

CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER

المؤتمر الدولي
للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition
الصويرة
Essaouira

08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية،
والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Stress and Growth Dynamics of the Argan Tree: An Irrigation-Based Study with Chromium and Cadmium

Ayoub Ainane [1, *] and, Tarik Ainane [1]

[1] Superior School of Technology, University of Sultan Moulay Slimane, P.O. Box 170, Khenifra 54000, Morocco.
* ainane.ayoub@gmail.com

Abstract:
Argania spinosa L., an endemic species of southwestern Morocco, has major ecological and socioeconomic importance; however, its ecosystem is increasingly exposed to multiple pressures. Although substantial research has addressed its valorization, the sensitivity of the argan tree to heavy metals remains insufficiently documented. This study assessed the effects of chromium (Cr) and cadmium (Cd) on the growth of young seedlings. Two independent experiments were conducted in which seedlings were separately exposed to Cr or Cd solutions at concentrations of 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 ppm. Seedlings received weekly irrigation with 20 mL of the corresponding solution, whereas control plants were watered with tap water; each condition was performed in triplicate. Monitoring revealed a progressive decline in growth vigor as Cr and Cd concentrations increased. In addition, treated seedlings exhibited mortality after three months of irrigation, indicating pronounced sensitivity to these exposure levels under the experimental conditions considered.

Experimental conditions:



Preparation of solutions



Planting of seedlings



Treatment of plants



Control plants

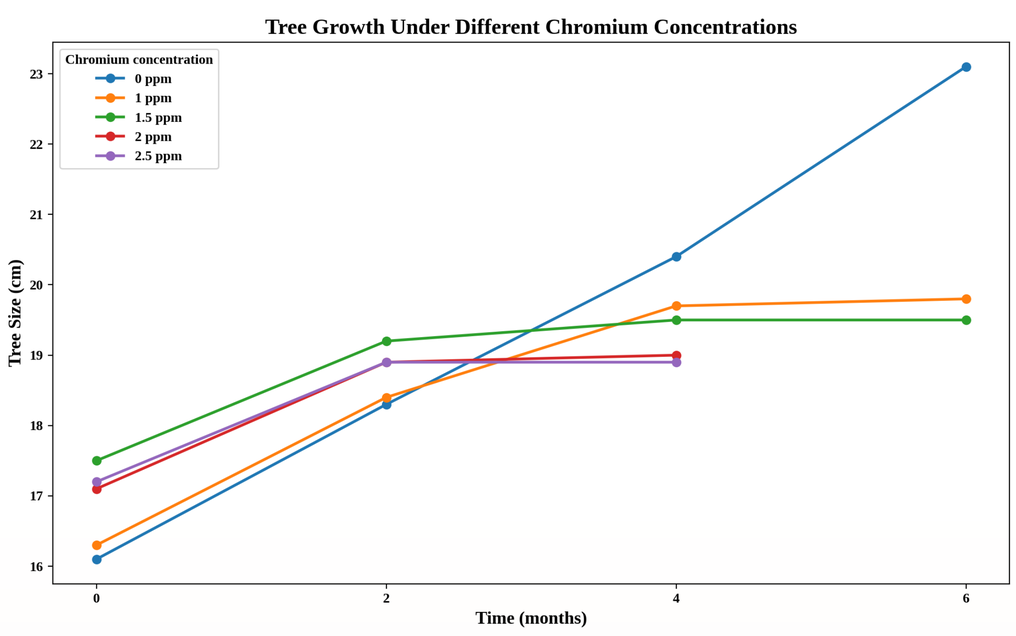


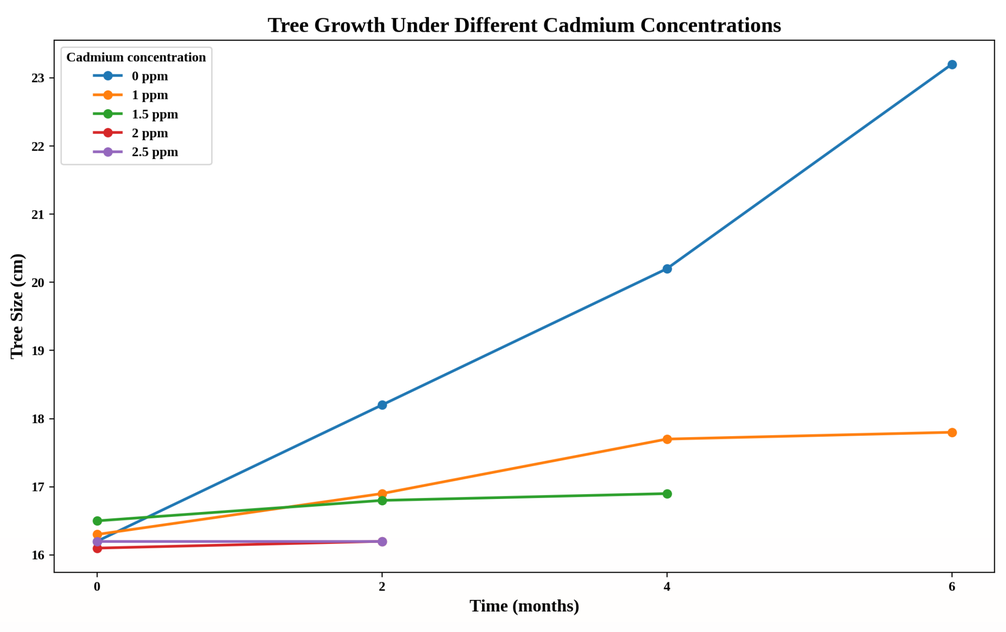
Heavy metal-treated plants



Results of the experiment

Results:





The results show a clear dose-dependent negative effect of both chromium (Cr) and cadmium (Cd) on argan seedlings: as concentrations increased from 1 to 2.5 ppm, plant growth vigor progressively declined. This reduction in vigor suggests that heavy metals interfere with normal physiological processes essential for growth (such as nutrient uptake, root functioning, and overall metabolic activity).
In addition, the mortality observed after three months in all treated plants indicates that, under these experimental conditions (weekly irrigation with 20 mL of solution), argan seedlings are highly sensitive to Cr and Cd even at relatively low ppm levels. This sensitivity is important because argan regeneration is already threatened by overexploitation, agriculture expansion, and overgrazing; heavy-metal contamination could therefore act as an additional environmental stressor that limits seedling survival and ecosystem restoration in polluted areas.

Conclusion:

Overall, chromium and cadmium negatively affected argan seedling growth in a concentration-dependent manner, and exposure led to complete mortality after three months. These findings indicate a strong sensitivity of argan seedlings to Cr and Cd at 1–2.5 ppm under the experimental conditions, highlighting the importance of considering heavy metal pollution when assessing threats to argan ecosystems and planning conservation or restoration efforts.



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المؤتمر الدولي
للأركان
ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵎⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition
الصويرة
Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Optimizing Mineral Nutrition for Improved Adventitious Rooting and Survival Rates in *Argania spinosa* (L.) Skeels Semi-Hardwood Stem Cuttings

BENBYA A.[1,2], CHERKAOUI S.[1], GABOUN F.[2], CHLYAH O.[1], DELPORTE F.[3], MDARHRI ALAOUI M.[2]

1 Physiology and Biotechnology Laboratory, Biology Department, Faculty of sciences (FSR), Mohamed V University, P.O. Box 1014, Rabat, Morocco.
2 Biotechnology Unit, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agronomy Research of Morocco (INRA-Morocco), P.O. Box 6570, Rabat Instituts, Rabat, Morocco.
3 Bioengineering Unit, Life Sciences Department, Walloon Agricultural Research Centre (CRA-W), Chaussée de Charleroi 234, P.O. Box 5030, Gembloux, Belgium.

المعهد الوطني للبحث الزراعي
ⵓⵔⴰⵣ ⵏⵓⵎⵙⵙⵓ ⵏ ⵜⵓⵎⵓⵔⵜ ⵓⵔⵥⵓⵏ
Institut National de la Recherche Agronomique

1. Introduction

The effects of the mineral composition of nutrient solutions (Hoagland and Arnon, Quoirin and Lepoivre, Murashige and Skoog, and Woody Plant Medium), cutting type (softwood, semi-hardwood, and hardwood), and cutting position (basal, medial, and apical) on the sprouting and rooting performance of *Argania spinosa* cuttings were investigated. According to the results, the nutrient solution, cutting type, and cutting position had significant effects on sprouting and adventitious rooting ability. Leafy semi-hardwood cuttings taken from the basal positions and irrigated with Hoagland solution performed best, producing the highest rooting and survival percentages (63.81% and 96.09%, respectively). The applications of nutrient solutions caused a notable increase in sprouting and rooting potential. The highest values were recorded for Hoagland and Arnon, and Quoirin and Lepoivre, while the Murashige and Skoog and Woody Plant Medium yielded the poorest results and the greatest mortality rate. The cutting type also had a pronounced effect on the vegetative propagation of *A. spinosa*. Semi-hardwood cuttings performed better than softwood cuttings, whereas leafless hardwood cuttings were completely unable to sprout and root, even when treated with nutrient solutions. Thus, the vegetative propagation of *A. spinosa* can best be achieved using basal leafy semi-hardwood cuttings irrigated with Hoagland nutrient solution.

2. Material and methods

Sources and preparation of cuttings

Argania spinosa cuttings were collected from mature trees exhibiting superior phenotypes. The cuttings were excised based on their position on the stock plant (basal, medial, and apical) and were subsequently classified according to cutting types. The cuttings received weekly applications of nutrient solution.

Experimental design and treatments

The experiment was organized according to a randomized complete block design (RCBD). It tested three cutting types (leafy softwood, leafy semi-hardwood, and leafless hardwood stem cuttings), three cutting positions (apical, medial, and basal), and four nutrient solution treatments (Hoagland and Arnon (HA), Quoirin and Lepoivre (QL), Murashige and Skoog (MS), and Woody Plant Medium (WPM)).

Statistical analysis

The collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA) to assess treatment effects using the general linear model (GLM) procedure in SAS software version 9.1 for all evaluated parameters.



Figure 1. Semi-Hardwood Cuttings of the Argan Tree: (5 ± 1) mm Wide and (10 ± 0.5) cm Long with 4 Leaves and 10-12 Nodes.



Figure 2. Semi-Hardwood Cuttings of the Argan Tree Established According to a Randomized Complete Block Design (RCBD).

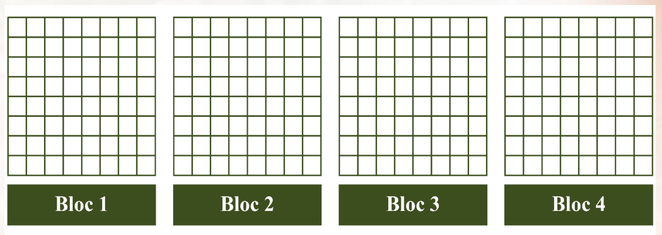


Figure 3. Randomized Complete Block Design (RCBD) Used for the Experiment.

3. Results

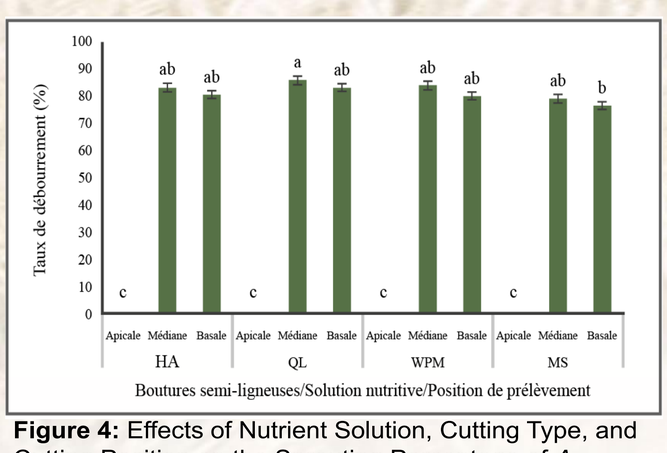


Figure 4: Effects of Nutrient Solution, Cutting Type, and Cutting Position on the Sprouting Percentage of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

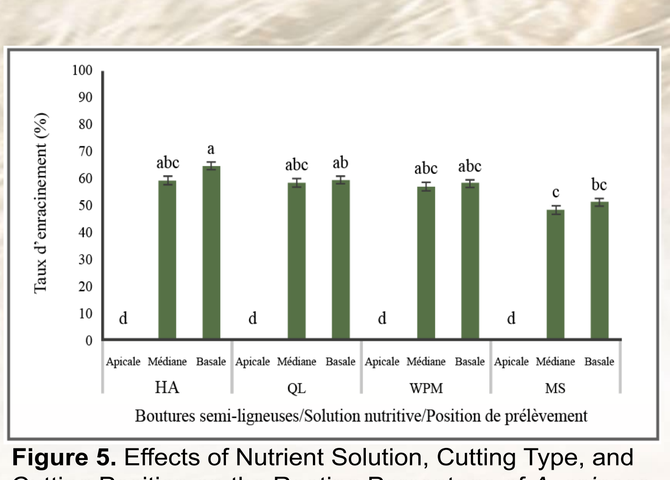


Figure 5. Effects of Nutrient Solution, Cutting Type, and Cutting Position on the Rooting Percentage of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

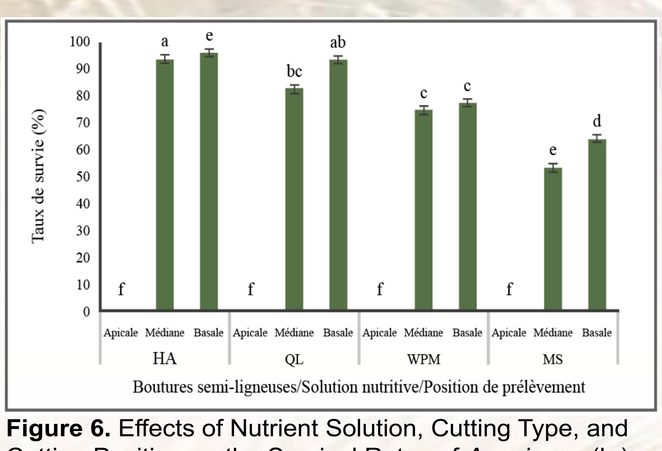


Figure 6. Effects of Nutrient Solution, Cutting Type, and Cutting Position on the Survival Rates of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

4. Conclusion

The results of this study revealed that the sprouting and rooting success of *Argania spinosa* cuttings were significantly influenced by the nutrient solution, cutting type, and nodal position. The highest sprouting percentage (85.69%) was recorded in leafy semi-hardwood cuttings from the medial position treated with the QL solution. Leafy semi-hardwood cuttings taken from the basal position and irrigated with Hoagland solution produced higher rooting and survival percentages of 63.81% and 96.09%, respectively.

References

1. Nouaim R. L'Arganier au Maroc: entre mythes et réalités: une civilisation née d'un arbre. Editions Le Harmattan,2005, 227 S. DOI: 5104900.
2. Hartmann HT, Kester DE, Davies FT, and Geneve RL. Plant propagation: principles and practices, 6th edition, Prentice-Hall Incorporated. New Jersey, 1997, pp 770. DOI: 10.5555/19750330690.
3. Leakey RRB. Physiology of vegetative reproduction. In: Burley, Jeffrey, Evans, Julian, and Youngquist, J A. (eds) Encyclopaedia of Forest Sciences. 1st edition, Academic Press, London, 2004, pp. 1655-1668. DOI: 10.1016/B0-12-145160-7/00108-3.
4. Okunlola AI. The effects of cutting types and length on rooting of *Duranta repens* in the nursery. Global Journal of Human-Social Science Research, 2013, 13(3), 1-4.
5. Hansen J. Influence of cutting position and stem length on rooting of leaf-bud cuttings of *Schefflera arboricola*. Scientia Horticulturae, 1986, 28(1-2), 177-186. DOI: 10.1016/0304-4238(86)90137-8.

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 وشجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS

FIFARGANE
الفيدرالية البيمهنية لسلسلة الأركان
FEDERATION INTERPROFESSIONNELLE DE LA FILÈRE DE L'ARGANE

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

8ème édition الصويرة Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

Impact of Different Substrates and Cuttings Type on Adventitious Root Formation and Shoot Development in Argane (*Argania spinosa (L.)* Skeels) Semi-Hardwood Cuttings

BENBYA A.[1,2], CHERKAOUI S.[1], GABOUN F.[2], CHLYAH O.[1], DELPORTE F.[3], MDARHRI ALAOUI M.[2]

1 Physiology and Biotechnology Laboratory, Biology Department, Faculty of sciences (FSR), Mohamed V University, P.O. Box 1014, Rabat, Morocco.
2 Biotechnology Unit, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agronomy Research of Morocco (INRA-Morocco), P.O. Box 6570, Rabat Instituts, Rabat, Morocco.
3 Bioengineering Unit, Life Sciences Department, Walloon Agricultural Research Centre (CRA-W), Chaussée de Charleroi 234, P.O. Box 5030, Gembloux, Belgium.

المعهد الوطني للبحث الزراعي
ⵓⵔⴰⵣⵉⵏ ⵏⵓⵎⵓⵔⵙ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵔⵉⵜ ⵓⵔⵣⵣⵓⵄ
Institut National de la Recherche Agronomique

1. Introduction

The present study was conducted to investigate the rooting ability and growth performance of semi-hardwood cuttings of *Argania spinosa* under non-mist greenhouse conditions. The experiment utilized three cutting diameters (0.1-0.3 cm, 0.3-0.6 cm, and 0.6-0.9 cm), four leaf retention treatments (leafless, 2, 4, and 8 leaves), and three different rooting substrates (fine sand, peat moss, and a mixture of fine sand/peat moss (1:1 v/v)) in a randomized complete block design. Significant effects of cutting diameter, leaf retention, and rooting substrate on the sprouting, rooting, and survival ability of *A. spinosa* semi-hardwood cuttings were observed. The results indicated that a diameter of 0.3-0.6 cm yielded the maximum rooting rate. However, cuttings with a diameter of 0.1-0.3 cm experienced damage resulting in shoot-tip necrosis. Our study also showed that successful vegetative propagation was restricted to leafy stem cuttings. Indeed, the rooting and survival capacities of *Argania spinosa* cuttings were significantly higher in leafy cuttings compared to defoliated cuttings, which exhibited a mortality rate of 100%. Likewise, it was observed that the highest rooting rates were achieved in cuttings planted in fine-sand substrate, while the survival rate (92.5%) was attained in a sand and peat moss mixture.

2. Material and methods

Sources and preparation of cuttings

Argania spinosa cuttings were collected from mature trees exhibiting superior phenotypes. The cuttings were divided into three groups based on diameter: 0.1-0.3 cm, 0.3-0.6 cm, and 0.6-0.9 cm. The prepared cuttings were classified into four categories: leafless, 2 leaves, 4 leaves, and 8 leaves. They were then inserted into three different substrates: fine sand (FS), peat moss (PM), or a mixture of fine sand and peat moss (1:1 v/v) (FS/PM).

Experimental design and treatments

The experiment was organized according to a randomized complete block design (RCBD). Thirty-two replications were used in four blocks for each treatment. The experiment tested three cutting diameters, four leaf number treatments, three different substrates and their interactions.

Statistical analysis

The collected data were subjected to analysis of variance (ANOVA) to assess treatment effects using the general linear model (GLM) procedure in SAS software version 9.1 for all evaluated parameters.



Figure 1. Semi-Woody Cuttings of the Argan Tree: (5 ± 1) mm Wide and (10 ± 0.5) cm Long with 4 Leaves and 10-12 Nodes.



Figure 2. Semi-Hardwood Cuttings of the Argan Tree Established According to a Randomized Complete Block Design (RCBD).



Figure 3. Experimental Greenhouse of the Biotechnology Unit of the Regional Agricultural Research Center (CRRA) of Rabat, INRA-Morocco.

3. Results

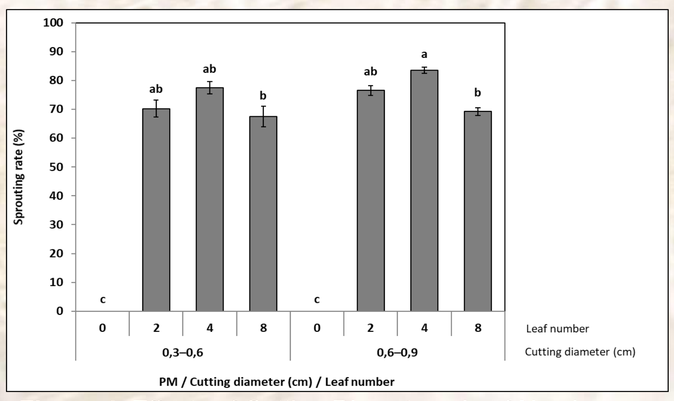


Figure 4. Effects of Cutting Diameters, Leaf Number Treatments, and Substrates on the Sprouting Percentage of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

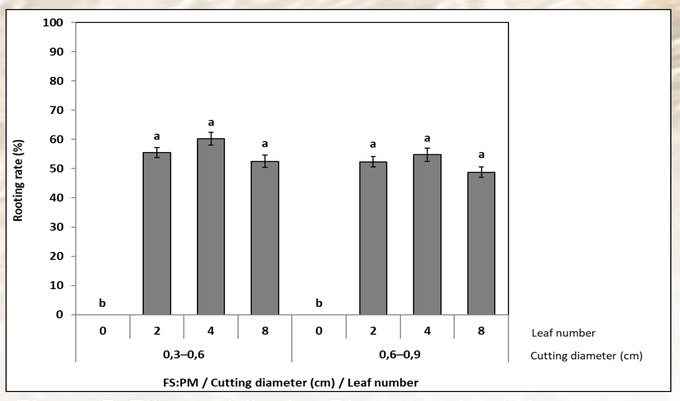


Figure 5. Effects of Cutting Diameters, Leaf Number Treatments, and Substrates on the Rooting Percentage of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

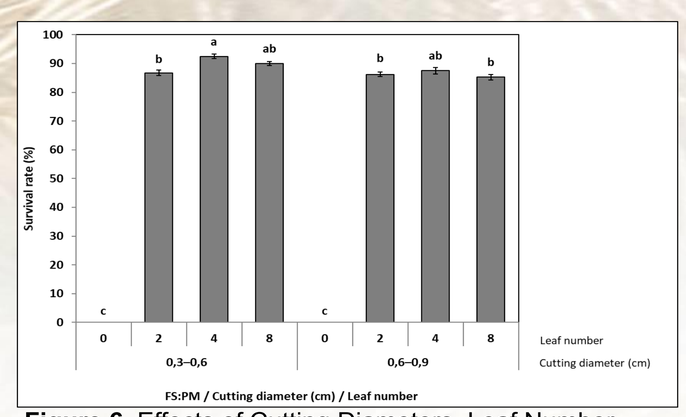


Figure 6. Effects of Cutting Diameters, Leaf Number Treatments, and Substrates on the Survival Rates of *A. spinosa* (L.) Skeels Stem Cuttings.

4. Conclusion

The results of the present study clearly indicate that cuttings with thinner diameters (0.1-0.3 cm) and defoliated cuttings failed to produce any sprouts or roots, resulting in a 100% mortality rate within forty-eight weeks after planting. The greatest sprouting capacity and survival success were observed in cuttings with a diameter of 0.3-0.6 cm and four leaves, set in a mixture of sand and peat moss. The best rooting ability was achieved by cuttings with a diameter of 0.3-0.6 cm and four leaves in a fine sandy substrate. This study also reveals that *Argania spinosa* is amenable to clonal propagation using sand-based rooting substrates, which could provide a promising prospect for the conservation of this endemic species.

References

1. Emberger L. Le domaine naturel de l'arganier. Bulletin de la Société Botanique de France, 1925, 72(4), 770-774. Doi: 10.1080/00378941.1925.10832788.
2. Kenny L, and De Zborowski I. In: Atlas de l'arganier et de l'arganeraie. Biologie de l'arganier. IAV Hassan II, Rabat, Morocco, 2007, 190 p. Doi: 2909613003.
3. Leakey B, and Coutts P. The dynamics of rooting in *Triplochiton scleroxylon* cuttings: their relation to leaf area, node position, dry weight accumulation, leaf water potential and carbohydrate composition. Tree Physiology, 1989, 5(1), 135-146. Doi: 10.1093/treephys/5.1.135.
4. Gehlot A, Tripathi A, Arya D, Arya S. Influence of cutting diameter, auxin and rooting substrate on adventitious rooting from hardwood cuttings of *Azadirachta indica* A. Juss (Neem). Advances in Forestry Science, 2015, 2(3), 49-61. Doi: 10.34062/afs.v2i3.2383.
5. Thomas P, and Schiefelbein W. Roles of leaf in regulation of root and shoot growth from single node softwood cuttings of grape (*Vitis vinifera*). Annals of Applied Biology, 2004, 144(1), 27-37. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2004.tb00313.x.



