quantités d'engrais azotés et phosphatés

augmente l'empreinte carbone des produits (0,35 et 0,56 respectivement, valeurs de corrélation statistiquement significatives au niveau 0,01).

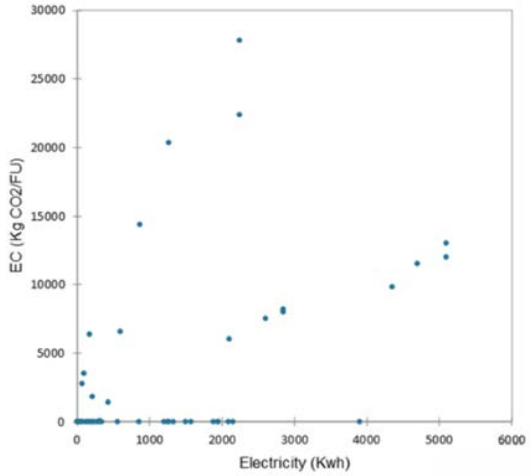


Figure 2. Nuage des points de corrélation entre l'empreinte carbone des produits végétales et la consommation d'électricité

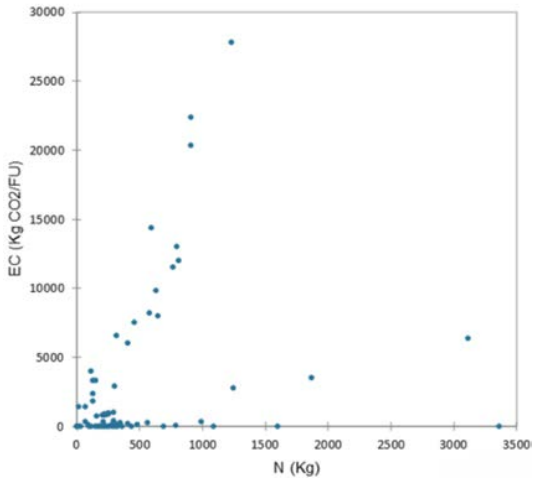


Figure 3. Nuage des points de corrélation entre l'empreinte carbone des produits végétales et la fertilisation azotée

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Il est estimé que la consommation d'énergie, notamment l'électricité, contribue significativement à l'augmentation de l'empreinte carbone, comme le montre une corréla-tion statistiquement significative de 0,52 entre les valeurs de consommation d'électricité et les valeurs de l'empreinte carbone. De plus, la fertilisation azotée à base de plantes joue un rôle majeur dans l'empreinte carbone. À ce stade, il est important de souligner, pour les futures recherches, l'importance d'étudier les relations entre d'autres composantes de la production agricole (travail du sol, irrigation, traite-ments phytosanitaires) et l'empreinte carbone.

Remerciements : Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet marocain de recherche sur l'arganier, mené dans le contexte du programme de développement de l'argani-culture dans les zones vulnérables, connu sous le nom de "DARED". Ce projet a béné-ficié d'un financement accordé par le Fonds Vert pour le Climat (GCF). De plus, l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) a apporté son soutien à cette recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brunori, A. M. E., Sdringola, P., Dini, F., Ilarioni, L., Nasini, L., Regni, L., Proietti, P., Proietti, S., Vitone, A., & Pelleri, F. (2017). Carbon balance and Life Cycle Assessment in an oak plantation for mined area reclamation. Journal of Cleaner Production, 144, 69–78. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.116

Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2012). A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. Journal of Cleaner Production, 34, 9–20. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.036

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science, 360(6392), 987–992. https://doi.org/10.1126/science.aaq0216

MEMBRES DU COMITE SCIENTIFIQUE

BEKKAOUI Faouzi	Président du CS - INRA
ADLOUNI Ahmed	Université Hassan II - Casablanca
AIT AABD Naima	INRA - Agadir
AITLHAJ Abderrahmane	ANDZOA - Agadir
ALAOUI Katim	Fondation Mohammed VI pour la rechercheet la sauvegarde de l'arganier
ALAOUI MDAGHRI Meriem	INRA - Rabat
AOURAGH Mbark	Université Ibn Zohr - Agadir
BOUHARROUD Rachid	INRA - Agadir
CHAKHCHAR Abdelghani	Université Cadi Ayyad - Marrakech
EL AMIRI Bouchra	INRA - Rabat
EL AOUAD Nouredine	Université abdelmalek Essaadi - Tétouan
EL MODAFAR Cherkaoui	Université Cadi Ayyad - Marrakech
EL MOUSADIK Abdelhamid	Université Ibn Zohr - Agadir
ELANTARI Abderraouf	INRA - Marrakech
ER-RASFA Mourad	Faculté de médecine et de pharmacie - Fès
FERRADOUS Abderrahim	CRF - Marrakech
FILALI MALTOUF Abdelkarim	Académie Hassan II des Sciences et Techniques
GHARBY Said	Université Ibn Zohr - Taroudant
KARTAH Badr Eddine	Université Mohamed V - Rabat
KOUFAN Meriyem	INRA - Agadir
LAHRECH Taha	IAV Hassan II - Rabat
LAMRANI ALAOUI Mostafa	ENFI - Salé
MENTAG Rachid	INRA - Rabat
MIMOUNI Abdelaziz	INRA - Agadir
MSANDA Fouad	Université Ibn zohr - Agadir
OUCHBANI Tarik	IAV Hassan II
SABIR Mohamed	ENFI - Salé
WAHBI Said	Université Cadi Ayyad - Marrakech
ZIYADI Mohamed	Université Ibn Zohr - Ait Melloul

COMITÉ D'ORGANISATION

AITLHAJ Abderrahmane	Président du comité d'organisation - ANDZOA - Agadir
BEKKAOUI Faouzi	INRA - Rabat
MIMOUNI Abdelaziz	INRA - Agadir
BOUAYAD Abdelouahd	ANDZOA - Agadir
OUTRAHE Tarik	ANDZOA - Agadir
MAIT Abdellatif	ANDZOA - Essaouira
AFKER Aziz	ANDZOA - Agadir
EDDAIF Nadia	ANDZOA - Agadir
OULAMMOU Mohamed	ANDZOA - Agadir
IBNEZZYN Noureddine	ANDZOA - Agadir
SAMIR Assma	ANDZOA - Agadir
DIKOUK Hind	ANDZOA - Agadir
GAHMOU Amesmoud	ANDZOA - Agadir
OUARDIRHI Bouchra	ANDZOA - Agadir
AIT AOUICHA Noura	ANDZOA - Agadir
DAHBI Samir	ANDZOA - Essaouira
DOUNRAR Mohamed	ANDZOA - Essaouira
BOUCHAAL Hamza	ANDZOA - Essaouira
SOULIMANI Yassine	ANDZOA - Taroudant
AMMAR Rachid	ANDZOA - Guelmim
BOUAABOUD Mohamed	ANDZOA - Guelmim
BOUSEKRI Houda	ANDZOA - Guelmim

SECRÉTARIAT DU CONGRÈS

IBNEZZYN Nourddine	ANDZOA
SAMIR Assma	ANDZOA



المملكة المغربية
Royaume du Maroc

وزارة الفلاحة والصيد البحري والتنمية القروية والمياه والغابات
Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

Royaume du Maroc
Ministère de l'Intérieur
Province d'Essaouira

الوكالة الوطنية لتنمية مناطق الواحات و شجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

ANEF
الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

congresarganier

WWW.CONGRESARGANIER.MA