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER

المؤتمر الدولي
للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة 8ème édition Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

Harnessing Exogenous Auxins (IAA, IBA, and NAA) to Enhance Adventitious Rooting and Morphological Traits in Semi-Hardwood Cuttings of Argania (*Argania spinosa* (L.) Skeels)

BENBYA A.[1,2], CHERKAOUI S.[1], GABOUN F.[2], CHLYAH O.[1], DELPORTE F.[3], MDARHRI ALAOUI M.[2]

1 Physiology and Biotechnology Laboratory, Biology Department, Faculty of sciences (FSR), Mohamed V University, P.O. Box 1014, Rabat, Morocco.
2 Biotechnology Unit, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agronomy Research of Morocco (INRA-Morocco), P.O. Box 6570, Rabat Instituts, Rabat, Morocco.
3 Bioengineering Unit, Life Sciences Department, Walloon Agricultural Research Centre (CRA-W), Chaussée de Charleroi 234, P.O. Box 5030, Gembloux, Belgium.

المعهد الوطني للبحث الزراعي
ⵓⵔⴰⵣⵓ ⵓⵏⵎⵓⵔⵙ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵏⵉ ⵓⵔⵕⵓⵛ
Institut National de la Recherche Agronomique

1. Introduction

Techniques for the vegetative propagation of *Argania spinosa* (L.) Skeels, an endemic tree species of southwestern Morocco, were developed. The studies investigated the effects of auxin treatments on the rooting ability and growth performance of stem cuttings from different genotypes. Cuttings were collected from four elite trees rated ASOC1, ASOC2, ASOC3, and ASOC4, and treated with four concentrations (0, 1000, 3000, and 5000 mg L^{-1}) of IBA, NAA, and IAA. The results revealed that cuttings from the ASOC2 and ASOC3 genotypes were relatively less responsive than those from ASOC1 and ASOC4, with this genotype effect being more pronounced in auxin-treated cuttings. Treatment with IBA was more effective than treatments with either NAA or IAA. Among all the media tested, 3000 mg L^{-1} of IBA combined with ASOC1 resulted in higher sprouting (81.75%), rooting (60.75%), and survival rates (96.25%). However, increasing IBA concentration levels (>3000 mg L^{-1}) led to decreased performance in adventitious roots and sprouts across all genotypes. Thus, *Argania spinosa* can be successfully propagated by cuttings from selected elite trees.

2. Material and methods

Sources and preparation of cuttings

Four stock plants were selected based on their overall growth, phenology, high biomass, and regeneration ability. The concentrations of auxin solutions used were 1000, 3000, and 5000 mg L^{-1}, which correspond to 5.71, 17.12, and 28.54 mM IAA; 5.37, 16.11, and 26.85 mM NAA; and 4.92, 14.76, and 24.60 mM IBA, respectively.

Experimental design and treatments

The experiment was conducted in a greenhouse using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four replications to study the effects of four genotypes (ASOC1, ASOC2, ASOC3, and ASOC4), three auxin types (IBA, IAA, and NAA), and four concentrations (control, 1000, 3000, and 5000 mg L^{-1}), along with their interactions.

Statistical analysis

The data was submitted to tests of analysis of variance (ANOVA) for treatment effects using the general linear model (GLM) procedure of SAS program version 9.1 (SAS Institute, Cary, NC, USA), for all the evaluated parameters.



Figure 1. Geographical location of the Forest Arboretum of Oued Cherrat, Benslimane province, Morocco



Figure 2. Semi-hardwood cutting trial of the argan tree established according to a Randomized Complete Block Design (RCBD)



Figure 3. Experimental greenhouse of the Biotechnology Unit of the Regional Agricultural Research Center (CRRA) of Rabat, INRA-Morocco.

3. Results

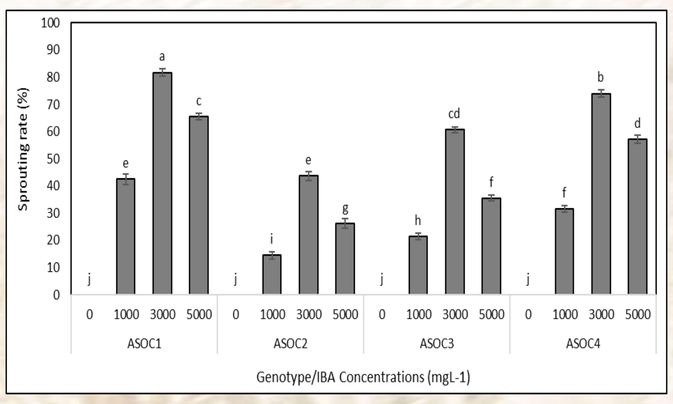


Figure 4. Effects of auxin concentration and genotype on sprouting of *Argania spinosa* (L.) Skeels stem cuttings.

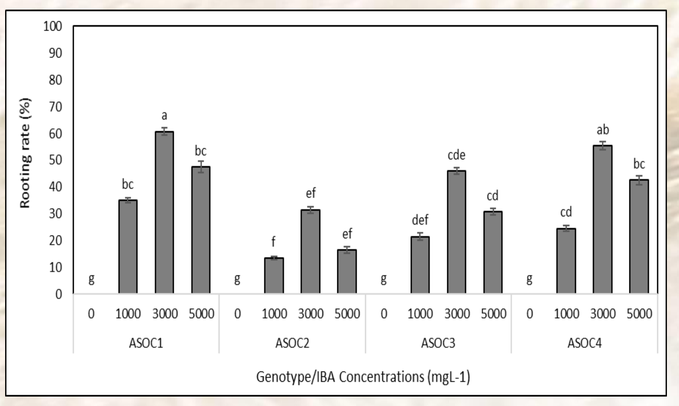


Figure 5. Effects of auxin concentration and genotype on rooting of *Argania spinosa* (L.) Skeels stem cuttings.

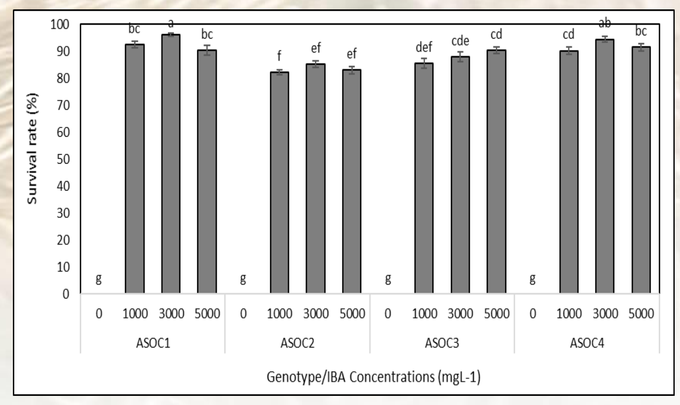


Figure 6. Effects of auxin concentration and genotype on survival rates of *A. spinosa* (L.) Skeels stem cuttings.

4. Conclusion

The results of this study revealed that the development of adventitious roots and shoot growth in Argania spinosa semi-hardwood cuttings were significantly influenced by auxin type, concentration, genotype, and their interactions. Variations among the different genotypes were observed; specifically, cuttings taken from ASOC1 and ASOC4 rooted and sprouted better than those from ASOC2 and ASOC3. It was noted that almost all treatments, except for the control group, induced sprouting and rooting in the cuttings, with IBA application proving to be more effective than NAA and IAA. Application of IBA at a concentration of 3000 mg L^{-1} to ASOC1 cuttings appeared to be the optimal treatment in terms of sprouting, rooting, and survival rates. The present study indicates that *A. spinosa* can be propagated through semi-hardwood cuttings of elite trees, which can be effectively used to enhance vegetative propagation of this species for forest restoration and breeding programs.

References

1. M'hirit, O., Benzyane, M., Benchekroun, F., El yousfi, S.M., and Bendaanoun, M. L'arganier, une espèce fruitière-forestière à usages multiples. Sprimont, Mardaga, 1998; pp. 150.
2. Msanda, F., El Aboudi, A., and Peltier, J.P. Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. Cahiers Agricultures, 2005, 14(4), 357-364.
3. Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., and Geneve, R.L. Plant propagation: principles and practices, 7th edition. Prentice Hall International. New Delhi, 2002; pp. 770.
4. Benbya, A., Alaoui, M. M., Gaboun, F., Delporte, F., and Cherkaoui, S. Vegetative Propagation of *Argania spinosa* (L.) Skeels Cuttings: Effects of Nutrient Solution. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology, 2018, 3(4). 264-415. DOI: https://doi.org/10.22161/ijeab/3.4.31.
5. Nouaim, R., Mangin, G., Breuil, M.C., and Chaussod, R. The argan tree (*Argania spinosa*) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. Agroforestry systems, 2002, 54(1), 71-81. DOI: 10.1023/A:1014236025396.



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER

المؤتمر الدولي
للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition
الصويرة
Essaouira

08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

In silico Design of Oligonucleotide Primers Targeting Key Auxin-Related Genes Involved in Adventitious Root Formation in Argane Tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels)

BENBYA A.[1,2], CHERKAOUI S.[1], GABOUN F.[2], CHLYAH O.[1], DELPORTE F.[3], ABBAS O.[4], MDARHRI ALAOUI M.[2]

1 Physiology and Biotechnology Laboratory, Biology Department, Faculty of Sciences (FSR), Mohamed V University, P.O. Box 1014, Rabat, Morocco.
2 Biotechnology Unit, Regional Center of Agricultural Research of Rabat, National Institute of Agronomy Research of Morocco (INRA-Morocco), P.O. Box 6570, Rabat Institutes, Rabat, Morocco.
3 Bioengineering Unit, Life Sciences Department, Walloon Agricultural Research Centre (CRA-W), Chaussée de Charleroi 234, P.O. Box 5030, Gembloux, Belgium.
4 Valorisation of Agricultural Products Department, Walloon Agricultural Research Centre (CRA-W), Chaussée de Namur 24, P.O. Box 5030, Gembloux, Belgium.

المعهد الوطني للبحث الزراعي
ⵓⵔⴰⵣⵉⵅ ⵏⵓⵟⵏⴰⵢ ⵏ ⵜⵓⵙⵙⵏⵉⵡⵉⵏ ⵓⵔⵕⵓⵎⵏ
Institut National de la Recherche Agronomique

1. Introduction

The argan tree (*Argania spinosa* L. Skeels), an endemic forest species in Morocco, exhibits pronounced recalcitrance to adventitious rooting, which severely limits its clonal propagation and large-scale domestication. Improving arganiculture therefore requires a deeper under-standing of the molecular mechanisms governing root induction, particularly those regulated by auxin transport and perception. In this study, an *in silico* primer design strategy was implemented to develop high-quality oligonucleotide primers targeting six key auxin-related genes involved in adventitious root formation: AUX1 (auxin influx), PIN1, PIN4 and PIN7 (auxin efflux), and ABP1 and TIR1 (auxin perception). Homologous nucleotide sequences were retrieved from international databases (NCBI, EMBL-EBI and DDBJ) and subjected to multiple sequence alignment to identify conserved regions. Primer pairs were designed using Primer3 and Vector NTI based on stringent criteria, including amplicon size, melting temperature, GC content, and absence of secondary structures. All selected primers generated short amplicons (164–191 bp), displayed optimal thermodynamic properties, and showed high theoretical specificity. De-generate primers were incorporated to ensure amplification robustness across homologous gene regions in the absence of a fully annotated argan genome. This work provides a reliable molecular toolkit for downstream gene expression analyses using quantitative PCR. The primers developed represent a valuable resource for elucidating auxin-mediated regulation of adventitious rooting and support molecular-assisted selection strategies aimed at improving clonal propagation of elite *A. spinosa* genotypes.

2. Material and methods

1. Identification of auxin-related candidate genes

Candidate genes involved in auxin influx (AUX1), efflux (PIN1, PIN4, PIN7) and percep-tion (ABP1, TIR1) were selected based on an extensive review of the literature describing their roles in root development and vegetative propagation in herbaceous and woody spe-cies. Homologous nucleotide sequences were retrieved from publicly available databases, including GenBank (NCBI), EMBL-EBI, and DDBJ.

2. Sequence alignment and conserved region analysis

Retrieved sequences were aligned in FASTA format using BLAST and Vector NTI (AlignX) to identify conserved regions across species. Multiple sequence alignments were refined to minimize sequence divergence and ensure primer specificity. Conserved motifs were preferentially selected to maximize the probability of successful amplification in A. spi-nosa, given the lack of a fully sequenced genome.

3. Primer design and in silico validation

Primer design was performed using Primer3 and Vector NTI software. Selection criteria included primer length (18–23 nucleotides), melting temperature (52–60 °C), GC content (40–60%), minimal self-complementarity, and the presence of a GC clamp at the 3′ end. Amplicon sizes were restricted to less than 200 bp to ensure compatibility with quantita-tive PCR applications. Degenerate bases were introduced using IUPAC nomenclature.

3. Results



Figure 1. Liquid-form concentrated primer kit

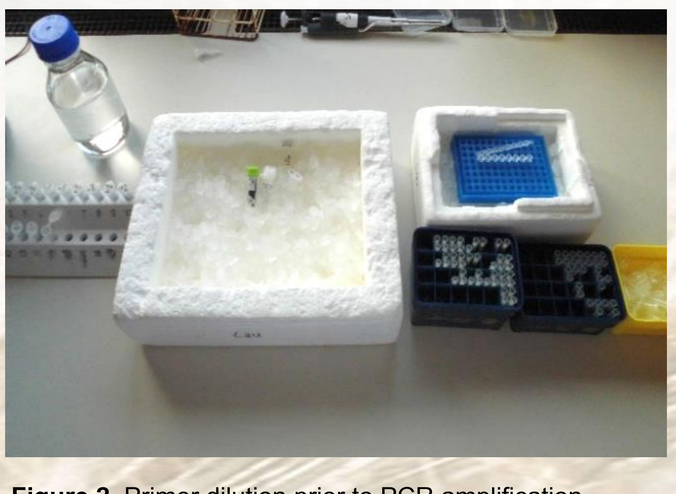


Figure 2. Primer dilution prior to PCR amplification



Figure 3. Eppendorf Tubes containing diluted forward and reverse primers for the six target genes.

4. Conclusion

This study reports the successful in silico design and validation of six pairs of oligonucleotide primers targeting major auxin-related genes involved in adventitious root formation in Argania spinosa. The primers exhibit optimal physicochemical properties, high theoretical specificity, and compatibility with quantitative PCR applications. By enabling gene expression profiling in a non-model woody species, these molecular tools contribute to advancing the understanding of auxin-mediated rooting mechanisms and support molecular-assisted selection strategies aimed at improving argan tree domestication and sustainable arganiculture.

References

1. Banaganapalli, B., Shaik, N. A., Rashidi, O. M., Jamalalail, B., Bahattab, R., Bokhari, H. A., ... & Elango, R. (2019). In silico PCR. In Essentials of Bioinformatics, Volume I: Understanding Bioinformatics: Genes to Proteins. Cham: Springer International Publishing. 355-371.
2. Bani-Aameur, F., Benlahbil, B. (2004). Vegetative propagation of argan tree. Forest Ecology and Management, 192, 269–277.
3. Chukwuemeka, P. O., Umar, H. I., Olukunle, O. F., Oretade, O. M., Olowosoke, C. B., Akinsola, E. O., ... & Oretade, O. J. (2020). In silico design and validation of a highly degenerate primer pair: a systematic approach. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 18(1), 72.
4. Fröder, H., Boschetti, G., Gheno, B. P., Casa, P. L., Lopes, T. S., Martinez, G. S., ... & de Avila e Silva, S. (2025). OligoDesign: enchancing primer specificity through multi-sequence aligment and validation. Biologia, 80(12), 3585-3595.
5. Hendling, M., & Barišić, I. (2019). In-silico design of DNA oligonucleotides: challenges and approaches. Computational and structural biotechnology journal, 17, 1056-1065.
6. Kalendar, R., Shevtsov, A., Otarbay, Z., & Ismailova, A. (2024). In silico PCR analysis: A comprehensive bioinformatics tool for enhancing nucleic acid amplification assays. Frontiers in bioinformatics, 4, 1464197.
7. Kumar, A., & Chordia, N. (2015). In silico PCR primer designing and validation. In PCR primer design. New York, NY: Springer New York, 143-151.



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition الصويرة Essaouira

08>10 ماي 2026

08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Assemblage du génome et analyse fonctionnelle de la souche endophyte *Enterobacter pasteurii* INRA-E3 associée à *Argania spinosa*

Benjilali C.[1,2], Jabal I. [3], Nehiri H.[1,2], El Alami El Aroussi M.[1,5], Moukhafi K.[1,3], Triqui Z.E.A[3]. Zahid A.[2], Hassa, J.[4], Busche T. [4], Kalinowski J. [4], Gaboun F.[1], Khayi S.[1] and Mentag, R.[1]

[1] National Institute of Agricultural Research (INRA), Rabat, Morocco ; [2] Agronomic and Veterinary Institute Hassan II, Rabat, Morocco; [3] Mohamed V University, Rabat, Morocco; [4] Bielefeld University, Germany; [5] Mohamed Ben Abdellah University, Fès, Morocco

Résumé : L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une espèce endémique du Maroc, essentielle sur les plans écologique et socio-économique, mais sa régénération naturelle est limitée par les pressions anthropiques et les conditions environnementales. Dans ce contexte, l'étude du microbiome apparaît comme une voie prometteuse pour améliorer sa résilience. Dans ce cadre , nous avons étudié le potentiel génomique de la souche endophyte *Enterobacter pasteurii* INRA-E3, isolée des racines d'arganier. Le génome complet, séquencé par approche hybride Illumina–Nanopore, totalise 4,83 Mb[222] [2222222] avec 4 533 gènes prédits. L'analyse fonctionnelle révèle des gènes impliqués dans la fixation de l'azote, la production de phytohormones, l'assimilation du fer, la tolérance au stress et les mécanismes de défense. Ces caractéristiques suggèrent un rôle potentiel dans la stimulation de la croissance végétale et l'adaptation de l'arganier aux conditions difficiles. Cette souche représente ainsi un candidat prometteur comme biostimulant et agent de biocontrôle pour une arganiculture durable.[2]

Introduction

L'arganier, espèce endémique du Maroc à forte valeur écologique et socio-économique, voit sa régénération limitée par les pressions anthropiques et les contraintes environnementales. Le programme « Génération Verte 2020–2030 » vise à promouvoir une arganiculture durable, reposant sur l'adaptation de l'arbre aux conditions pédologiques. Dans ce contexte, les endophytes racinaires représentent un levier clé pour améliorer la croissance et la résilience de l'arganier. Cette étude porte sur la souche Enterobacter pasteurii INRA-E3, dont l'analyse génomique et fonctionnelle vise à évaluer son potentiel biostimulant et bioprotecteur.

Matériel et méthodes

La souche *Enterobacter pasteurii* INRA-E3 a été isolée des racines d'arganier. L'ADN a été extrait avec le kit PureLink® puis séquencé par Illumina et Nanopore. Les données ont été filtrées et assemblées (SPAdes pour Illumina et l'assemblage hybride, Pomoxis pour Nanopore), puis évaluées par QUAST .L'annotation génomique a été réalisée avec PROKKA et RAST, et la complétude vérifiée par BUSCO.Les analyses phylogénétiques (MAFFT, IQ-TREE2, iTOL), l'ANI, ainsi que la détection des plasmides (PlasmidFinder) et des îlots génomiques (IslandViewer) ont été effectuées. Des tests fonctionnels ont évalué la solubilisation du phosphate, la fixation de l'azote, la production d'auxine et l'activité catalase. Enfin, une activité de biocontrôle contre *Botrytis cinerea* a été testée.

Résultats

1. Analyse génomique

L'assemblage hybride SPAdes a permis d'obtenir 3 contigs totalisant 4,83 Mb et 4 533 gènes.

- L'assemblage hybride SPAdes a donné les meilleurs résultats, avec 3 contigs, un N50 de 1 773 454 pb, une teneur en GC de 56,5 % et aucune base ambiguë.
- L'analyse du génome a été réalisée à l'aide de Prokka, qui a permis d'identifier 4 581 séquences codantes (CDS) et 111 ARN.

Analyse comparative d'assemblages

Worst Median Best — Show heatmap

Statistics without reference	E3_Illumina_spades	E3_nanopore_pompxis	E3_hybrid_spades
# contigs	29	23	3
# contigs (>= 0 bp)	29	23	41
# contigs (>= 1000 bp)	29	23	3
# contigs (>= 5000 bp)	27	23	3
# contigs (>= 10000 bp)	26	23	3
# contigs (>= 25000 bp)	26	23	3
# contigs (>= 50000 bp)	22	22	3
Largest contig	842 333	582 341	2 211 862
Total length	4 784 709	4 522 440	4 830 507
Total length (>= 0 bp)	4 784 709	4 522 440	4 836 412
Total length (>= 1000 bp)	4 784 709	4 522 440	4 830 507
Total length (>= 5000 bp)	4 781 325	4 522 440	4 830 507
Total length (>= 10000 bp)	4 771 465	4 522 440	4 830 507
Total length (>= 25000 bp)	4 771 465	4 522 440	4 830 507
Total length (>= 50000 bp)	4 650 850	4 482 596	4 830 507
N50	303 521	246 163	1 773 454
N75	146 117	199 657	1 773 454
L50	5	7	2
L75	11	12	2
GC (%)	56.49	56.61	56.48
Mismatches			
# N's	0	0	0
# N's per 100 kbp	0	0	0

Figure 1 : Évaluation comparative des assemblages du génome d'*Enterobacter pasteurii* INRA-E3.

Analyse génomique

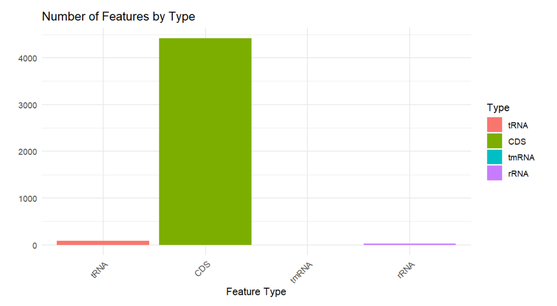


Figure 2 : Analyse du génome d'*Enterobacter pasteurii* INRA-E3.

2. Functional annotation

- Le génome révèle des fonctions PGPR. Les gènes impliqués dans la solubilisation de phosphate, la fixation d'azote , la production des phytohormones a chélatation de fer et la défense indiquent un fort potentiel PGPR .

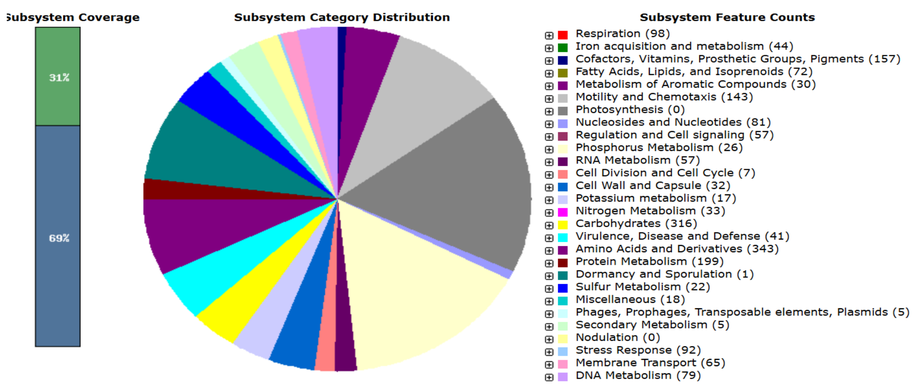


Figure 3 : Annotation fonctionnelle du génome d'*Enterobacter pasteurii INRA-E3* réalisée à l'aide de RAST.

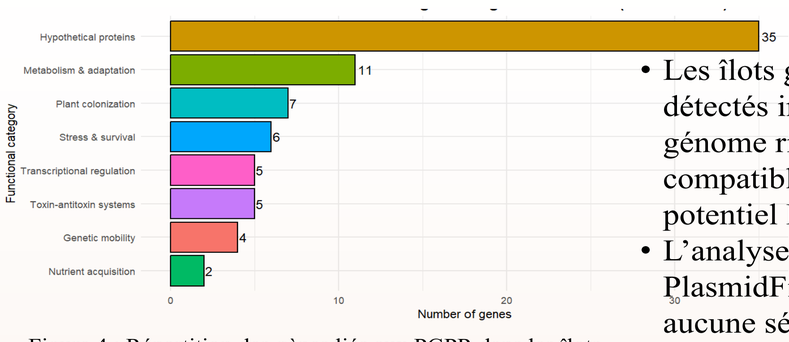


Figure 4 : Répartition des gènes liés aux PGPR dans les îlots génomiques

- Les îlots génomiques détectés indiquent un génome riche en fonctions compatible avec un potentiel PGPR important.
- L'analyse avec PlasmidFinder n'a révélé aucune séquence plasmidique,

3. Validation expérimentale

- Les fonctions PGPR prédites par l'analyse génomique ont été confirmées par des tests biochimiques, validant ainsi le potentiel biostimulant et bioprotecteur de la souche.

Tableau 1 : Résultats des tests biochimiques réalisés pour la caractérisation de la souche bactérienne

Test	Résultats
Catalase	Positif
Fixation d'azote	Positif
Solubilisation de phosphate	Positif (Indice de solubilisation = 3,6)
Production d'auxine	Positif (DO = 2.223) plus que 45 microgrames IAA / ml



Botrytis cinerea (témoin) — *B. cinerea* vs INRA-E3

Figure 5 : Confrontation *in vitro* de la souche bactérienne contre *Phytophthora infestans*

4. Analyse phylogénomique

- L'analyse phylogénomique place l'endophyte INRA-E3 est étroitement groupé avec *Enterobacter pasteurii* (ANI calculator = 98,85 %),
- D'après les tests biochimiques, l'analyse génomique et la littérature, la souche *Enterobacter pasteurii* INRA-E3 présente plusieurs traits fonctionnels typiques des PGPR

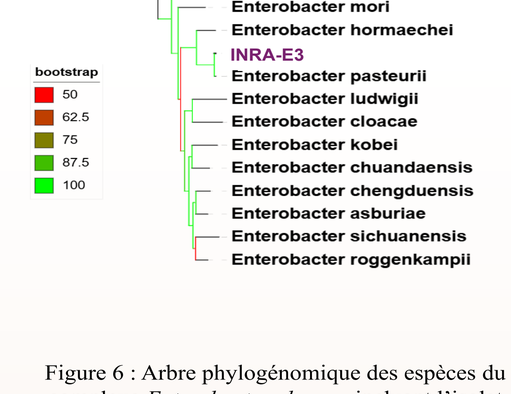
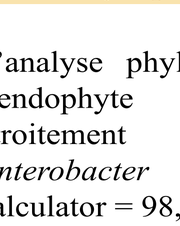


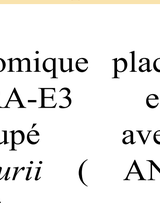
Figure 6 : Arbre phylogénomique des espèces du complexe *Enterobacter cloacae* incluant l'isolat INRA-E3

Conclusion

Cette étude démontre qu'*Enterobacter pasteurii* INRA-E3 possède des fonctions métaboliques et adaptatives qui en font un candidat prometteur pour améliorer la tolérance des arganiers aux stress abiotiques et biotiques. Son potentiel biostimulant ouvre des perspectives pour le développement de formulations microbiennes destinées à soutenir des programmes de culture durable de l'arganier. Il est recommandé de poursuivre la validation expérimentale *in vitro* et *in planta*, d'évaluer son efficacité en conditions réelles et de développer des inoculants adaptés aux pépinières et aux plantations.



Chaimae BENJILALI
IAV, INRA, Morocco



Dr. Rachid MENTAG
INRA, Morocco

8th International Congress on the Argan Tree, May 08-10, Essaouira, Morocco

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition
2026 ماي 10<08
08>10 mai 2026

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

8ème édition du Congrès International de l'Arganier, Sous le thème :
« De L'Arganeraie à l'Arganiculture : L'Arganier, Pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés »
à Essaouira, du 08 au 10 Mai 2026

Effet du génotype sur le comportement germinatif des semences d'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) dans la région orientale du Maroc

Zaineb Boulida [1*], Ibtissam Mzabri [1], Abdelghani Abdellaoui [1], Ibtihal Bekkouch [1] et Aabdelbasset Berrichi [1]

[1] Laboratoire d'amélioration de la production agricole, de biotechnologie et d'environnement, Faculté des sciences, Université Mohammed Premier, 60000 Oujda, Maroc

*Correspondance : z.boulida@ump.ac.ma

RÉSUMÉ

La pérennité de l'arganeraie marocaine est aujourd'hui compromise par la sécheresse, la surexploitation et le faible taux de régénération naturelle, ce qui impose la mise en place de stratégies de conservation et de valorisation adaptées. L'objectif de cette étude est d'évaluer la variabilité inter-génotypique de la germination des semences d'arganier (*Argania spinosa L.* Skeels), afin d'identifier le comportement germinatif des semences des trois variétés d'arganier : Béni-Snassen, Chouihiya, Souhayl et un clone X en cours de séléction. Les résultats obtenus révèlent des différences significatives entre les génotypes testés : la variété Béni-Snassen a enregistré le taux de germination le plus élevé (82,31 %) avec un temps de latence réduit (7 jours). Elle est suivie par Chouihiya (81,83 %), le clone X (79,63 %) et la variété Souhayl, qui présente la plus faible aptitude germinative (65 %) malgré le calibre supérieur de ses graines, ces trois génotypes se caractérisant par un temps de latence de (9 jours). Par ailleurs, l'analyse des semis issus des noix contenant plus d'une amande a montré une augmentation du nombre de plantules produites par noix, accompagnée d'une augmentation du taux de germination, Cette amélioration a été particulièrement significative chez le clone X (89 %) et la variété Souhayl (70,45 %), attribuable aux gros calibres des noyaux contenant plus d'une amande viable. En revanche, la variété Béni-Snassen (87 %) et Chouihiya (85,55 %) n'ont montré qu'une progression modérée, probablement en lien avec le petit calibre des noyaux limitant le nombre d'amandes.

Ces résultats confirment que la vigueur germinative et la production de plantules sont davantage déterminées par l'effet du pied-mère et la viabilité des semences (viabilité embryonnaire et dormance tégumentaire) que par la taille des semences. Ces résultats mettent en évidence l'importance d'une sélection rigoureuse des pied-mères dans les vergers semenciers afin d'identifier les génotypes les plus performants, tout en veillant à préserver une large diversité génétique.

Mots clés : *Argania spinosa* L. Skeels, Variabilité génétique, Germination, génotypes.

MÉTHODOLOGIE

1. Matériel végétal :

L'étude a été conduite en janvier 2025 à la station expérimentale de la Faculté des Sciences de l'Université Mohammed Premier d'Oujda. Le matériel végétal était constitué de 8 296 noyaux d'arganier provenant de trois variétés inscrites au catalogue officiel (Beni-Snassen, Souhayl et Chouihiya) ainsi que d'un clone en cours de sélection (X), tous implantés dans la collection à la station expérimentale de la Faculté (Tableau 1). Un lot de 2 200 noyaux a été utilisé pour les variétés Béni-snassen et Souhayl ainsi que pour le clone X, tandis que la variété Chouihiya a été représentée par 1 696 noyaux.

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques des génotypes utilisés dans l'essais.

Génotype	Position de l'arbre	
	Latitude	Longitude
Souhayl	34°39'05"N	1°53'55"W
X	34°39'07"N	1°53'53"W
Béni-Snassen	34°39'06"N	1°53'53"W
Chouihiya	34°39'06"N	1°53'53"W

2. Condition de l'essai :

Avant la mise en germination, l'ensemble des noyaux de chaque variété a été imbibé dans de l'eau à température ambiante pendant 48 heures. Par la suite, ils ont été répartis en lots : de 100 noyaux pour les variétés Beni-snassen, Souhayl ainsi que pour le clone X, et des lots de 70 noyaux pour la variété Chouihiya. Une désinfection a été effectuée à l'aide d'une solution d'hypochlorite de sodium à 10 % durant 10 minutes, suivie d'un traitement fongique. Après, chaque lot a été mis en germination dans des sachets en plastique contenant de la tourbe vierge, puis transféré dans une enceinte phytotronique à climat contrôlé, avec une température de (25 ± 2 °C) et une humidité relative de (95 ± 2 %).

Les noyaux ayant germé dans les sachets de chaque variété ont été repiqués dans des plaques alvéolées de 60 alvéoles, remplies de tourbe comme substrat. Les plaques ont ensuite été placées sous une serre en verre, offrant des conditions de croissance convenables. L'irrigation a été assurée régulièrement à l'aide d'un arrosoir, sans aucun apport d'engrais.

3. Les paramètres mesurés :

- **Temps de latence (jours) :** intervalle entre la mise en germination des noyaux et l'émission de la première radicule, traduisant la rapidité d'initiation du processus germinatif.
- **Taux de germination (%) :** rapport entre le nombre total des noyaux ayant germé et le nombre total des noyaux mises en germination, fournissant une mesure quantitative de l'aptitude germinative du matériel végétal.

$$TG(\%) = \frac{N_g}{N_{tot}} \times 100$$

N_g = nombre de noix ayant germé, N_{tot} = nombre total de noix mises en germination.

- **Pourcentage de plantules produites par génotype (%) :** rapport entre le nombre total de plantules obtenues à partir d'un génotype donné et le nombre initial des noyaux mises en germination, tenant compte du fait qu'un même noyau peut contenir plusieurs amandes et donc produire plusieurs plantules.

$$PP(\%) = \frac{P_{tot}}{N_{tot}} \times 100$$

P_{tot} = nombre total de plantules obtenues pour le génotype (somme de toutes les plantules issues des noix du génotype), et N_{tot} = nombre initial de noix mises en germination pour ce génotype.

RÉSULTATS

1. Temps de latence :

L'analyse du temps de latence a mis en évidence une variation inter-génotypique significative (figure1). La moyenne enregistrée pour l'ensemble des génotypes est de 9 jours. Cependant, la variété Béni-Snassen s'est démarquée par une germination plus précoce, avec un délai moyen réduit à 7 jours. Ces résultats confirment l'importance du facteur génétique dans la dynamique de germination des noyaux d'arganier.

2. Taux de germination (%) :

Comme l'illustre la figure 2, l'analyse met en évidence une variabilité notable entre les génotypes étudiés. La variété Béni-Snassen s'est distinguée par la meilleure aptitude germinative avec 82,31 %, suivie de près par la variété Chouihiya et le clone X, tandis que la variété Souhayl a présenté les performances les plus faibles (65 %). Cette hétérogénéité traduit l'influence déterminante du facteur génétique sur le comportement germinatif de l'arganier.

3. Pourcentage de plantules produites par génotype (%) :

Comme l'illustre la figure 3, l'intégration des semis issus des noix renfermant deux ou trois amandes a permis d'accroître le pourcentage de plantules produites pour l'ensemble des génotypes étudiés. Cette amélioration du taux de germination, exprimée par le nombre de plantules obtenues par noix, s'est révélée particulièrement marquée chez le clone X et la variété Souhayl, avec des taux atteignant respectivement 89 % et 70,45 %. Ces résultats mettent en évidence l'influence notable du nombre d'amandes par noix sur la performance germinative des génotypes d'arganier.

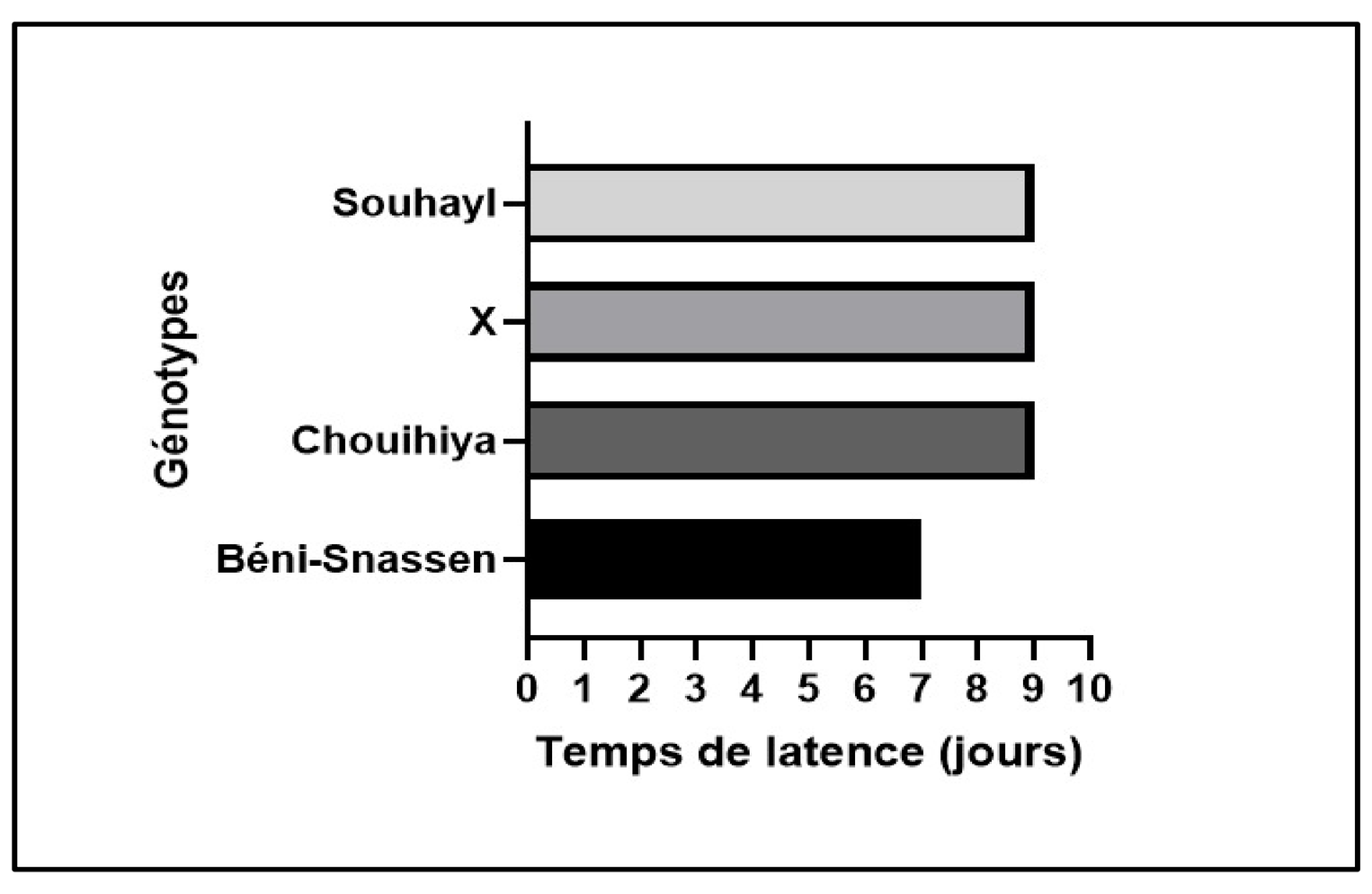


Fig.1. Temps de latence moyen de germination des noyaux d'arganier

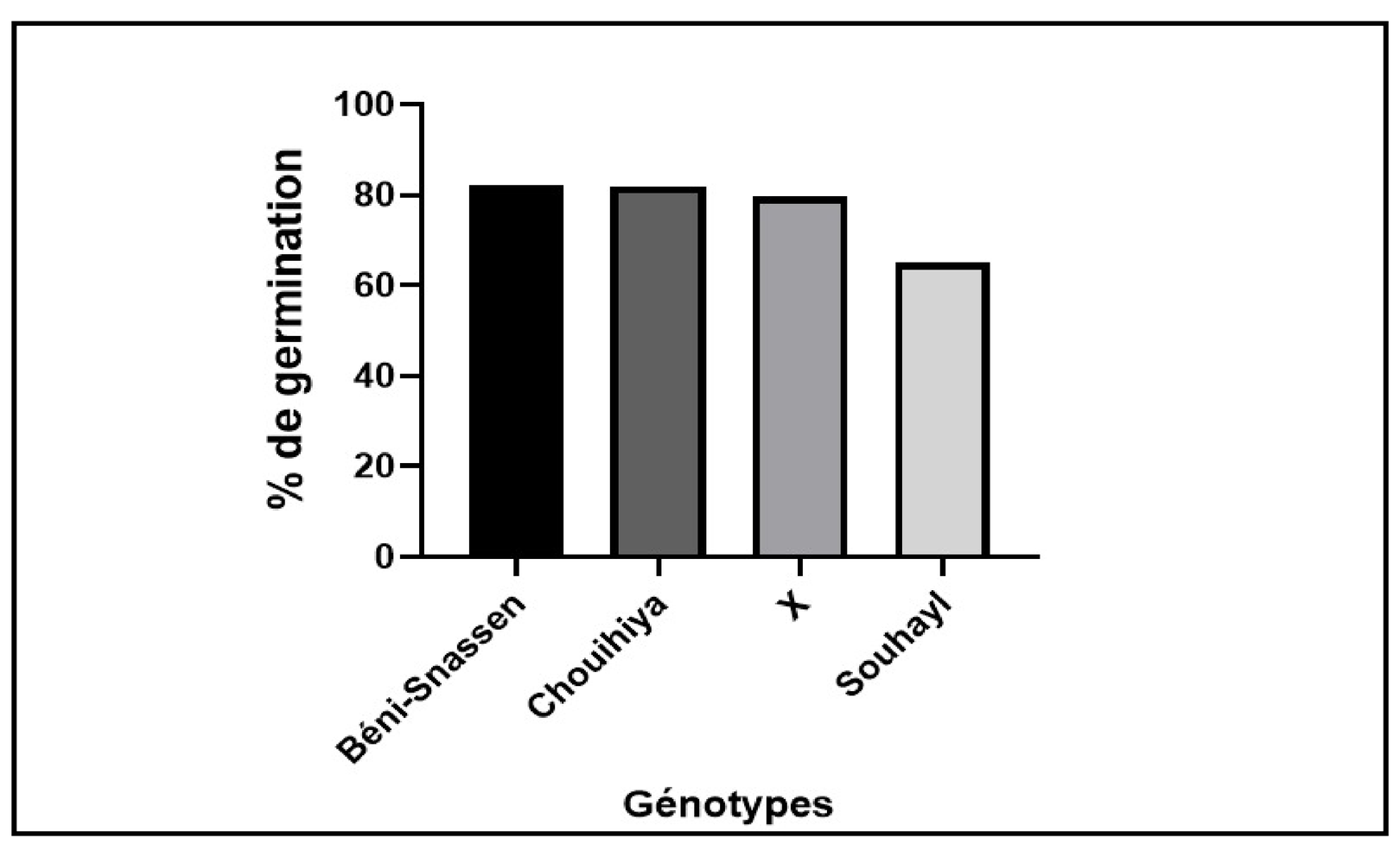


Fig. 2. Pourcentage de germination des quatre génotypes d'arganier étudiés

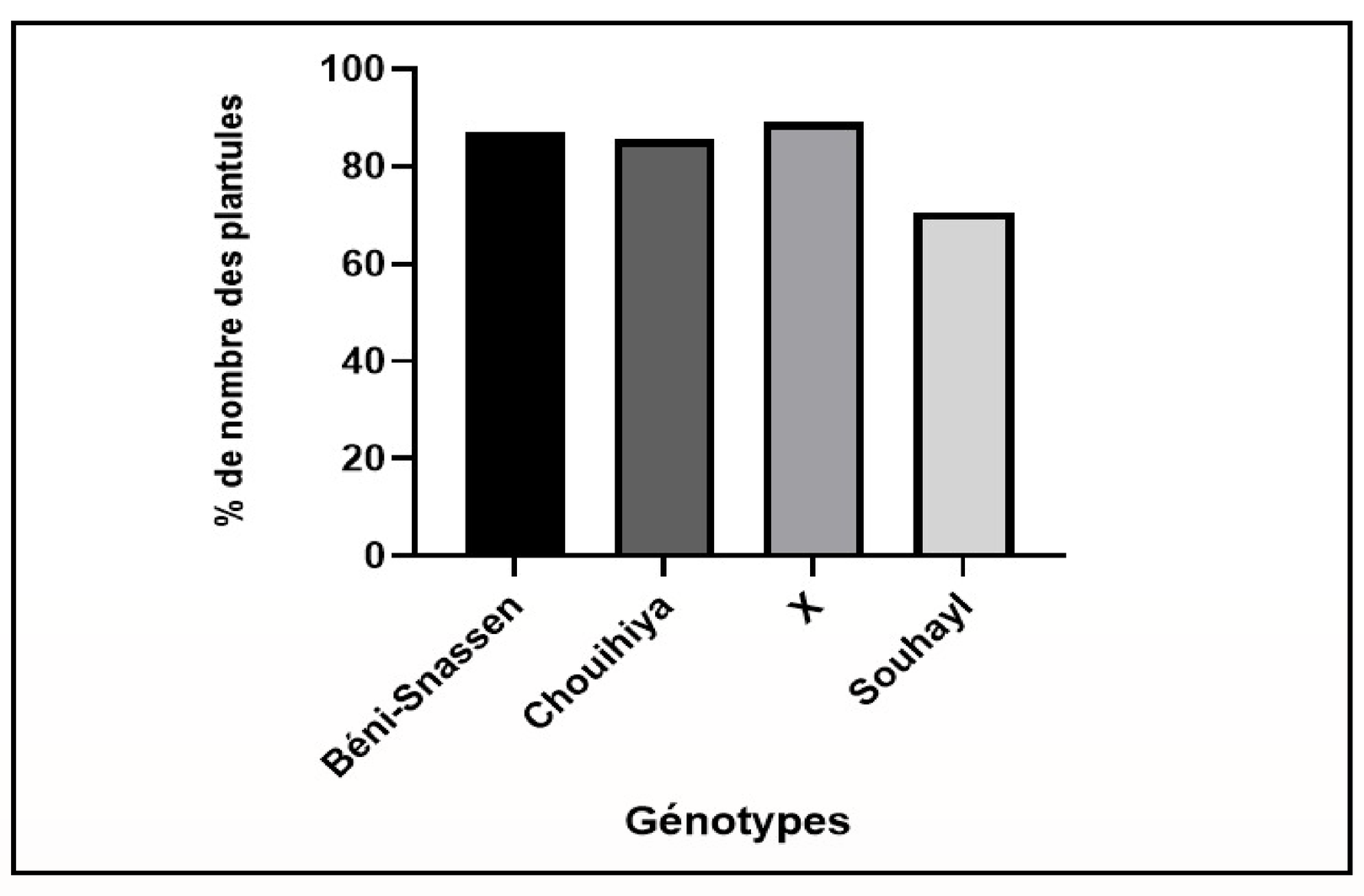


Fig. 3. Pourcentage de nombre des plantules produite par chaque génotype étudié

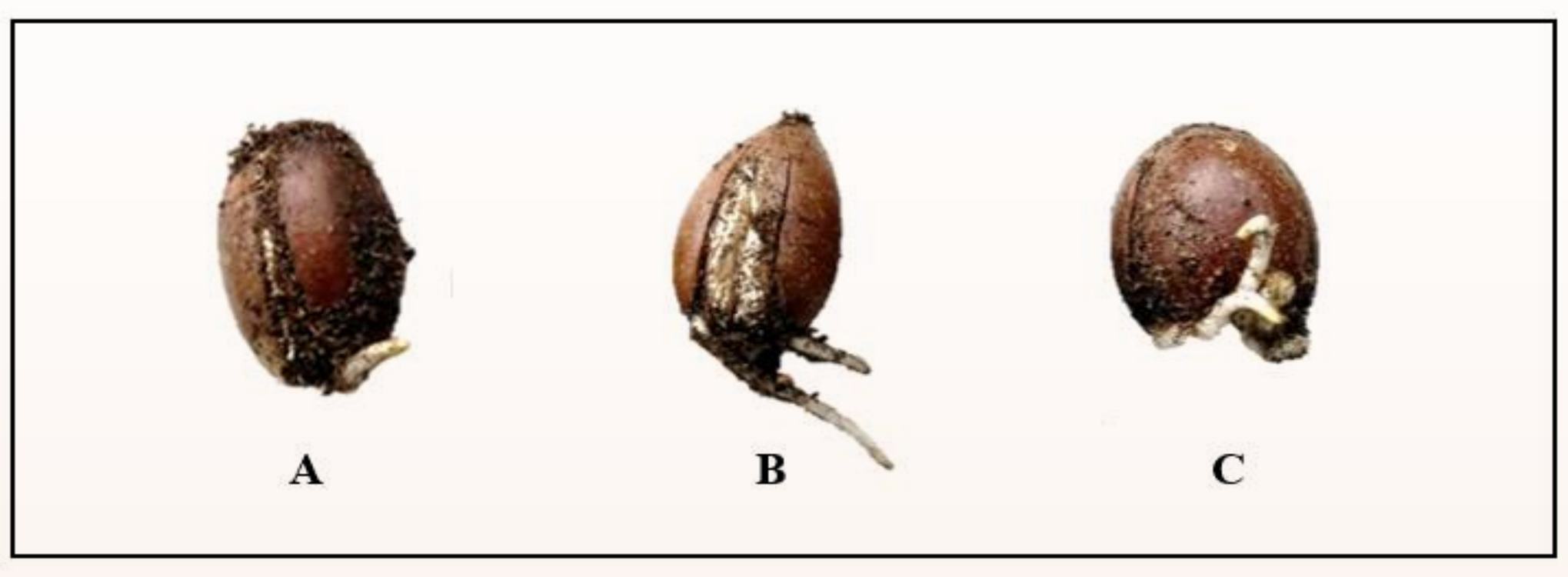


Fig. 4. (A) une amande germée, (B) deux amandes germées, (C) trois amandes germées.

CONCLUSION

Cette étude a montré que le comportement germinatif des semences d'arganier varie de manière significative selon le génotype. Les différences enregistrées mettent en évidence le rôle déterminant de la diversité génétique dans la réussite de la germination et la production de plantules. Les génotypes les plus performants offrent ainsi des perspectives intéressantes pour les programmes de sélection et de multiplication, contribuant à la durabilité et à la valorisation de l'arganiculture dans la région orientale du Maroc.

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

8ème édition الصويرة Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

Biochar-enriched biocompost improves growth and physiological responses of *Argania spinosa* seedlings under severe drought stress

Saida Dakir[1]*, Merieme Soufiani[2], Oumaima Semmoudi[3], Fadoua Abouelkoussine[1], Asma Makloul[1], Khalid Dhassi[4], Abdelwahed Fidah[5], Abderrahim Ferradous[5], Cherkaoui El Modafar[2] and Abdelghani Chakhchar[1]

[1] Université Cadi Ayyad, Ecole Normale Supérieure, Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bio-ressources, Environnement et Matériaux (LIRBEM), Marrakech, Morocco; [2] Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques, Centre d'Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Unité de Recherche Labellisée CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05), Marrakech, Morocco ; [3] Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Laboratoire d'Excellence en Agrobiotechnologie et Bioingénierie, Centre AgroBiotech, Unité de Recherche Label-lisée CNRST (URL05-CNRST), Equipe Physiologie des stress abiotiques, Marrakech, Morocco ; [4] Université Cadi Ayyad, École Supérieure de Technologie, Laboratoire des Sciences Appliquées au Développement Durable, El Kelâa des Sraghna Morocco ; [5] Centre Régional de la Recherche Forestière, Marrakech, Morocco.

ABSTRACT

Climate change and increasing water scarcity threaten the sustainability of arid agroecosystems, making the improvement of drought tolerance in argane tree (*Argania spinosa* L.), an endemic species of central-western Morocco, a critical challenge. This study aimed to assess the effectiveness of an innovative biocompost derived from wheat straw biochar co-composted with animal manure in enhancing the drought resilience of two-year-old argane seedlings exposed to severe drought stress (30% of field capacity). The agronomic quality of the biocompost was first cha-racterized, showing a slightly alkaline pH (7.38), high moisture content (57.33%), and an optimal C/N ratio (13.3), indicating good stability and nutrient availability. Argane seedlings were grown under controlled conditions with or without biocompost amendment and subjected to drought stress. Biocompost application significantly improved growth parameters, with stem height and lateral branch number increasing by 56.5% and 65.3%, respectively, compared to stressed, non-amended see-dlings. Physiologically, treated seedlings exhibited enhanced drought tolerance, reflected by higher stomatal conductance (+38.0%) and reduced electrolyte leakage (-42.1%). Overall, the biocompost effectively alle-viated the negative effects of severe drought stress on A. spinosa growth and its physiological tolerance mechanisms, highlighting its potential as a sustainable agroecological amendment for arid and semi-arid regions.

CONCLUSIONS

This study highlights the positive impact of the developed biocompost on the impro-vement of soil properties and the enhancement of argane tree tolerance to water stress. The physico-chemical characterization of BioC confirms its stability, maturity, and agronomic potential, while the morphological and physiological results demonstrate its ability to mitigate the negative effects of water deficit by improving plant growth, water status, and cellular integrity. The use of biocompost therefore represents a sustainable and promising approach to strengthening argane tree resilience and promo-ting environmentally sound soil management in arid and semi-arid regions.



MATERIALS & METHODS

The study was conducted on two-year-old Argania spinosa seedlings grown from seeds collected in the Essaouira region and cultivated in pots under semi-controlled greenhouse conditions. After a one-month acclimation period, seedlings were subjected to three treatments: well-irrigated control, severe drought stress (30% of field capacity), and drought stress with biocompost amendment. Drought stress was applied for 30 days, with biocompost incorporated one week before stress induction. The biocompost was produced from wheat straw biochar and animal manure (20:80, w/w) through controlled composting. Its physico-chemical, structural, and functional properties were thoroughly characterized using standard analytical methods, FTIR, SEM, and EDX. At the end of the experiment, morphological traits such as growth, biomass, and leaf area were measured. Physiological parameters related to plant water status and membrane integrity were also evaluated to assess drought stress responses.

RESULTS

The physico-chemical analyses show that the compost is well stabilized and of high quality, with a near-neutral pH, optimal moisture content, and a balanced C/N ratio favorable to soil fertility and microbial activity. Its low salinity and sodium content reduce the risk of plant stress, while essential macro- and micronutrients are present in adequate amounts. Structural and spectroscopic analyses confirm a humified, porous, and biologically active organic matrix, suitable for soil improvement.

	C	DS	DS+BioC
Stem height	43.27±3.28b	38.93±3.85c	60.93±3.49a
Collar diameter	2.11±0.46b	1.56±0.18c	3.08±0.42a
Leaf area	1.61±0.06a	0.72±0.04c	1.04±0.11b
Number of lateral branches	4,25±0,97b	4,08±0,90b	6,75±1,50a
Root length	14.33±0.58b	19.00±2.65a	15.25±0.50b
Shoot dry biomass	4.26±1.11b	4.33±0.38b	6.12±1.09a
Root dry biomass	4.03±1.18a	4.27±1.32a	4.30±1.60a

Drought stress significantly reduced shoot growth, collar diameter, and leaf area of argane seedlings, while promoting root elongation. Biocompost application effectively alleviated these negative effects by markedly improving stem growth, collar diameter, branching, and leaf area. Treated seedlings also showed a substantial increase in shoot dry biomass compared to both stressed and control plants, whereas root dry biomass remained unchanged among treatments.

	C	DS	DS+BioC
Relative water content	74.52±11.90ab	56.89±10.24b	77.70±5.90a
Stomatal conductance	21.50±2.88a	10.10±1.37c	13.93±1.40b
Residual transpiration rate	1.81±0.17a	1.14±0.41b	1.73±0.19a
Membrane permeability	13.77±2.08	29.10±4.50	16.85±1.94

Severe drought stress strongly impaired physiological functioning by reducing stomatal conductance and residual transpiration and increasing membrane damage, while relative water content remained unchanged. Biocompost application alleviated these effects by improving stomatal conductance and plant water status, reducing membrane permeability, and restoring residual transpiration to near-control levels.

8ème édition du Congrès International de l'arganier – 2026

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المؤتمر الدولي
للأركان
ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition
الصويرة
Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Linking Fatty Acid Desaturase Gene Diversity to Leaf Lipid Traits in the Argan Tree (*Argania spinosa* L.)

EL FAQER Abdelmoiz[1], RABEH Karim [1,2], Alami Mohammed [1], Filali-maltouf Abdelkarim [1], BELKADI Bouchra [1]

[1] Microbiology and Molecular Biology Team, Center of Plant and Microbial Biotechnology, Biodiversity and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed 5 University, Rabat, Morocco

[2] Oasis Systems Research Unit, Regional Center of Agricultural Research of Errachidia, National Institute of Agricultural Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, Rabat 10090, Morocco

BACKGROUND

- **CONTEXT**

Argania spinosa is an endemic tree of southwestern Morocco, valued for an oil rich in unsaturated fatty acids, mainly oleic and linoleic acids. The balance between these fatty acids is largely controlled by fatty acid desaturases, especially ***FAD2*** and ***SAD*** enzymes, which catalyze key desaturation steps in lipid biosynthesis. Beyond oil quality, desaturase activity influences membrane fluidity and contributes to adaptation to environmental constraints such as drought and heat.

However, population-level sequence diversity in argan desaturase genes and its functional relevance remain poorly documented. Single nucleotide polymorphisms (SNPs) in these candidate genes provide stable molecular markers to explore genetic diversity, detect selection signatures, and link allelic variation to lipid traits, supporting future marker-assisted breeding.

- **OBJECTIVES**

This study aimed to:

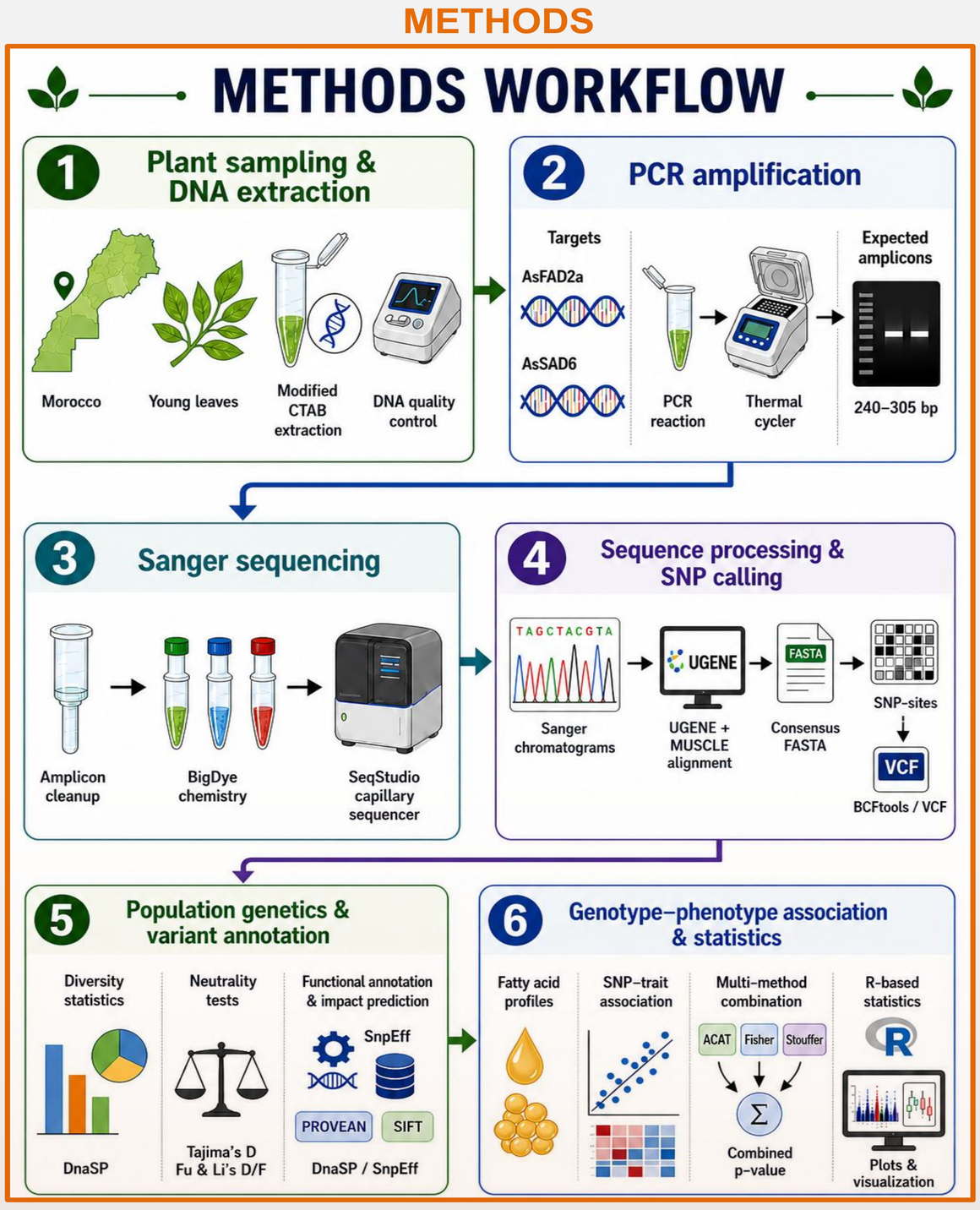
❖Identify SNPs within two key desaturase genes (***AsFAD2a*** and ***AsSAD6***) across a representative argan core collection.

❖Quantify genetic diversity, haplotype structure, and signatures of selection at these loci.

❖Predict the functional impact of coding variants using *in-silico* approaches.

❖Establish genotype-phenotype associations between SNPs and lipid traits (oleic/linoleic content and desaturation indices).

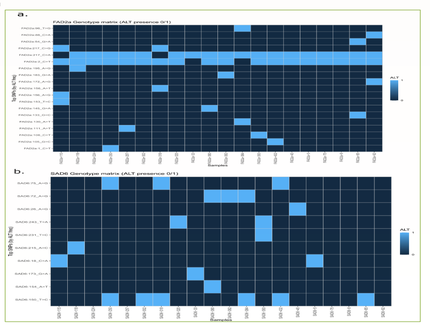
METHODS



RESULTS & DISCUSSION

1. SNP discovery and genetic diversity

Targeted sequencing of ***AsFAD2a*** and ***AsSAD6*** in 20 Argania spinosa accessions identified **29 SNPs**, including ***19 SNPs*** in AsFAD2a and ***10 SNPs*** in ***AsSAD6***. Both genes showed low nucleotide diversity, while haplotype diversity remained relatively high. This pattern suggests strong conservation of desaturase coding regions, while maintaining haplotypic variation that may contribute to lipidomic diversity among accessions.



- 29 SNPs identified in total
- AsFAD2a: 19 SNPs
- AsSAD6: 10 SNPs
- Low nucleotide diversity ($\pi \approx 0.006–0.007$)
- High haplotype diversity (Hd up to ~0.90)

Figure 1. Genotype matrices of *AsFAD2a* and *AsSAD6* SNPs across sampled accessions

2. Functional annotation of variants

Table 1. Candidate coding SNPs and predicted effects

Gene	SNP	Variant type	SIFT	PROVEAN	Predicted impact
AsFAD2a	145_G>A	nonsynonymous	tolerated	neutral	candidate
AsFAD2a	201_C>T	nonsynonymous	deleterious	deleterious	candidate
AsSAD6	231_T>C	nonsynonymous	tolerated	neutral	candidate
AsSAD6	278_G>A	nonsynonymous	deleterious	deleterious	candidate

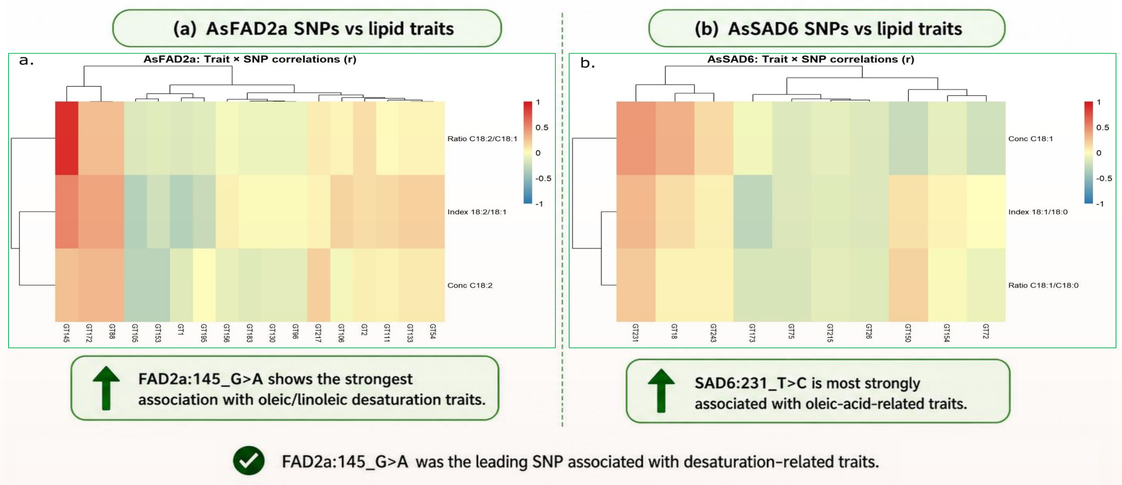
- All detected SNPs mapped to coding regions
- AsFAD2a contained synonymous and nonsynonymous substitutions
- AsSAD6 showed a higher proportion of amino-acid-changing variants
- Several nonsynonymous SNPs were predicted as potentially deleterious

These functional effects are computational predictions and require experimental validation.

3. Genotype–phenotype association

Association analysis identified two promising candidate SNPs linked to lipid traits: ***FAD2a:145_G>A***, strongly associated with the oleic-to-linoleic desaturation index, and ***SAD6:231_T>C***, associated with oleic-acid-related traits. These associations are biologically consistent with the roles of ***FAD2*** and ***SAD*** in fatty-acid desaturation.

Figure 2. Heatmap of genotype–phenotype associations (n = 20 accessions)



- FAD2a:145_G>A was the leading SNP associated with desaturation-related traits.
- SAD6:231_T>C showed the strongest association with oleic-acid-related traits.
- The heatmap pattern is biologically coherent with the roles of FAD2 and SAD in fatty-acid desaturation.

CONCLUSION

AsFAD2a and *AsSAD6* show low nucleotide diversity but high haplotype richness, consistent with strong functional constraint while maintaining useful variation. Several coding SNPs were predicted to affect protein function, and two variants (FAD2a:145_G>A and SAD6:231_T>C) emerged as the best candidates linked to lipid traits. These SNPs provide practical targets for validation and future marker-assisted improvement of argan oil quality and stress resilience.

CONTACT

MAIL: Abdelmoizelfaqer@gmail.com

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵣⵔⵓ ⵓⵎⵓⵔⴰⵏ ⵍⵓⵔⵣⴰⵏ

8ème édition الصويرة Essaouira

10<08 ماي 2026

08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Ressources génétiques de l'arganier (*Sideroxylon spinosum L.*) : enjeux et leviers pour une arganiculture durable

Ali El Boukhari, Abdelhamid El Mousadik, Rachida El Boullani, Mohamed Ouknin, Meriyem Koufan, Abdelghani Tahiri, Rachid Bouharroud, Redouan Qessaoui, Jamal Hallam, Ouiam Chetto, Hamid Benyahia, Slimane Khayi, Rachid Mentag, **Naima Ait Aabd**

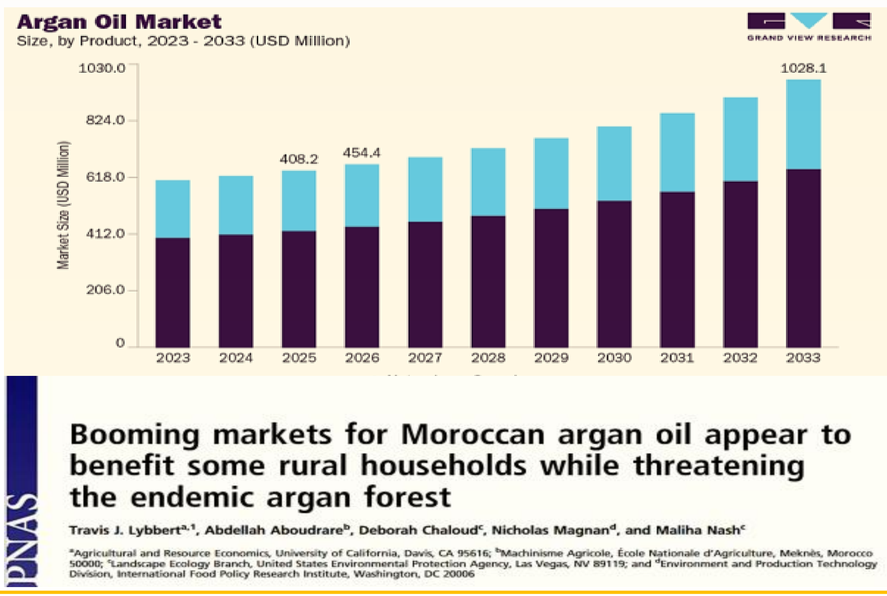
Introduction

Les peuplements naturels produisent environ 24 L/ha d'huile d'argan.

Les vergers structurés (200 arbres/ha) prédiquent un rendement minimal de 200 L/ha.

Le marché mondial de l'huile d'argan, dominé par le Maroc, est en pleine expansion.

L'huile cosmétique (65-75% du marché), dont le prix peut dépasser 300 USD le litre.



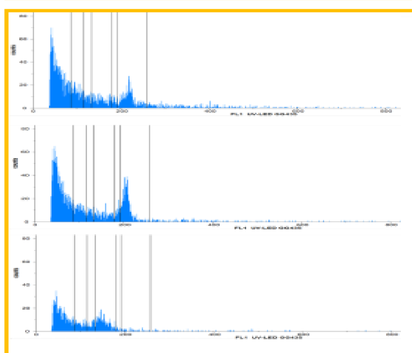
PNAS

Booming markets for Moroccan argan oil appear to benefit some rural households while threatening the endemic argan forest

Travis J. Lybbert[a,1], Abdellah Aboudrare[b], Deborah Chaloud[c], Nicholas Magnan[d], and Maliha Nash[c]

[a]Agricultural and Resource Economics, University of California, Davis, CA 95616; [b]Machinisme Agricole, École Nationale d'Agriculture, Meknès, Morocco 50000; [c]Landscape Ecology Branch, United States Environmental Protection Agency, Las Vegas, NV 89119; and [d]Environment and Production Technology Division, International Food Policy Research Institute, Washington, DC 20006

Structure du génome de l'arganier



Cytométrie en flux : 28% de variation



Plus de 109 Mpb de différence entre la mesure cytométrique et l'assemblage génomique

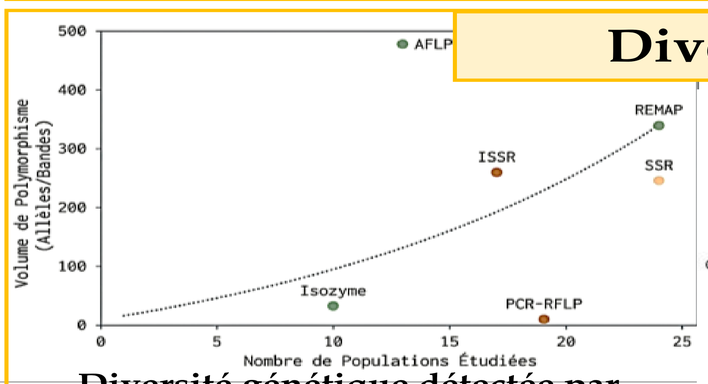


Une différence qui peut correspondre à la taille d'un chromosome entier

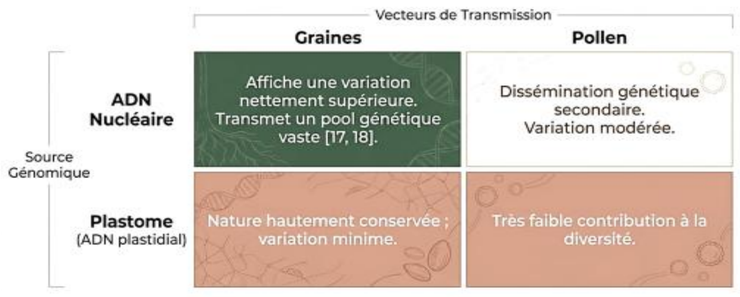


2n=22 ; 2n=20 ; 2n=24

Diversité et structure de la population



Diversité génétique détectée par marqueurs moléculaires



Analyse du flux génétique

Structuration de la diversité génétique

Source	Component de variation
Intra-population	48-81%
Inter-population	19-40%
Entre Régions	11-12%

Facteurs explicatifs

Espèces Forestières Tempérées	*Sideroxylon spinosum* (Arganier)
Isolement géographique dominant.	Compromis évolutif complexe.
Générations souvent distinctes ou ségréguées.	Générations chevauchantes et reproduction croisée continue.
Migration spatiale ou remplacement lent.	Longévité, mutations somatiques et adaptation graduelle aux contraintes du milieu *in situ*.

Utilité et techniques de multiplication



La multiplication végétative est seule capable de stabiliser les haplotypes



La sélection par semis est inopérante pour garder les caractères d'intérêt.

Perspectives

Passer de la récolte sauvage à une arganiculture horticole structurée.
Fixer les élites par la multiplication végétative pour stabiliser l'intérêt.
Garder la forêt pour la diversité et les vergers pour la productivité.
Associer des génotypes compatibles pour assurer une pollinisation stable.
Consolider la biotechnologie pour décoder la base et la complexité génomique.

Références

Copier l'URL ou scanner le code QR pour consulter 58 références:

https://docs.google.com/document/d/1cgPG6yQTl0RTraTjeahr1erJiFv0M6zmvktFWObFBus/edit?usp=sharing

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

8ème édition الصويرة Essaouira

10<08 ماي 2026

08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

Multispectral Image Analysis of Pulp and Kernel Morphology and Color Variation in Six New *Argania spinosa* Varieties

Ahmed Hajib[1], Abderahim Asbbane[1], Hasnae Choukri[2], Naima Ait Aabd[3], Khalid majourhat[1] and Said Gharby[1]

1 Biotechnologie, Sciences Analytiques et Controle Qualité, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Univesité Ibn Zohr Maroc.
2 AgroBioSciences Program, College of Agriculture and Environmental Sciences, Mo-hammed VI Polytechnic,University, Ben Guerir 43150, Morocco
3 Regional Center of Agricultural Research of Agadir, National Institute of Agronomic Research, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Morocco.

Context of the study

- *Argania spinosa* is an important species for oil production and economic development in Morocco.
- Six improved varieties have been developed by INRA-Morocco through structured breeding and selection programs at Melk Zhar experimental orchard.
- These varieties represent valuable genetic resources for enhancing argan productivity and quality.
- VideometerLab 4 technology was used as a non-destructive and reproducible tool to extract:
  - Morphological descriptors
  - Colorimetric parameters
- Chemical profiling was performed and integrated with imaging data.

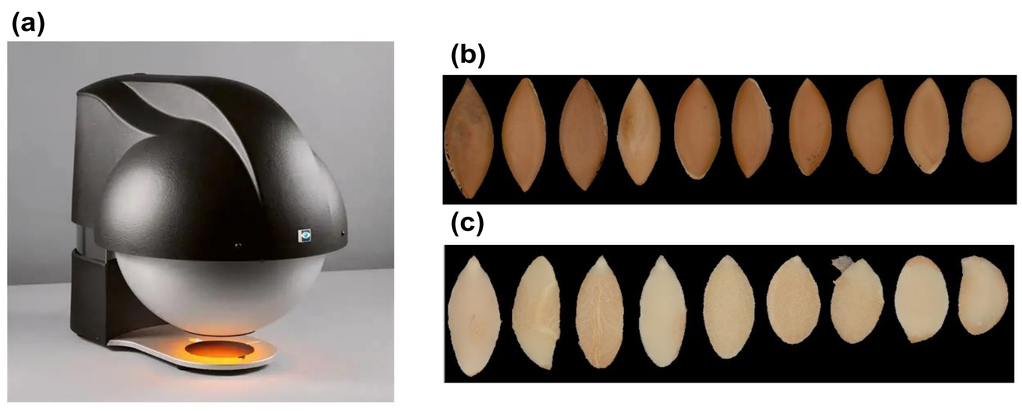


Fig. 1. VideometerLab 4 system **(a)** and segmented blobs of argan pulp **(b)** and kernel **(c)** samples.

Morphological variability of pulp and kernel among argan varieties

Size-related traits

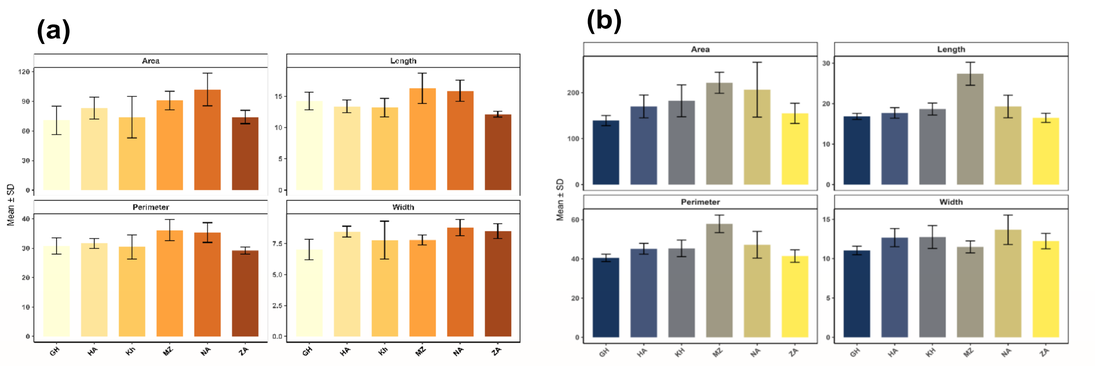


Fig. 2. Area (mm^2), length (mm), perimeter (mm) and width (mm) of argan pulp **(a)** and kernel **(b)**.

Shape descriptors

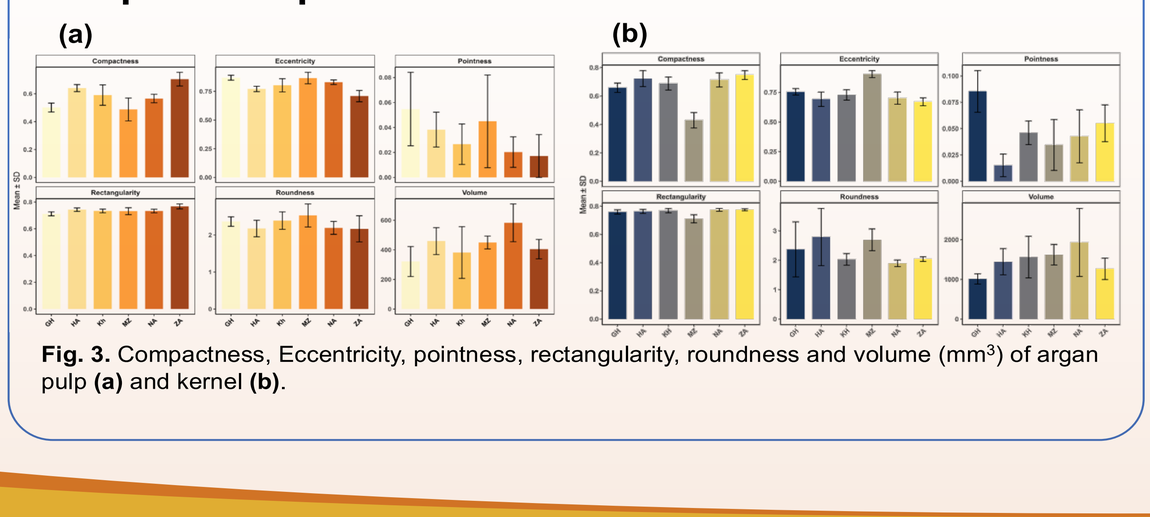


Fig. 3. Compactness, Eccentricity, pointness, rectangularity, roundness and volume (mm^3) of argan pulp **(a)** and kernel **(b)**.

Color variability of pulp and kernel among argania varieties

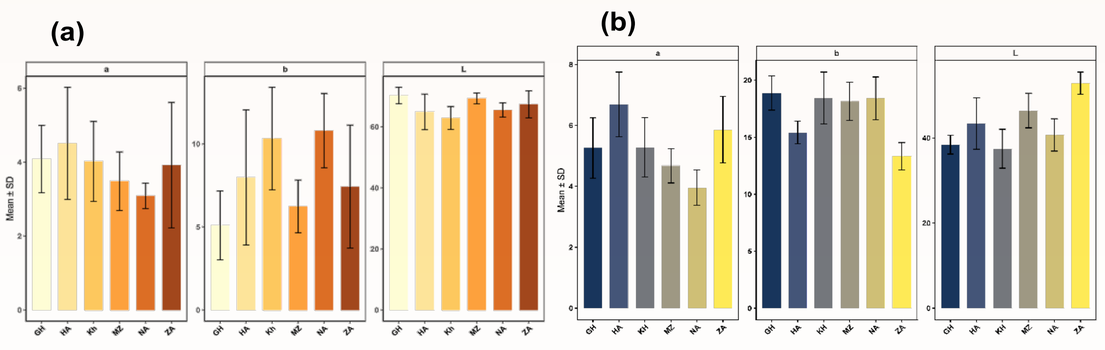


Fig. 4. Colorimetric parameters (a: redness; b: yellowness; L: lightness) of argan pulp **(a)** and kernel **(b)**.

Phytochemical variability of pulp and kernel among argania varieties

Moisture, oil, protein and ash contents

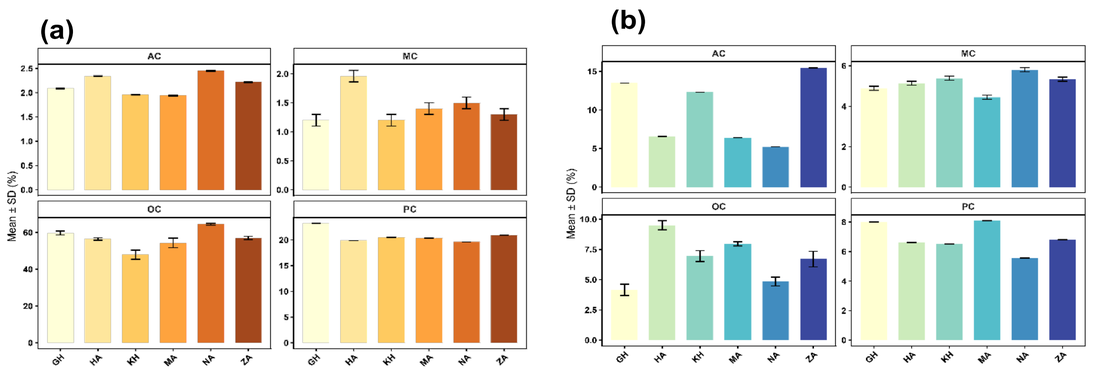


Fig. 5. Moisture, oil, protein and ash contents of argan pulp **(a)** and kernel **(b)**.

Fatty acid composition

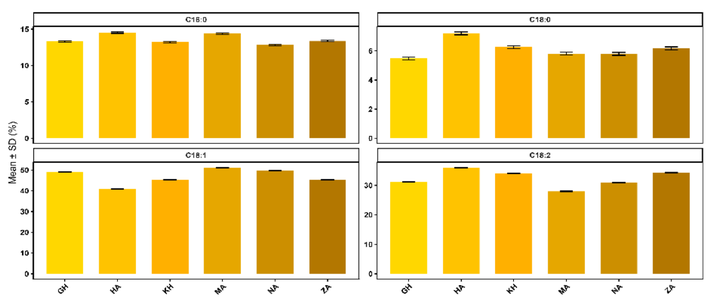


Fig. 6. Major fatty acid composition of argan kernel oil.

Grouping of argan varieties according to kernel morphological and chemical traits

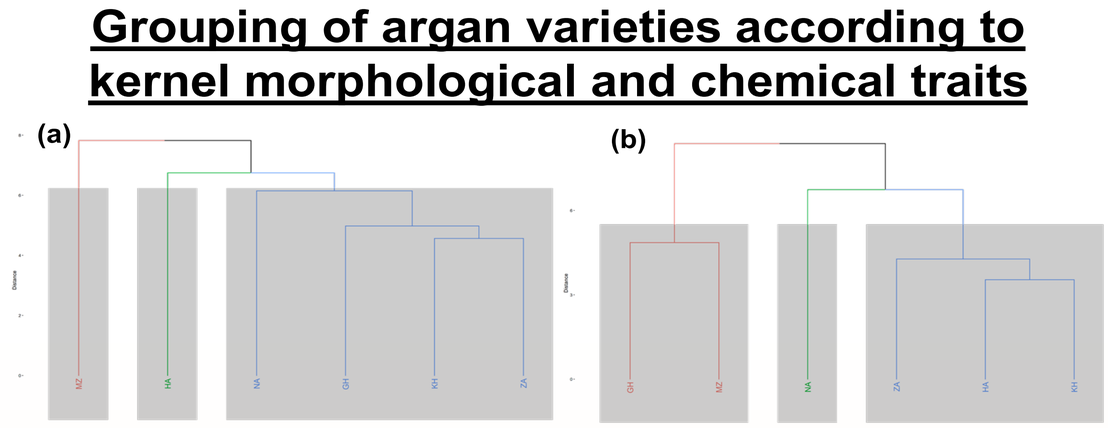


Fig. 7. Cluster analysis of argan pulp **(a)** and kernel **(b)** traits.

- NA was separated by its larger pulp size and higher moisture content, MZ showed an intermediate profile, while GH, HA, KH, and ZA clustered together, indicating variability mainly driven by size and moisture.
- MZ and HA were separated due to their distinct kernel size and fatty acid profiles, while NA, GH, KH, and ZA clustered together, highlighting genotype-related variation in kernel structure and oil composition.

المملكة المغربية ⵜⴰⴳⵍⴷⵉⵜ ⵏⵍⵎⵖⵔⵉⴱ 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 وشجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier
المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique
الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS
FIFARGANE
الفيدرالية البينمهنية لسلسلة الأركان
FEDERATION INTERPROFESSIONNELLE DE LA FILÈRE DE L'ARGANE

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المؤتمر الدولي
للأركان
ⵓⵣⵓⵍ ⵓⵎⵎⴰⵏ ⵍⴰⵓⵔⵣ

8ème édition
الصويرة
Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Genetic and epigenetic alterations associated with somatic embryogenesis in *Argania spinosa.*

Mouna Lamaoui[1,2*]; Abdelghani Chakhchar[3]

[1]Institute of Botany, Developmental Biology of Plants Group, Justus-Liebig-University, Gießen, Germany.
[2]Polyvalent Laboratory of Research and Development, Department of Biology, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Sliman University, Beni-Mellal, Morocco.
[3]Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Bio-ressources, Environnement et Matériaux, Ecole Normale Supérieure de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco.
* lamaouimouna@gmail.com

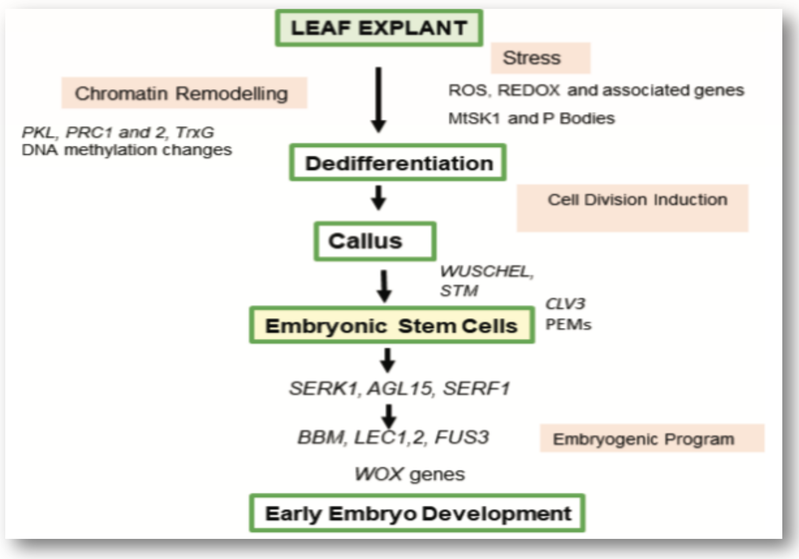
Introduction

Enhancing the distribution of Morocco's endemic species, *Argania spinosa* L., with high-quality true-to-type plants has become crucial. This effort supports either forest reforestation or the establishment of new orchards dedicated to high-quality oil production. Somatic embryogenesis represents a biotechnological approach for capturing the genetic advantages of elite genotypes for clonal propagation. Therefore, this study focuses on evaluating the potential for somatic embryogenesis in this multipurpose tree. Our primary objective is to optimize culture conditions using various plant growth regulators and adjuvants. Additionally, considering the species' inherent resistance to *in vitro* stimuli, we explored a pharmacological approach using 5-Azacytidine treatments on leaf explants of *A. spinosa* to induce DNA hypomethylation. This approach aimed to investigate its impact on key embryogenesis-related genes and epigenetic regulators involved in the somatic embryogenesis process, which were identified for the first time in the argan genome. Our results indicated that the treatment without 5-Azacytidine showed no signs of embryogenesis. In contrast, the application of 20 µM 5-Azacytidine for seven days had a positive effect on the expression levels of embryogenesis-related genes. Notably, this treatment upregulated the expression of *BABY BOOM* (*AsBBM*) and *WUSCHEL RELATED HOMEOBOX 4* (*AsWOX4*). DNA hypomethylation induced alterations in the expression of the genes associated with the epigenetic regulatory mechanisms, such as *PICKLE* (*AsPKL*), and the genes encoding components of the Polycomb Repressive Complex, specifically *Curly Leaf Swinger* (*AsCLF*) and *Like Heterochromatin Protein* (*AsLHP*). These results suggest that both DNA and histone methylation are crucial for inducing the morphogenic competence of leaf cells and achieving somatic embryogenesis in such recalcitrant material.

Background

Genetic Reprogramming to form Totipotent stem cell and embryo induction

Embryo development



Framework and timeline for the major key events of indirect SE induction in highly embryogeneic species.

Objectives

This study aimed to elucidate the key genetic and epigenetic mechanisms underlying the vegetative-to-embryogenic transition in recalcitrant tissues, such as those of *A. spinosa*. We started by identifying crucial genes involved in the somatic embryogenesis process within the *A. spinosa* genome. We then explored whether changes in DNA methylation status could affect the expression of these newly identified genes. To this end, we experimentally applied 5-Azacytidine (5-AzaC), a nucleotide analogue that inhibits DNA methylation, to *A. spinosa* leaf tissues. This treatment was used to induce DNA hypomethylation and subsequently assess its impact on expression of key somatic embryogenesis-related genes and epigenetic regulators.

Material and methods

- The plant material was procured from botanical gardens (Bonn and Giessen, Germany).
- A preliminary experiment was conducted from leaf explants to adjust factors influencing the SE induction on Murashige and Skoog (1962, MS) with adjustment of the growth regulators and reduced nitrogen source.
- We therefore studied:

1. The epigenetic reprograming via a pharmacological approach using Azacytidin (DNA methylation inhibitor) under two concentrations (10 mM and 20 mM), and without 5-AzaC (control). 5-AzaC is added every seven days (day 0, 7, 14, 21 and 35) of the SE culture (Fig 1.).
2. The effects of 5-Azacytidine on the expression of the key master regulators related SE such as the transcription factors *LEC1* and *BBM* through sequence analysis, primers design and RT-PCR Analysis (Fig 2.).

Results

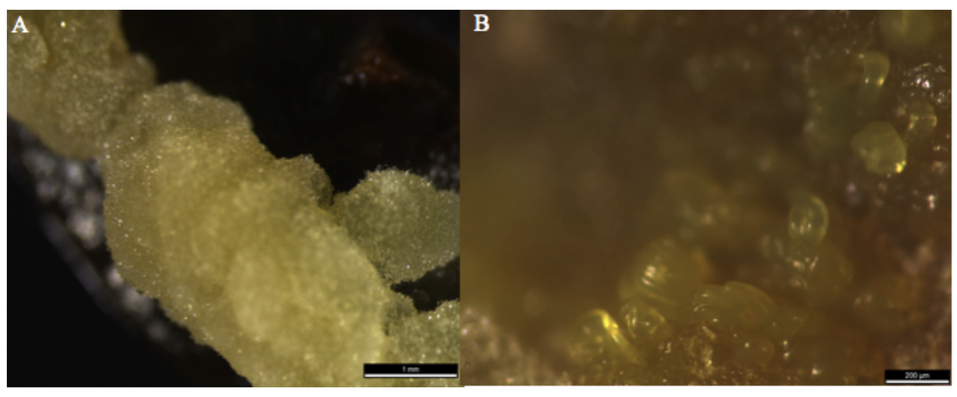


Fig. 1 The morphogenesis of *A. spinosa* somatic embryos, including the formation of cotyledon primordia (2 months old), was observed in leaf explants treated with 20 µM of 5-AzaC. In contrast to the 5-AzaC-free medium (A), this effect was observed only when the treatment was applied during the first 7 days of the somatic embryogenesis induction process (B).

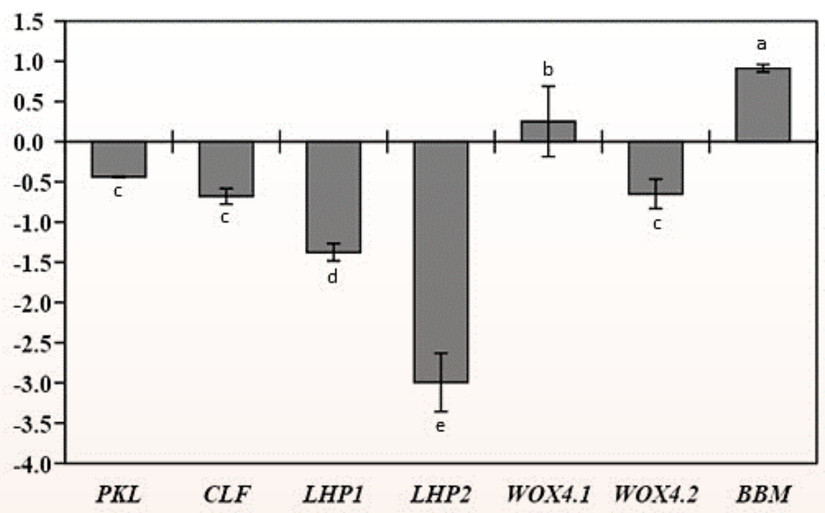


Fig. 2 Relative log2 fold changes in the expression levels of *AsPKL*, *AsCLF*, *AsLHP1*, *AsLHP2*, *AsWOX 4.1*, *AsWOX 4.2* and *AsBBM* genes under treatment with 20 µM 5-AzaC. Statistical significance was determined using Tukey's test ($P < 0.05$); different letters denote significant differences, while identical letters indicate no significant difference.

Conclusion

Through the elucidation of the mechanisms underlying SE, new strategies could be developed to enhance genome plasticity and totipotency in challenging genotypes and species. In this study we highlights the crucial role of epigenetic regulation in achieving SE in recalcitrant species. Our findings suggest that DNA and histone methylation status are key players influencing the species' sensitivity to external stimuli, including hormonal and stress signals, thereby offering potential solutions to overcome these limitations. The lack of key TFs, such as LEC group, in the argan genome highlights the need for genetic transformation to introduce the crucial genes involved in embryo development. Further research, including transcriptomics and gene expression analyses, is essential to uncover additional functional genes necessary to induce totipotent competence and generate somatic embryos. This knowledge is crucial for developing new strategies for the mass propagation of woody and agronomically important species that face regeneration challenges.



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⴰⵙⵙⵓⵎⴰⵍ ⴰⴳⵔⴰⵖⵍⴰⵏ ⵏ ⵓⵔⴳⴰⵏ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition

2026 ماي 10<08

08>10 mai 2026

وزارة الصحة والحماية الاجتماعية — Ministère de la Santé et de la Protection Sociale

ISPITS

Impact de la mycorhization et des procédés de prégermination sur la croissance de l'arganier (*Argania spinosa*)

Soukaina Maazouzi[1–2]*, Ouajdi Mohamed[3], Zineb Sellal[2], Karima Selmaoui[2], Amina Ouazzani Touhami[2], Allal Douira[2]

[1] ISPITS, Kénitra, Maroc • [2] Laboratoire Productions Végétales, Université Ibn Tofail, Kénitra 14000, Maroc • [3] CIRF-ANEF, BP 763, Rabat, Maroc

Correspondance *: maazouzisoukaina0@gmail.com

www.congresarganier.com

جامعة ابن طفيل Ibn Tofaïl University

Résumé

Notre étude a porté sur l'impact de la mycorhization et des méthodes de prégermination sur la croissance des plants d'arganier (*Argania spinosa*) en pépinière. Les graines, collectées, ont été soumises à quatre traitements de prégermination (eau chaude, eau froide, acide chlorhydrique et acide sulfurique). La croissance des plants mycorhizés par un inoculum et non mycorhizés a été évaluée après des mois à l'aide de paramètres morphologiques et physiologiques.

Les résultats montrent que la mycorhization améliore significativement la croissance des plants, avec une hauteur moyenne d'environ 28 cm contre 14 cm pour les plants non mycorhizés. Le développement racinaire est également plus important chez les plants mycorhizés. Concernant la prégermination, le trempage des graines dans l'eau chaude à 60 °C s'est révélé le plus efficace comparativement aux autres traitements testés.

Mots-clés : Arganier • Mycorhize • Prégermination • Eau chaude • Acides • Maroc

1. Introduction

L'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) constitue une espèce forestière endémique du Maroc, d'une grande importance écologique et socioéconomique du fait de son rôle dans la lutte contre la désertification et le maintien des écosystèmes arides (1,2).

L'arganier est à la fois clé écologique, ressource économique majeure et patrimoine médicinal et culturel du Maroc (3,4). Les travaux récents cherchent à valoriser l'huile et les sous-produits, restaurer l'arganeraie, améliorer la propagation et la qualité génétique, tout en soutenant les communautés Rurales (5).

Face aux perturbations croissantes telles que le changement climatique, le surpâturage et la dégradation des habitats naturels, sa régénération naturelle reste insuffisante, ce qui requiert le développement de pratiques culturales améliorées et de stratégies de restauration durable par la plantation des plants produits en pépinière (6).

L'optimisation des techniques de prégermination et l'utilisation d'interactions biologiques bénéfiques, telles que la mycorhization, sont identifiées comme des approches prometteuses pour améliorer la croissance des jeunes plants et augmenter l'efficacité de leur production en pépinière (7) .

Des recherches récentes (7) mettent en évidence que l'inoculation des graines d'arganier avec des champignons mycorhiziens arbusculaires améliore de manière significative plusieurs paramètres de croissance des jeunes plants, notamment la hauteur, le diamètre du collet et le développement du système racinaire (8,9,10) .

Objectif

Améliorer la production de plants d'arganier de qualité en pépinière via la mycorhization, pour soutenir la régénération des écosystèmes naturels.

2. Matériel et Méthodes

Cette étude a été réalisée dans la pépinière de l'Institut royal des techniciens spécialisés des Eaux et Forêts à Salé, située dans une région subhumide à hiver chaud, caractérisée par un climat modéré et des précipitations annuelles suffisantes pour la culture en pépinière.
Les graines d'arganier (*Argania spinosa*) ont été collectées dans la région d'Essaouira.

Eau froide	Eau chaude ★ Plus efficace
Ac. chlorhydrique	Ac. sulfurique

Une partie des plants a été inoculée avec des champignons mycorhiziens arbusculaires pour évaluer leur effet sur la croissance et la colonisation racinaire.
Les plants ont été disposés de manière organisée dans la pépinière, et leur développement a été suivi régulièrement en mesurant des paramètres morphologiques et physiologiques tels que :

- Hauteur
- Diamètre du collet
- Développement racinaire

La colonisation mycorhizienne a été évaluée sur des racines fines. Les données recueillies ont été traitées statistiquement par analyse de variance (ANOVA) à un facteur à l'aide du logiciel SPSS 21.0.

3. Résultats

L'observation comparative des plantes mycorhizées et non mycorhizées met en évidence un avantage significatif en faveur des plantes bénéficiant de la mycorhization, tant sur le plan de la croissance aérienne que du développement racinaire.

Paramètre	Mycorhizés	Non mycorhizés
Hauteur aérienne	25–28 cm	13–15 cm
Diamètre collet	~4 mm	~3 mm
Hauteur racinaire	15–19 cm	< 10 cm
Système racinaire	Fortement ramifié	Peu développé
Vigueur générale	✔ Supérieure	✘ Faible

La partie aérienne des plantes mycorhizées se distingue par une vigueur accrue. Cette croissance améliorée s'accompagne d'un système racinaire nettement plus développé, comportant de nombreuses racines pivotantes fonctionnelles qui optimisent l'absorption de l'eau et des éléments minéraux essentiels, tout en renforçant la stabilité et l'ancrage dans le substrat.

L'analyse de la coloration des racines a permis de confirmer la nature symbiotique de l'association observée, révélant la présence d'arbuscules intracellulaires, accompagnées de vésicules et, dans certains cas, d'hyphes externes non cloisonnés. Ces structures sont caractéristiques des endomycorhizes à arbuscules (Figure 1). .

Parmi les différentes méthodes de prégermination testées, le trempage des graines dans de l'eau chaude à environ 60°C s'est révélé le plus efficace pour améliorer la germination, surpassant les traitements à l'eau froide ou l'absence de traitement.

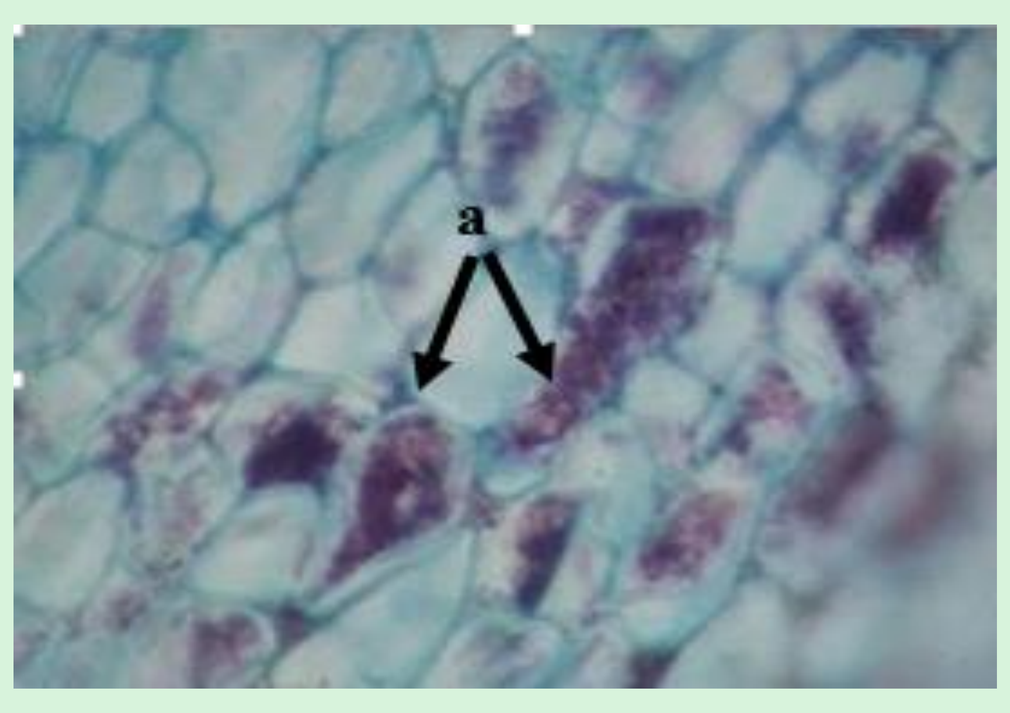


Figure 1 : Structures des champignons endomycorhiziens observées chez les racines des Arganiers étudiées : arbuscules (a), (G. ×400).

Ce résultats démontrent que la mycorhization exerce un effet positif et multifactoriel sur la croissance et le développement des jeunes plantes d'arganier, en agissant simultanément sur la partie aérienne, le système racinaire et les interactions symbiotiques.

4. Discussion

La pré-germination des graines d'arganier (*Argania spinosa*) peut être améliorée par des traitements tels que le trempage dans du peroxyde d'hydrogène, ce qui augmente significativement le taux de germination, surtout lorsqu'il est combiné à des substrats stériles et à des traitements fongicides (11) .
Concernant la croissance en pépinière, l'inoculation des jeunes plants avec des champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), qu'ils soient indigènes ou issus de consortiums adaptés, stimule fortement la croissance, la biomasse aérienne et racinaire, ainsi que la nutrition minérale des plants d'arganier (3). Les recherches (8) montrent que la mycorhization des arganiers améliore nettement leur croissance et leur développement, tant en pépinière qu'en conditions de stress hydrique (12). Les plants mycorhizés présentent une croissance plus vigoureuse, avec une augmentation de la hauteur, du diamètre au collet, et une meilleure teneur en eau racinaire, ainsi qu'un système racinaire plus développé par rapport aux plants non mycorhizés (14). L'utilisation de champignons mycorhiziens indigènes, adaptés aux conditions locales, s'avère particulièrement efficace pour la reforestation et la restauration des écosystèmes dégradés. Ces résultats confirment que la mycorhization est une stratégie écologique prometteuse pour améliorer la production et la résilience de l'arganier dans les zones arides et semi-arides(15). Enfin, la combinaison de la mycorhization avec d'autres techniques, comme la rétention d'eau dans le sol, amplifie encore les bénéfices sur la croissance et la résistance des jeunes arganiers (8). Les arganiers non mycorhizés présentent généralement une croissance plus faible, avec des réductions notables de la biomasse fraîche et sèche, de la hauteur et du diamètre, par rapport aux plants mycorhizés, surtout en conditions de stress hydrique (16).
Bien que la teneur en eau de la partie aérienne puisse ne pas différer significativement entre les deux groupes dans certaines conditions, les plants mycorhizés maintiennent en général un meilleur potentiel hydrique foliaire et une meilleure conductance stomatique (13), ce qui favorise leur tolérance à la sécheresse.
En résumé, l'inoculation mycorhizienne constitue une stratégie efficace pour améliorer la croissance et la tolérance à la sécheresse de l'arganier, même si la teneur en eau de la partie aérienne peut parfois rester similaire entre les deux types de plants.

5. Conclusion

L'étude démontre que la mycorhization et la prégermination des graines influencent de manière significative le développement des plantes d'arganier (*Argania spinosa*) en pépinière.

• Les plantes mycorhizées ont montré une croissance aérienne et racinaire nettement supérieure : 28 contre 14 cm, avec un système racinaire plus développé.

• Le trempage des graines à 60 °C a stimulé la germination plus efficacement que l'eau froide ou les traitements acides, confirmant l'efficacité de la scarification thermique.

• La combinaison de la mycorhization et de la scarification thermique s'est révélée particulièrement bénéfique : la scarification thermique facilite la levée de dormance et accélère la germination, tandis que la mycorhization améliore l'absorption de l'eau et des nutriments, renforce la biomasse foliaire et racinaire, et favorise la tolérance au stress hydrique.

• En combinant ces deux traitements, les plantes ont développé une vigueur accrue, une croissance équilibrée et un développement global amélioré.

Une telle stratégie représente un atout majeur pour augmenter le succès des programmes de reboisement et de restauration des arganeraies.

Références bibliographiques

1. El Aich A. et al. Gestion et restauration des pâturages et parcours du bassin méditerranéen. 2021.
2. Nouaim R. et al. L'arganier au Maroc : propagation par semis, bouturage et techniques in vitro. Syst. Agroforestiers. 2002;54:71–81.
3. Soufiani M. et al. Indigenous arbuscular mycorrhizae mitigate drought stress in argan trees. S. Afr. J. Bot. 2023;159:439–46.
4. Tesse R. et al. Micrografting and Regeneration Techniques for the Argan Tree. Nat. Built Soc. Environ. Heal. 2025;1(3):100–24.
5. Timzioura R. et al. Bibliometric analysis of argan research. Forests. 2025;16:892.
6. Mrabet S. et al. Effectiveness of AMF Inoculation for Reforestation with Argania spinosa in Morocco. Open J. For. 2014;4(1):14–23.
7. Khrizi A. et al. Growth promotion and mycorrhizal colonization of Argan with Tirmania nivea. PeerJ. 2022;10:13769.
8. Mohamed ER. et al. Effect of seed treatment with AMF on growth of argan plants. Egypt. J. Bot. 2025;65(2):29–37.
9. Maazouzi S. et al. Statut mycorhizien d'Argania spinosa dans le nord-est du Maroc. Not. Sci. Biol. 2023;15:11405.
10. Koske R., Gemma J. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. 1989.
11. Phillips JM., Hayman DS. Improved procedures for clearing and staining mycorrhizal fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 1970;55:158.
12.Khrizi A, Zitouni-Haouar FEH, Fortas Z. Growth promotion and mycorrhizal colonization of Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) inoculated with the edible desert truffle *Tirmania nivea* (Desf.) Trappe. 2022; 10.
13. Khrizi K. et al. Un consortium indigène de mycorhizes pour atténuer le stress hydrique chez les arganiers. J. Sud-Afr. Bot. 2023;154:123–132.
14. Sellal Z., Maazouzi S. et al. Mycoflore associée au feuillage et aux fruits de l'arganier. 2019.
15. Maazouzi S. et al. Mycorrhizal Status and Colonization Potential Around Argan Trees in Northwest Morocco. Tree Plant Notes. 2021;64(1):62–71.
16. Fassih B. et al. Combined Effect of Water Retention Technology and AMF on Argan Seedlings. Plants. 2024;13(15).

Mycorhization + Scarification thermique = Stratégie optimale pour la production de plants d'arganier en pépinière

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 — ANDZOA Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier — Institut National de la Recherche Agronomique — ANEF Agence Nationale des Eaux et Forets — FIFARGANE Federation Interprofessionnelle de la Filère de l'Argane

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المـؤتـمـر الـدولـي للأركـان

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition
2026 ماي 10<08
08>10 mai 2026

CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER — المـؤتـمـر الـدولـي للأركـان

Effet de l'Architecture des Systèmes de Conduite en Pépinière sur la Croissance et la Qualité Morpho-physiologique des Plants d'Arganier (*Argania spinosa* L. Skeels)

Achraf Mabrouk [1-2], Mohamed Ouajdi [2], Ayoub Souileh [2], Anas Legdou [3], Badr Satrani [2], Najib Magri [2], Hayat Oubrahim [2], Younes El Goumi [4], Younes Abbas [5]

1 École Nationale Forestière d'Ingénieurs (ENFI), BP 511, Tabriquet–Salé, 11000, Maroc.
2 Centre d'Innovation, de Recherche et de Formation, Agence Nationale des Eaux et Forêts (CIRF–ANEF), BP 763, 10080, Rabat, Maroc.
3 Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Avancés, École Nationale des Sciences Appliquées de Kénitra (ENSA Kénitra), Université Ibn Tofaïl, BP 242, Kénitra, Maroc.
4 Laboratoire de biologie appliquée à la santé, à l'environnement et au développement durable, École Supérieure de Technologie de Fkih Ben Salah, Université Sultan Moulay Slimane, BP 1222, 23200, Beni Mellal, Maroc.
5 Laboratoire de biologie appliquée à la santé, à l'environnement et au développement durable, Faculté Polydisciplinaire, Université Sultan Moulay Slimane, BP 591, 23000, Beni Mellal, Maroc.

Résumé

La production de plants d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) demeure limitée par la faible germination des semences et la qualité variable des plants en pépinière, en lien avec la dormance, la viabilité des semences et les conditions de culture. Cette étude vise à évaluer le pouvoir germinatif de douze génotypes d'arganier et à analyser l'effet de trois types de conteneurs (pots en plastique, sachets de polyéthylène et portoirs alvéolés) sur la qualité morpho-physiologique des plants. Les résultats mettent en évidence une forte variabilité du taux de germination (57,8 % à 96,1 %) selon les génotypes, traduisant l'importance de la viabilité des semences. Le type de conteneur influence significativement le développement du système racinaire, avec une amélioration notable du nombre de racines secondaires (85 à 110 %) et de la biomasse racinaire (20 à 45 %) dans les portoirs alvéolés. Ces derniers favorisent la formation d'un système racinaire équilibré et sans déformations, contrairement aux autres conteneurs. Ainsi, le choix du conteneur apparaît comme un facteur déterminant pour améliorer la qualité des plants et optimiser la réussite des programmes de reboisement de l'arganier.

Introduction

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une espèce endémique des zones arides du Maroc, jouant un rôle écologique, économique et social majeur. Cependant, sa régénération artificielle demeure limitée par la faible germination des semences et la qualité hétérogène des plants produits en pépinière. Ces contraintes sont principalement liées à la dormance, à la variabilité de la viabilité des semences ainsi qu'au type de conteneur utilisé lors de l'élevage des plantules. Dans ce contexte, l'amélioration des techniques de production de plants constitue un levier essentiel pour renforcer l'efficacité des programmes de reboisement et de conservation de l'arganeraie. Ainsi, cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet du génotype et du type de conteneur sur la germination et la qualité morpho-physiologique des plants d'arganier.

Matériel et méthodes

1. **Matériel végétal**
   - Les fruits d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) ont été collectés à partir de 12 génotypes correspondant à des arbres-mères distincts, sélectionnés dans différentes zones de l'aire de répartition naturelle de l'espèce.
2. **Prétraitements de germination**
   - Les noyaux ont été soumis à un protocole de levée de dormance comprenant **une scarification mécanique**, un **traitement fongicide** au thirame, une **stratification à froid**, une exposition à la lumière ainsi qu'une application d'acide gibbérellique (GA_3).
3. **Essai de germination**
   - Le semis a été réalisé sur un substrat sableux avec maintien d'une humidité constante par arrosage régulier. L'essai a été conduit selon un dispositif en blocs aléatoires complets comportant trois répétitions, avec 36 noyaux par génotype et par bloc. Les paramètres mesurés sont **le pourcentage de germination (PSG)**, **le temps de latence (TL)** et **l'intervalle de germination (IG)**.
4. **Élevage des plantules**
   - Les noyaux germés ont été repiqués dès l'émission de la radicule dans **trois types de conteneurs** : pots en plastique 500cc, sachets de polyéthylène et portoirs alvéolés 500cc. Les plantules ont été élevées pendant **7 mois** dans un substrat homogène (tourbe : sable : terreau, 1:1:1).
5. **Évaluation de la qualité des plants**
   - La qualité des plantules a été évaluée par des **indicateurs morphométriques** de la tige et du système racinaire : hauteur de la tige, longueur de la racine, nombre de racines secondaires, biomasse fraîche et sèche.
6. **Analyse statistique**
   - Les données ont été analysées par une **ANOVA à deux facteurs croisés (génotype × conteneur)**, avec comparaison des moyennes au seuil de **5 %**.

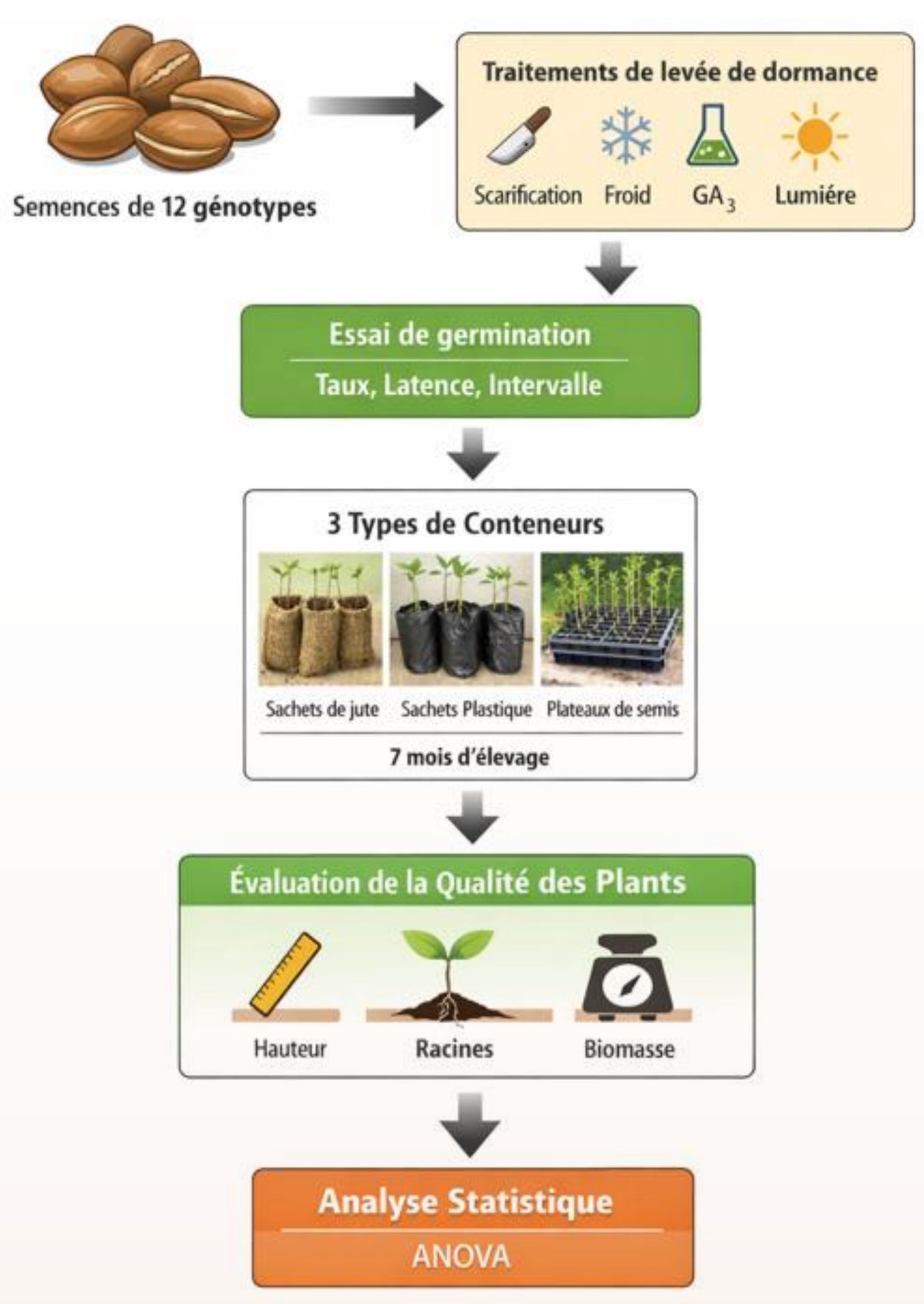
1. Taux de germination
PSG (%) = (NSG / NTS) × 100
NSG : nombre de semences germées.
NTS : nombre total de semences semées.

2. Temps de latence
TL = min(t_i)
Jour de la première germination après semis

3. Intervalle de germination
IG = jour de la dernière germination – jour de la première germination

4. Biomasse totale
BTS = PST + PSR
PST : poids sec de la tige.
PSR : poids sec des racines.

5. Rapport racines/tige
R/T = PSR / PST
PSR : poids sec des racines.
PST : poids sec de la tige.



Résultats

❑ **Résultats de l'essai de germination**

L'essai de germination met en évidence **une forte variabilité génotypique** du pouvoir germinatif des semences d'arganier. **Le pourcentage de germination (PSG) varie de 57,8 % à 96,1 %,** traduisant une hétérogénéité importante de la viabilité des semences selon les génotypes.

Le temps de latence (TL) est court (3 à 4 jours) et **l'intervalle de germination (IG)** limité (4 à 6 jours), indiquant une germination rapide et groupée après levée de dormance. Ces résultats confirment l'efficacité du protocole de prétraitement appliqué.

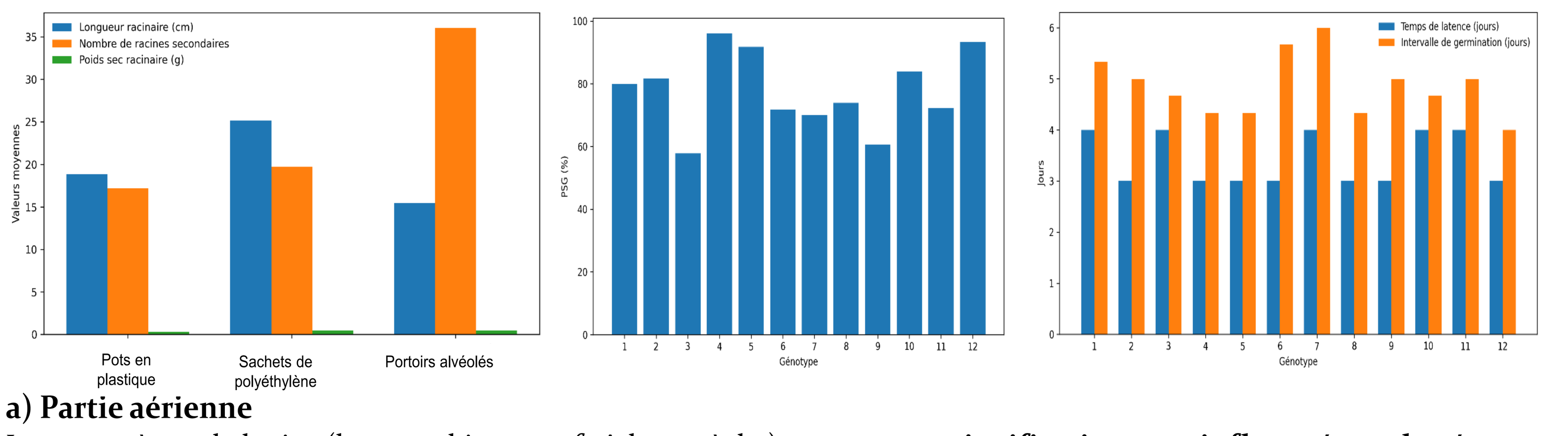
❑ **Analyse statistique**

- L'analyse de variance (ANOVA) montre :
- un **effet hautement significatif du génotype ($p < 0{,}01$)** sur le nombre de semences germées, contaminées et intactes,
- un effet significatif du génotype sur le temps de latence et l'intervalle de germination,
- L'absence d'effet significatif du bloc, traduisant une bonne homogénéité des conditions expérimentales.

❑ **Résultats sur la qualité des plantules**

Tableau 1. Variabilité génotypique du pouvoir germinatif chez 12 génotypes d'arganier.

Génotype	PSG (%)	PSC (%)	PSI (%)	TL (jours)	IG (jours)
4	96,1	3,9	0,0	3	4,33
12	93,3	6,7	0,0	3	4,00
5	91,7	7,8	0,6	3	4,33
10	83,9	13,9	2,2	4	4,67
2	81,7	17,2	1,1	3	5,00
1	80,0	18,9	1,1	4	5,33
8	73,9	25,0	1,1	3	4,33
11	72,2	20,6	7,2	4	5,00
6	71,7	23,9	4,4	3	5,67
7	70,0	22,2	7,8	4	6,00
9	60,6	28,9	10,6	3	5,00
3	57,8	34,5	7,8	4	4,67



a) Partie aérienne

Les paramètres de la tige (hauteur, biomasse fraîche et sèche) **ne sont pas significativement influencés** par **le génotype** ou **le type de conteneur pris séparément**. En revanche, **leur interaction (génotype × conteneur) est significative**, indiquant que la croissance aérienne dépend de la combinaison entre le matériel végétal et le type de conteneur.

Les hauteurs moyennes restent comparables entre les conteneurs, **traduisant une bonne homogénéité des plantules**.

b) Système racinaire (résultat clé)

Le type de conteneur influence hautement significativement ($p < 0{,}01$) **l'ensemble des paramètres du système racinaire** :

Pots en plastique
→ Racines perforant les parois, nécessitant une coupe au repiquage, avec une biomasse racinaire réduite.

Sachets de polyéthylène
→ Absence de mutilation mais formation de **chignon racinaire**, entraînant des déformations préjudiciables à la stabilité des plants.

Portoirs alvéolés
→ Racines **non déformées**, **autocernage efficace**, **nombre élevé de racines** secondaires et **biomasse racinaire** plus importante.

✓ Ces résultats montrent que **les portoirs alvéolés** favorisent le développement d'un **système racinaire fonctionnel**, **équilibré** et adapté aux conditions de transplantation, constituant ainsi un critère déterminant **de la qualité des plants forestiers**.

Conclusion

Cette étude met en évidence **une forte variabilité génotypique du pouvoir germinatif des semences d'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels)**, confirmant le rôle déterminant **de la viabilité dans la réussite de la régénération artificielle**. Le **type de conteneur apparaît comme un facteur clé de la qualité des plants**, notamment du système racinaire. **Les pots en plastique** et **les sachets de polyéthylène** induisent **des déformations racinaires** susceptibles d'affecter la reprise des plants, tandis que **les portoirs alvéolés** favorisent **un développement racinaire optima**l, caractérisé par une **augmentation du nombre de racines secondaires (85 à 110 %)** et de **la biomasse racinaire (20 à 45 %)**.Ainsi, le choix du conteneur constitue un levier déterminant pour améliorer la qualité des plants d'arganier et optimiser la réussite des programmes de reboisement et de conservation de l'arganeraie.

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المؤتمر الدولي
للأركان
ⵓⵣⵔⵓ ⵓⵎⵓⴹⵍ ⵍⵓⵔⵣⵔⵉ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

8ème édition
الصويرة Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

Production of argan plants (Argania spinosa L. Skeels) in nursery: influence of peat-based substrates on germination and morphological quality

Oumaima Ninich [1],* , Mohamed Ouajdi [1] , Ismail Ettaleb [1] , Hayat Oubrahim [1] , Najib Magri [1] , Badr Satrani [1] , Nouhaila Bouzidi and , Ayoub Souileh [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

*** Correspondance** : oumaima_ninich@um5.ac.ma

ABSTRACT

This study assessed the effect of five peat-based substrates, alone or mixed with sand or gravel, on substrate chemical properties, germination, and early growth of argan seedlings under nursery conditions at the CIRF. Seeds from the Boushab forest were pretreated by thermal shock (60 °C, 15 min) followed by soaking for 24 h. Substrates differed markedly in pH and cation exchange capacity (CEC): peat-sand mixtures showed acidic pH (5.6-5.8) and high CEC, whereas peat-gravel mixtures had higher pH and Ca^{2+}/Mg^{2+} contents. Germination remained moderate (42-53%) and was mainly influenced b substrate type. Seedling height and collar diameter increased steadily across all treatments, with slightly better performance on peat-rich substrates, particularly peat-sand (80/20). These results suggest that peat-sand substrates provide a balanced option for argan nursery production.

Keywords : *Argania spinosa*; nursery substrates; peat; germination; seedling quality; CEC.

INTRODUCTION

The argan woodland is a key ecosystem of central-western Morocco and a UNESCO Biosphere Reserve. Climate change and ecosystem degradation increase the need for efficient argan seedling production. Nursery substrate composition is a critical factor influencing seedling quality and plantation success. This study evaluates the effect of peat-based substrates on germination and early growth of *Argania spinosa* seedlings.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the CIRF experimental nursery under shade netting and automatic irrigation. Argan seeds from the Boushab forest were pretreated by thermal shock (60 °C, 15 min) followed by soaking for 24 h. Five peat-based substrates were tested (peat alone or mixed with sand or gravel). Germination was monitored daily, and seedling height and collar diameter were measured over six months. Substrate chemical properties (pH, EC, OM, N, CEC, exchangeable cations) were analyzed.

RESULTS

Substrate composition strongly affected chemical properties. Peat-sand substrates showed acidic pH (5.6-5.8) and high CEC, whereas peat-gravel substrates had higher pH and Ca^{2+}/Mg^{2+} contents (Table 1). Germination rates were moderate (42-53%) and varied slightly among substrates. Seedling height and collar diameter increased over time in all treatments, with slightly higher values observed in peat-rich substrates.

Parameter	S1 (peat)	S2 (80/20 sand)	S3 (60/40 sand)	S4 (80/20 gravel)	S5 (60/40 gravel)
OM (%)	90.55	18.99	27.75	16.18	23.62
C (%)	52.08	10.86	16.05	9.43	13.26
N (%)	0.22	0.02	0.06	0.07	0.07
pH	5.69	5.6	5.77	6.54	6.48
EC (mS/m)	1.49	1.14	1.01	1.03	1.26
CEC (meq/100 g)	110.65	136.54	118.3	75.26	72.05
K_2O (ppm)	71.42	38.89	42.42	38.75	42.12
K^+ (meq/100 g)	0.15	0.08	0.09	0.08	0.09
Ca^{2+} (meq/100 g)	7.04	3.06	3.07	8.2	9.96
Mg^{2+} (meq/100 g)	8.13	2.53	3.1	9.24	9.95

TABLE 1. MAIN CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SUBSTRATES.

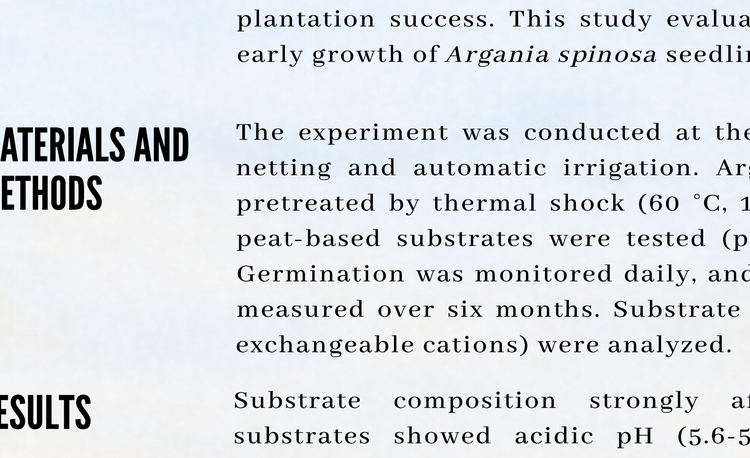


FIGURE 1. MONITORING OF GERMINATION KINETICS.

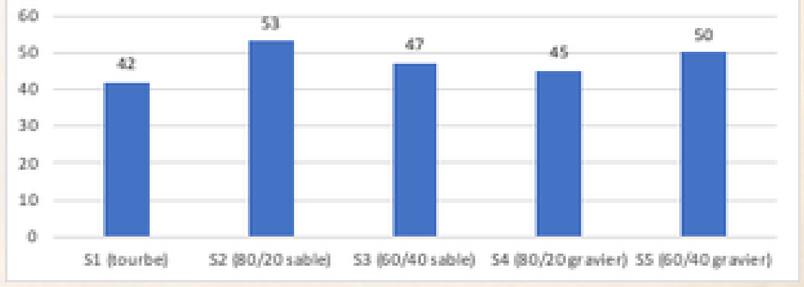


FIGURE 2. TOTAL NUMBER OF ARGANIA SPINOSA SPROUTED SEEDS FOR EACH SUBSTRATE TYPE DURING THE MONITORING PERIOD.

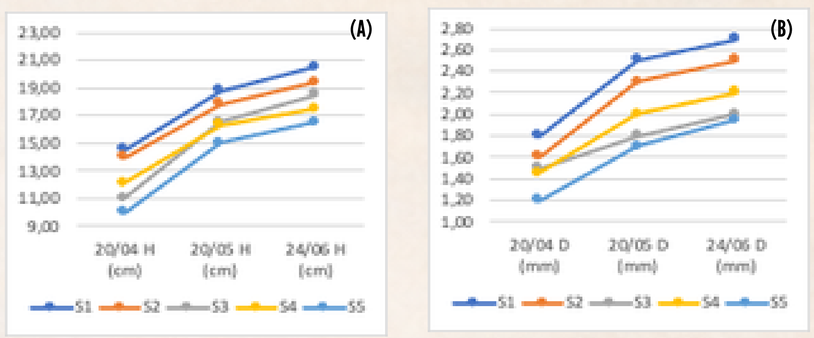


FIGURE 3. EVOLUTION OF THE GROWTH OF ARGANIA SPINOSA PLANTS ACCORDING TO THE TYPE OF SUBSTRATE: (A) AVERAGE HEIGHT (CM); (B) AVERAGE DIAMETER AT THE COLLAR (MM).

DISCUSSION

Chemical analyses showed that substrate composition significantly affected pH, CEC, and exchangeable bases. Peat–sand substrates (S2–S3) exhibited a moderately acidic pH (≈5.6-5.8) and higher CEC, favoring nutrient availability and buffering capacity. Germination rates (42-53%) varied among substrates, indicating a measurable effect of substrate composition on seed emergence. Peat-rich substrates enhanced seedling height and diameter, likely due to improved water and nutrient retention, moderately acidic pH, and high CEC. These conditions favor nutrient availability and sustained uptake in *Argania spinosa*. Substrate optimization therefore improves seedling growth. Overall, the peat–sand (80/20) substrate appears to be the most balanced and reliable option for nursery production.

CONCLUSIONS

Peat-sand (80/20) substrates represent a balanced and suitable option for argan nursery production. Improving seed pretreatment and seed lot quality remains essential to enhance germination and overall seedling production. Longer-term evaluations are recommended before field transplantation.

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵏⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

8ème édition الصويرة Essaouira

08>10 ماي 2026

08>10 mai 2026

Effet de différentes méthodes de germination sur la vigueur et la qualité des plants d'arganier.

Mohamed Ouajdi [1]*, Ayoub Souileh [1], Anas Legdou[2], Najib Magri [1] ,Hayat Oubrahim [1], Ismail Ettaleb [1], Safae Abid [1] ,Nouhaila Bouzidi [4] and Achraf Mabrouk[3]

1 Center for Innovation, Research and Training, Water and Forests National Agency, (CIRF, ANEF), BP 763, 10080, Rabat, Morocco
2 Advanced Systems Engineering Laboratory, ENSA Kenitra, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco
3 National School of Forest Engineers (ENFI), Salé, Morocco
4 Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

*ouajdim@gmail.com

Résumé

L'arganier (*Argania spinosa*), espèce endémique du sud-ouest marocain, joue un rôle écologique et socio-économique majeur, notamment dans la lutte contre la désertification et le développement local. Toutefois, sa régénération artificielle reste limitée par la dormance des graines et les faibles taux de germination en pépinière. Plusieurs méthodes de prétraitement ont été proposées pour améliorer la germination, mais leur efficacité sur la vigueur et la qualité des plants demeure variable. Cette étude évalue l'effet de six méthodes de prétraitement des graines d'arganier afin d'identifier des protocoles simples, efficaces et adaptés aux conditions de pépinière pour les programmes de reboisement et de conservation.

Introduction

L'arganier (Argania spinosa), espèce endémique du Maroc, joue un rôle écologique et socio-économique majeur. Sa régénération artificielle demeure toutefois limitée par la dormance des graines et les faibles taux de germination en pépinière. Plusieurs méthodes de prétraitement ont été proposées pour lever cette dormance, mais leur efficacité sur la germination et la qualité des plants reste variable. Cette étude vise à comparer différentes méthodes de prétraitement des graines d'arganier afin d'identifier des protocoles simples, efficaces et adaptés aux programmes de reboisement et de conservation..

Materials and methods

Origine du matériel végétal

L'étude a été réalisée à partir de graines d'arganier (*Argania spinosa*) collectées dans la région d'Essaouira (sud-ouest du Maroc). Les fruits ont été dépulpés manuellement, puis les graines ont été lavées, séchées à l'air libre et triées. Seules les graines homogènes (poids compris entre 1,5 et 2,0 g) ont été retenues afin de réduire la variabilité expérimentale.

Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite selon un **dispositif complètement randomisé**, comprenant **six traitements de pré-germination**.

Chaque traitement a porté sur **105 graines**, réparties en **trois répétitions de 35 graines**, soit un total de **630 graines**.

Traitements de pré-germination

T1 : Témoin (sans traitement)
T2 : Trempage à l'eau à 30 °C pendant 96 h
T3 : Trempage à l'eau à 70 °C pendant 96 h
T4 : Scarification mécanique (extraction de l'amande)
T5 : Traitement à l'HCl 36 % pendant 30 min
T6 : Traitement à l'H_2SO_4 97 % pendant 30 min

Après les traitements chimiques, les graines ont été rincées abondamment puis trempées dans l'eau pendant 24 h.

Conditions de germination

Les graines ont été mises en culture en pépinière sous conditions homogènes de température, d'humidité et de luminosité. Le suivi de la germination a été réalisé quotidiennement pendant **45 jours**. Une graine a été considérée comme germée dès l'apparition de la radicule.

Paramètres mesurés et formules

❖ **Taux de germination (TG)**

$$TG(\%) = \frac{N_g}{N_t} \times 100$$

où N_g est le nombre de graines germées et N_t le nombre total de graines mises en culture.

❖ **Temps moyen de germination (TMG)**

$$TMG = \frac{\sum(n_i \times t_i)}{\sum n_i}$$

où n_i est le nombre de graines germées au temps t_i.

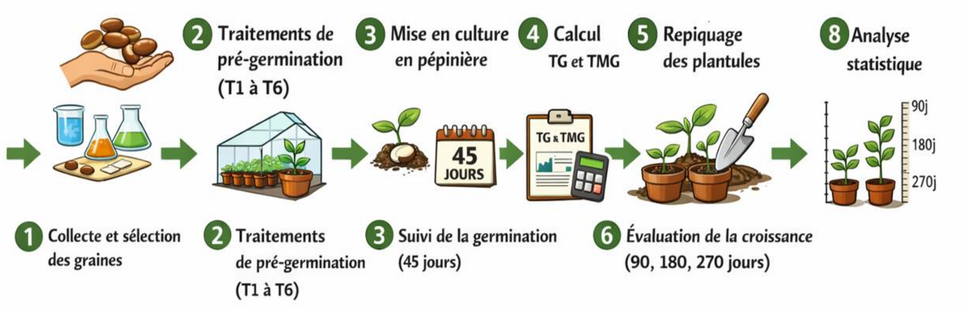
Évaluation de la qualité des plants

Les plantules ont été repiquées dans des conteneurs de 500 cm³ et élevées en pépinière. Les paramètres morphologiques suivants ont été mesurés à **90, 180 et 270 jours** :

- hauteur des plants (cm),
- diamètre au collet (mm),
- nombre de feuilles.

Analyse statistique

Les données ont été soumises à une **ANOVA à un facteur**. Les différences entre moyennes ont été comparées au seuil de **p < 0,05**.



Résultats

Effet des traitements sur le taux de germination

Les résultats montrent une **variation hautement significative du taux de germination** selon les méthodes de prétraitement (ANOVA, $p < 0{,}001$).

Les valeurs observées varient de **18 % à 81 %**.

Le **trempage à l'eau à 70 °C (T3)** présente le **taux de germination le plus élevé (81 %)**, suivi du **trempage à 30 °C (T2)** avec **78 %**.

Le **témoin (T1)** montre un faible taux de germination (**27 %**).

La **scarification mécanique (T4)** enregistre la performance la plus faible (**18 %**).

Les traitements chimiques (HCl et H_2SO_4) présentent des résultats intermédiaires.

Vigueur germinative (Temps Moyen de Germination)

Le **temps moyen de germination (TMG)** est également significativement influencé par les traitements ($p < 0{,}001$).

Le témoin présente une germination lente (**45 jours**).

Les traitements chimiques et la scarification réduisent le TMG mais avec des taux de germination limités.

Les traitements à l'eau (T2 et T3) combinent **un TMG réduit (29–32 jours)** avec **un taux de germination élevé**, traduisant une meilleure vigueur germinative.

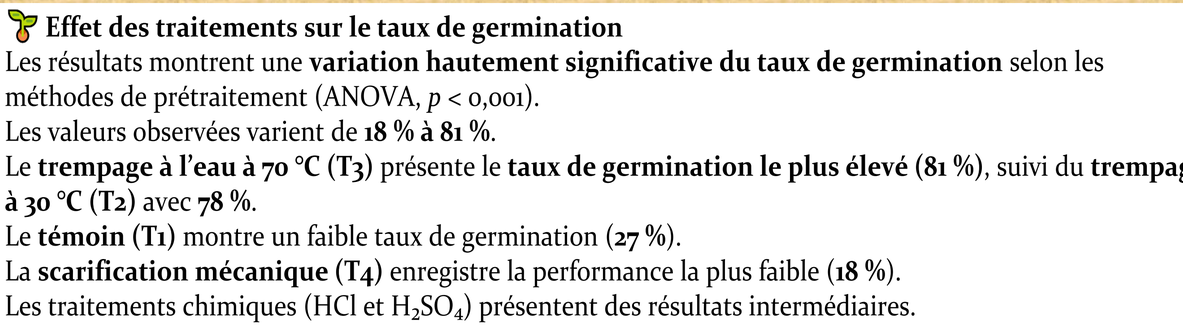
Croissance et qualité morphologique des plants

À **270 jours**, les paramètres morphologiques diffèrent significativement entre les traitements ($p < 0{,}05$).

Les plants issus des **traitements à l'eau**, en particulier **T3**, présentent :

- les **hauteurs les plus élevées (32 cm)**,
- les **diamètres au collet les plus importants (3,8 mm)**,
- le **nombre de feuilles le plus élevé (145)**.

Les plants issus du témoin, de la scarification mécanique et des traitements chimiques montrent une croissance plus faible et plus hétérogène.



Comparaison des effets des traitements de pré-germination (T1–T6) sur la germination, la vigueur germinative et la qualité morphologique des plants d'arganier à 270 jours

Tableau 1. Paramètres morphologiques moyens des plants à 270 jours

Traitement	Taux de germination (%)	TMG (jours)	Hauteur à 270 j (cm)	Diamètre au collet (mm)	Nombre de feuilles
T1 – Témoin	27	45	28	3,1	98
T2 – Eau 30 °C	78	32	30	3,5	120
T3 – Eau 70 °C	81	29	32	3,8	145
T4 – Scarification mécanique	18	16	25	2,9	96
T5 – HCl 36 %	39	23	23	3,2	130
T6 – H_2SO_4 97 %	42	21	25	3,0	124

Le trempage des graines d'arganier dans l'eau, notamment à 70 °C, améliore significativement la germination, accélère la levée et favorise la production de plants plus vigoureux et de meilleure qualité morphologique.

Conclusion

Les résultats de cette étude montrent que les méthodes de prétraitement des graines influencent significativement la germination, la vigueur et la qualité des plants d'arganier. Le trempage à l'eau, en particulier à 70 °C, s'est révélé le traitement le plus efficace, en améliorant le taux de germination, en réduisant le temps de levée et en favorisant le développement de plants plus vigoureux et morphologiquement mieux structurés. À l'inverse, la scarification mécanique et les traitements chimiques ont montré une efficacité limitée et une variabilité plus élevée. Le trempage à l'eau constitue ainsi une méthode simple, peu coûteuse et adaptée aux conditions de pépinière, offrant des perspectives intéressantes pour l'optimisation des programmes de reboisement et de conservation de l'arganeraie.



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المؤتمر الدولي
للأركان
ⵓⵣⵔⵓⵍ ⵓⵎⵓⴹⵍ ⵍⵓⵔⵣⴰⵏ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

الوكالة الوطنية لتنمية مناطق الواحات و شجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

Origine des plants d'arganiers destinés aux projets de plantation du programme d'arganiculture

OUARDIRHI Bouchra | GAHMOU Amesmoud
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA), Maroc

RÉSUMÉ

L'arganiculture, système agroforestier basé sur la plantation d'arganier en vergers, vise à restaurer les systèmes agricoles en zones dégradées, protéger les sols, diversifier et améliorer les revenus des agriculteurs, et réduire la pression exercée sur la forêt naturelle. L'un des facteurs déterminants de la réussite de ces projets réside dans la production de **plants de qualité**, en particulier dans un contexte où les plants sont majoritairement issus de semis en l'absence de variétés largement diffusées

La présente étude analyse l'origine et la provenance des semences utilisées pour la production des plants d'arganier destinés aux projets du programme DARED. L'analyse s'appuie sur les données relatives à environ 1,6 million de plants plantés entre 2018 et 2023, produits par douze pépinières agréées localisées dans les provinces de Marrakech, Taroudant, Chtouka Aït Baha, Chichaoua et Rehamna

Résultats clés : Une prédominance des plants issus de semences originaires de la province d'Essaouira (52,6 %), suivis de ceux provenant de Taroudant (34,6 %), tandis que les contributions des provinces de Tiznit et de Chtouka Aït Baha restent limitées.
À l'échelle des projets de plantation, une variabilité importante de l'origine des plants est observée selon les provinces, à l'exception des plantations réalisées à Essaouira, qui reposent majoritairement sur des semences locales.

Mots-cles : arganier, plant, origine, semences, arganiculture

INTRODUCTION

Le développement de l'arganiculture constitue aujourd'hui un axe stratégique majeur de valorisation durable de l'arganeraie, visant à renforcer la résilience des territoires face aux effets du changement climatique, à améliorer les revenus des populations locales et à réduire la pression exercée sur les peuplements naturels d'arganier.

De nombreux travaux ont montré que les caractéristiques génétiques et écologiques associées aux différentes provenances de l'arganier et la qualité des plants produits en pépinière influencent directement la vigueur des plants, leur tolérance au stress hydrique, ainsi que leur comportement agronomique à moyen et long termes (Nouaim et al, 2002).

L'ANDZOA, à travers le programme DARED, a accordé une attention particuliere au suivi de la provenance des semences.

Objectifs :

- Analyser la situation globale des origines des plants d'arganiers utilisés dans les projets de plantation du programme d'arganiculture
- Identifier les principales zones de provenance des semences
- Examiner les strategies d'approvisionnement des pépinières agréées

MATÉRIEL ET MÉTHODES

12	1,6M	5	2018-2023
Pépinières agréées	Plants analysés	Provinces enquêtées	Période d'étude

Collecte des données : Enquêtes de suivi auprès de 12 pépinières réparties dans les provinces de Marrakech (6), Taroudant (2), Chtouka Ait Baha (2), Chichaoua (1) et Rehamna (1).

Variables analysées :

- Provenance géographique des semences utilisées
- Stratégies d'approvisionnement des pépinières
- Répartition des origines selon la localisation des projets

Méthode : statistiques descriptives pour identifier les tendances dominantes et les dynamiques d'approvisionnement.

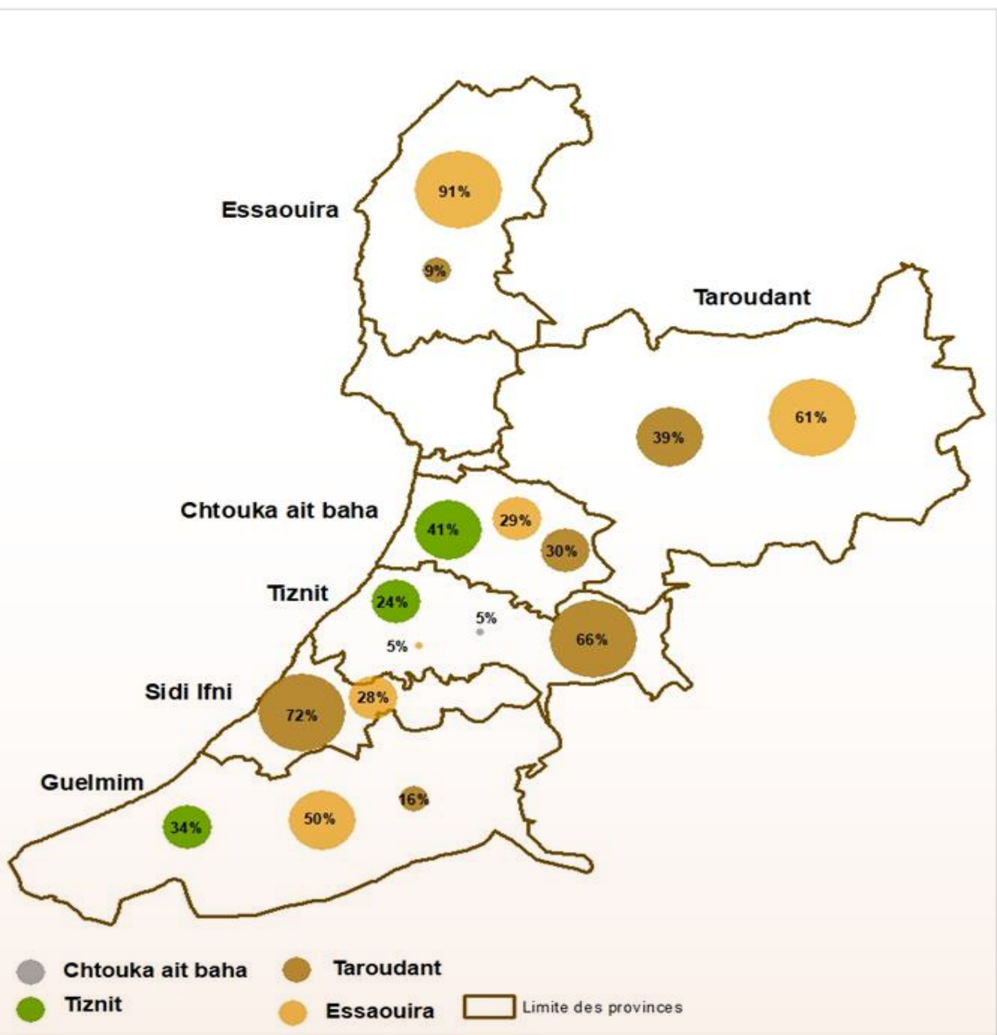


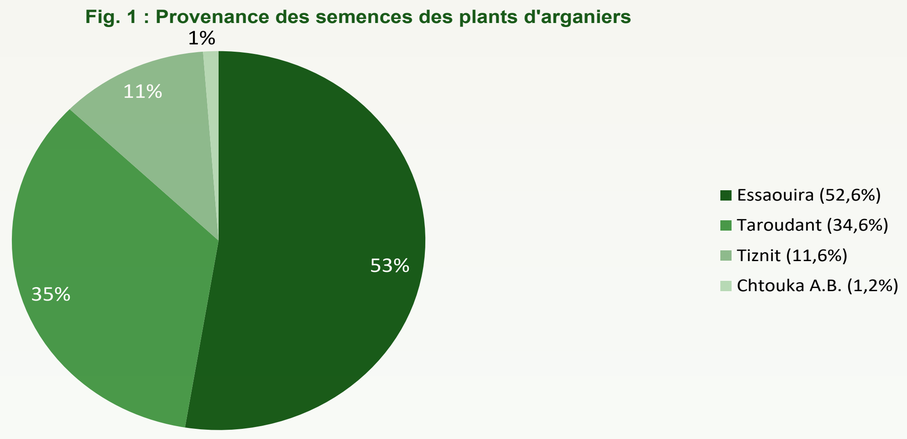
Fig. 3 : Carte de la provenance des semences selon la localisation des projets de plantation

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Situation globale des origines des plants

Sur 1,6 million de plants analysés, Essaouira domine avec 52,6 % des semences, suivie de Taroudant (34,6 %), Tiznit (11,6 %) et Chtouka Ait Baha (1,2 %). Cette répartition traduit un recours préférentiel aux zones reconnues pour l'importance de leurs peuplements d'arganier.

Fig. 1 : Provenance des semences des plants d'arganiers

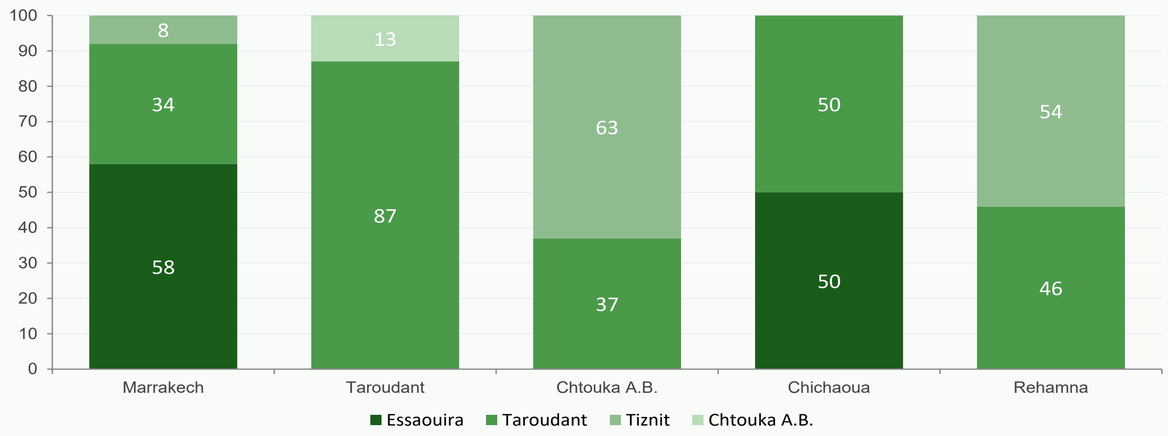


2. Approvisionnement en semences par les pépinières

Les plants utilisés dans les projets de plantation proviennent de 12 pépinières, dont la majorité est implantée dans les provinces de Marrakech, Taroudant et Chtouka Aït Baha.

Les pépinières de Marrakech s'approvisionnent principalement en semences d'Essaouira (58%) et de Taroudant (34%). Les pépinières de Taroudant privilégient les semences locales (87%). Les semences de Sidi Ifni et Guelmim restent inutilisées.

Fig. 2 : Provenance des semences par province de pépinière (%)



3. Origine des plants selon la localisation des projets de plantation

L'analyse des origines de plants suivant la localisation des projets de plantation révèle des configurations contrastées. Les plantations réalisées dans la province d'Essaouira utilisent quasi exclusivement des plants issus de semences locales (90,8 %).

Ceux de Taroudant combinent des semences locales avec celles d'Essaouira, tandis que les projets de Tiznit présentent la plus grande diversité de provenances, avec un recours marqué aux semences de Taroudant (65,9 %).

Les provinces de Guelmim et de Chtouka Aït Baha s'approvisionnent auprès de plusieurs zones, traduisant une adaptation aux contraintes locales de disponibilité

Essaouira	Taroudant	Tiznit	Sidi Ifni
90,8%	mixte	65,9%	71,6%
semences quasi-exclusivement locales	semences locales + Essaouira	Taroudant dominant — grande diversité	Taroudant + Essaouira (28,4%)

CONCLUSION

L'analyse de l'origine des plants d'arganier utilisés dans les projets du programme DARED met en évidence une forte concentration des provenances autour des provinces d'Essaouira et de Taroudant. Les stratégies adoptées par les pépiniéristes traduisent une recherche d'équilibre entre la disponibilité des semences, la proximité géographique et l'adaptation écologique.

Ces résultats confirment que la maîtrise de l'origine des plants constitue un levier stratégique essentiel pour renforcer la durabilité, la résilience et la performance des projets d'arganiculture. À cet égard, une meilleure adéquation entre les provenances des semences et les conditions pédoclimatiques des sites de plantation apparaît déterminante pour optimiser la reprise des plants et leur comportement à long terme.

Dans cette perspective, il apparaît nécessaire d'approfondir l'étude de l'adaptation des différentes provenances aux conditions pédoclimatiques variées de l'arganeraie, afin d'orienter les choix techniques et de contribuer à l'amélioration de la réussite des plantations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Nouaim, R. et al. (2002). The argan tree (Argania spinosa) in Morocco: Propagation by seeds, cuttings and in-vitro techniques. Agrofor. Syst. 54, 71-81.
ADA-ANDZOA (2016). Funding Proposal 'Development of Argan orchards in Degraded Environment – DARED'.

Contact : OUARDIRHI Bouchra | GAHMOU Amesmoud — Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (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 وشجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier
المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique
ANEF
الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS
FIFARGANE
الفيدرالية البيمهنية لسلسلة الأركان
FEDERATION INTERPROFESSIONNELLE DE LA FILÈRE DE L'ARGANE

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵅⵓⵓⵍ ⵓⵎⵓⴻⵅⵓⵍ ⵍⵓⵓⵅⵓⵍ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

8ème édition
الصويرة Essaouira
08>10 ماي 2026
08>10 mai 2026

Effet des isolats de *Pseudomonas* sur la mouche de fruit *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera : Tephritidae) collectée à partir de fruits d'arganier

Redouan Qessaoui[1]*, Ahmed Bouamair[1,2] , Salahddine Chafiki[1,3], Abdelhadi Ajerrar[1], Abdeghani Tahiri[1], Mohamed Ouknin[1], Naima Ait Aabd[1], Jamal Hallam[1], Meriyem Koufan[1] , Ahmed Wifaya[1], Yousef Karra[1], Fouad Elame[1], Mohamed Alouani[2], Rachid Bouharroud[1]

[1] Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc
[2] Faculté des Sciences Appliquées-Ait Melloul, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc.
[3] Département d'Agrobiosciences (AgBS), Université Polytechnique Mohammed VI (UM6P), Ben Guerir, Maroc
* Correspondance : redouan.qessaoui@inra.ma

المعهد الوطني للبحث الزراعي
ⵓⵎⵓⴻⵅⵓ ⵓⵍⵓⵎⵓⵓ ⵍ ⵓⵎⵓⴻⵅⵓⵍ ⵓⵔⵓⵣⵓⵍ
Institut National de la Recherche Agronomique

Résumé

Cette étude évalue le potentiel entomopathogène de dix isolats de *Pseudomonas* fluorescents, issus de la rhizosphère, pour le biocontrôle de la mouche des fruits *Ceratitis capitata*. La méthodologie a consisté à exposer des adultes, issus de larves collectées sur arganier, à une concentration bactérienne de 10^8 UFC/ml via des éponges traitées. Les résultats mettent en évidence une efficacité biopesticide remarquable, particulièrement pour les souches P72 et P36, qui induisent respectivement des réductions de 71 % et 63 % des populations de ravageurs. Ces isolats peuvent offrir une alternative écologique aux pesticides chimiques, en renforçant la vigueur des plantes et leur résistance aux stress biotiques et abiotiques. Ils ouvrent ainsi la voie à une gestion durable de l'arganier, combinant protection phytosanitaire et stimulation de la croissance végétale

Mots-clés : Biocontrôle **;** *Pseudomonas* fluorescents ; *Ceratitis capitata* ; Arganier

INTRODUCTION

La mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae), est l'un des ravageurs les plus destructeurs au monde, notamment dans la région méditerranéenne où elle attaque de nombreuses espèces fruitières. Sa gestion repose principalement sur l'utilisation d'insecticides de synthèse, dont l'usage excessif a entraîné le développement de résistances ainsi que des risques toxicologiques. La recherche d'alternatives plus sûres devient donc une priorité. Dans ce contexte, la lutte intégrée (IPM) combine plusieurs approches telles que le piégeage de masse, la technique de l'insecte stérile et la lutte biologique. Des études ont montré que certains micro-organismes, notamment *Bacillus thuringiensis*, présentent un potentiel en tant que bio-insecticides. En revanche, les données sur l'effet du genre *Pseudomonas* restent limitées. Cette étude vise donc à évaluer l'effet de *Pseudomonas* sur les adultes de *C. capitata.*

Matériels et Méthodes

Ceratitis capitata

Les adultes de C. capitata proviennent des pupes collectées à partir de fruits d'arganier infestés contenant des œufs et/ou des larves. Les fruits sont incubés dans des bacs contenant une couche de sable d'une profondeur d'environ 5 cm. Les larves matures sortent des fruits, s'enfoncent dans le sable puis entrent en pupaison. Après une durée de 10 jours, on procède au tamisage du sable, ce qui permet de récupérer les pupes formées, qui sont ensuite placées dans des cages maintenues dans des conditions de température et d'humidité relative de laboratoire (T° : 25 ± 1°C ; HR : 60-70 % ; photopériode de 14 : 10 (L : D)). Environ 5 jours plus tard, les adultes de C. capitata émergent de ces pupes (figures 1 et 2).

Pseudomonas

Dix souches de Pseudomonas (P04, P010, P012, P023, P025, P036, P037, P040, P060 et P072) ont été utilisées dans ce test. Ces souches ont été isolées dans le sol rhizosphérique et conservées à -20°C dans le laboratoire de microbiologie de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Une concentration de 108 UFC/ml a été préparée pour chaque souche et utilisée pour étudier l'effet antagoniste contre les adultes de C. capitata.

Les adultes ont été collectés à partir de la cage de culture. Quinze adultes de C. capitata ont été introduits dans une boîte contenante une éponge traitée par 2ml de la suspension bactérienne (108ufc/ml). Les boîtes ont été fermées avec un tissu de mousseline et incubés à 26°C. Quatre réplicats ont été effectués pour chaque traitement et contrôle.La mortalité des adultes a été évaluée 24, 48 et 72 heures après le traitement.

Analyses Statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée, suivie de la comparaison des moyennes par le test de Student–Newman–Keuls, avec un seuil de signification de $p < 0,05$. L'ensemble des analyses a été réalisé à l'aide du logiciel Statistica.





Figure 1. Fruits infestés par *C. capitata* et récupération des pupes

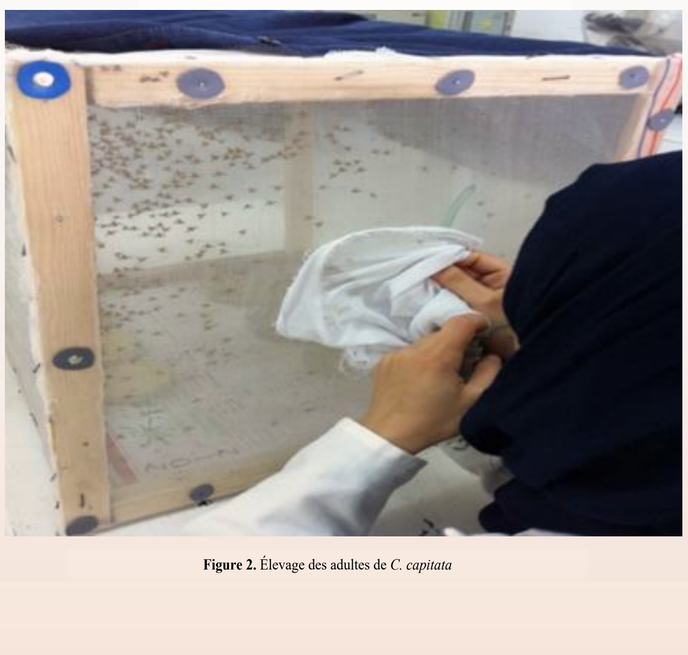


Figure 2. Élevage des adultes de *C. capitata*

Résultats et discussion

Dix isolats de (P4, P10, P12, P23, P25, P36, P37, P40, P60 et P72) ont été isolés et testés sur *C. capitata* à une concentration de 10^8 UFC/ml. Les résultats montrent que les isolats P36 et P72 réduisent significativement les populations de *C. capitata*, d'environ 63 % pour P36 et 71 % pour P72 apres 72h (Figure 3).

Les résultats confirment que les isolats de *Pseudomonas* montrent des niveaux élevés de pathogénicité contre les adultes de *C. capitata* et constituent une option prometteuse pour contrôler ce ravageur. Les données fournissent des preuves convaincantes que deux isolats spécifiques de *Pseudomonas* (P36 et P72), prélevés à partir de sols rhizosphériques, augmentent significativement la mortalité des insectes. Ces bactéries agissent par divers mécanismes dans le biocontrôle des maladies et des ravageurs, ce qui les rend particulièrement intéressantes pour une utilisation à grande échelle.

Les résultats de cette étude indiquent que des souches du genre *Pseudomonas* exercent un effet efficace sur les adultes de la mouche *C. capitata*. Par conséquent, ces résultats suggèrent que ce genre bactérien comprend des espèces virulentes à l'égard des ravageurs. Nos observations sont globalement en accord avec celles rapportées dans la littérature concernant les effets de différentes souches de micro-organismes sur les insectes nuisibles, que ce soit sous forme de suspensions bactériennes ou via diverses formulations (Broadway et al., 1998 ; Fadel, 2002 ; Msaad Guerfali et al., 2018 ; Qessaoui et al., 2017, 2019). Cette étude souligne le potentiel des bactéries comme solution biologique pour protéger les arganiers contre les ravageurs tout en améliorant leur croissance, leur rendement et leur tolérance aux stress.

Les isolats de *Pseudomonas* peuvent offrir ainsi une alternative durable aux pesticides chimiques, favorisant une agriculture plus écologique et renforçant la résilience des cultures face aux contraintes environnementales.

En conclusion, cette étude ouvre de nouvelles perspectives pour l'utilisation des bactéries du genre *Pseudomonas* dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures. Elle met en lumière l'importance de continuer les recherches pour explorer pleinement le potentiel de ces micro-organismes bénéfiques. Les résultats prometteurs obtenus encouragent à envisager des applications pratiques sur le terrain, en collaboration avec les agriculteurs et les communautés locales, afin de promouvoir des pratiques agricoles plus durables et respectueuses de l'environnement.

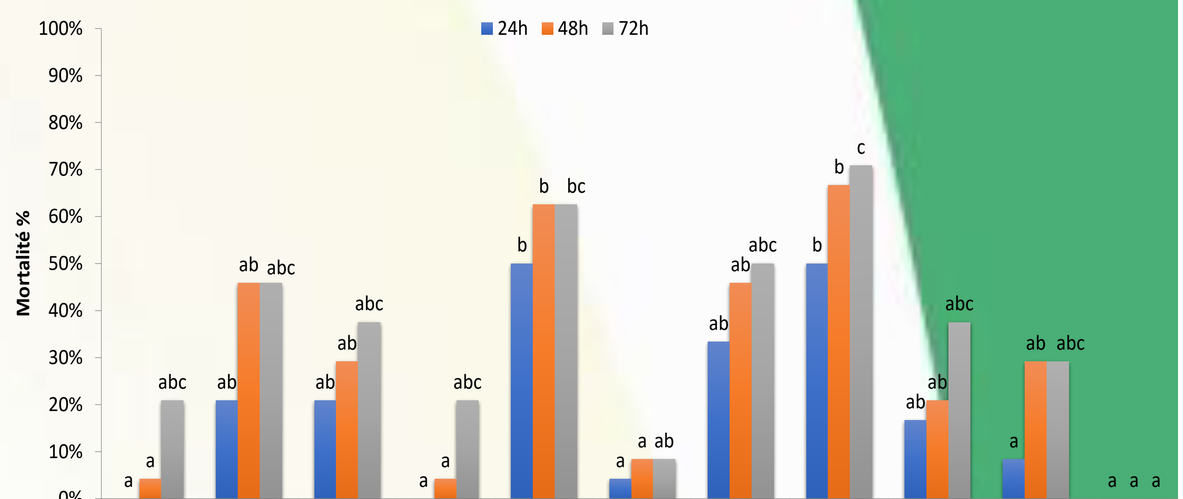


Figure 3. Effet des isolats de *Pseudomonas* sur les adultes de *C. capitata* dans des condition controlées. Les barres portant la même lettre ne présentent pas de différence significative.



Figure 4. Aspect des adules de *C. capitata* après traitement par la bacterie P36

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 وشجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

ANEF
الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS

FIFARGANE
الفيدرالية البيمهنية لسلسلة الأركان
FEDERATION INTERPROFESSIONNELLE DE LA FILÈRE DE L'ARGANE

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL
ARGANIER
المـؤتـمـر الـدولـي للأركـان

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:
l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:
شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition
2026 ماي 10<08
08>10 mai 2026

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Impact du froid sur la croissance des plantules d'arganier

Redouan Qessaoui[1]*, Ahmed Bouamair[1,2] , Salahddine Chafiki[1, 3], Amesmoud Gahmou[4] Abdelhadi Ajerrar[1], Abdeghani Tahiri[1], Mohamed Ouknin[1], Naima Ait Aabd[1] , Jamal Hallam[1], Mariem Koufan[1] , Ahmed Wifaya[1], Yousef Karra[1], Fouad Elame[1], Mohamed Alouani[2], Rachid Bouharroud[1]

[1] *Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc*
[2] *Faculté des Sciences Appliquées-Ait Melloul, Université Ibn Zohr, Agadir, Maroc.*
[3] *Département d'Agrobiosciences (AgBS), Université Polytechnique Mohammed VI (UM6P), Ben Guerir, Maroc ;*
[4] *Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier*
* Correspondance : redouan.qessaoui@inra.ma

Abstract

L'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est une espèce endémique au Maroc, qui prospère dans les régions arides et semi-arides à climat méditerranéen. Il joue un rôle écologique, pharmaceutique et socio-économique crucial dans son habitat naturel. Cependant, la forêt d'arganiers est confrontée à plusieurs menaces telles que la déforestation, le surpâturage et la faible régénération naturelle. Pour faire face à ces défis, la régénération par transplantation de plants a été envisagée, mais de nombreuses tentatives ont échoué en raison de diverses contraintes. Dans ce contexte, le projet Développement de l'Arganiculture dans les Zones Vulnérables (DARED) vise à améliorer les techniques de transplantation de l'arganier et à surmonter les difficultés liées au reboisement. Parmi ces contraintes , un phénomène observé chez les jeunes plants d'arganier : l'éclatement de la tige. La présente étude, menée à Douar Aguerdane (Taroudant), a pour objectif d'identifier les causes de ce phénomène et de proposer des mesures préventives. Les observations ont révélé que l'éclatement de la tige se produit principalement au niveau basal des plants, suivi d'une repousse de nouvelles pousses. Les analyses au laboratoire ont permis d'écarter les dommages causés par les rongeurs ainsi que les infections pathogènes comme causes possibles, suggérant plutôt que les conditions climatiques, notamment les basses températures, seraient le facteur le plus probable. Des recommandations, telles que l'enveloppement du tronc pour le protéger contre le froid extrême, sont proposées afin de limiter l'éclatement des tiges et de favoriser la réussite des programmes de transplantation de l'arganier.

Mots-clés : *Argania spinosa*, croissance, conditions climatiques, éclatement de la tige.

INTRODUCTION

L'arganier, scientifiquement connu sous le nom d'Argania spinosa (L.) Skeels, est une espèce forestière endémique du Maroc, principalement présente dans des régions arides et semi-arides bénéficiant d'un climat de type méditerranéen (Emberger, 1939 ; Le Houérou, 1989 ; M'hirit et al., 1998). Sa distribution se concentre principalement le long de la côte sud-ouest marocaine, s'étendant du nord de Safi au sud de Sidi Ifni (Baehni, 1948 ; Ehrig, 1974 ; Prendergast et Walker, 1992). L'arganier possède une capacité unique à survivre pendant de longues périodes de sécheresse grâce à sa faculté de défoliation (Peltier, 1982 ; Ferradous et al., 1996 ; M'hirit et al., 1998). Il est capable de produire des feuilles, des branches et des fruits même en cas de faibles précipitations, ne dépassant pas 100 mm (Emberger, 1939 ; Le Houérou, 1989 ; Ferradous et al., 1996 ; M'hirit et al., 1998). L'arganier joue un rôle écologique, pharmaceutique et socio-économique crucial dans sa région d'origine (Boudy, 1950).Cependant, l'arganier est confronté à une régression en raison de la déforestation intense liée à l'expansion des terres cultivées et des zones urbaines (El Yousfi et Benchekroun, 1992). L'exploitation excessive du bois et le surpâturage contribuent également à la dégradation des arganeraies existantes. En revanche, sa régénération naturelle est pratiquement absente en raison des faibles précipitations observées depuis plusieurs années dans la région de l'arganeraie, de la demande croissante d'huile d'argan à l'échelle mondiale à des fins cosmétiques, thérapeutiques et alimentaires, ce qui entraîne une récolte excessive des fruits et le broutage par le bétail des rares plantules issues de la germination des quelques noyaux restants (Boudy, 1950 ; M'Hirit et al., 1998 ; Bellefontaine et al., 2010).Afin d'assurer la continuité de cette espèce, la régénération artificielle par transplantation de jeunes plants d'arganiers est devenue une alternative. Plusieurs projets de reboisement ont été entrepris, mais la plupart d'entre eux ont échoué malgré les efforts déployés par les Services des Eaux et Forêts (Khay, 1989 ; Alouani et Bani-Aameur, 1999 ; Harrouni et al., 1999 ; Mokhtari et Zahri, 1999 ; Alouani, 2003 ; Bellefontaine et al., 2010). Ces échecs sont en partie attribués à la mauvaise qualité et à la faible production de plants en pépinière, à la déshydratation et au broutage par le bétail.Dans le même contexte, un projet de Développement de l'Arganiculture dans les Zones Vulnérables -DARED- est actuellement financé par l'ONDZOA pour une durée de trois ans. Ce projet s'inscrit dans le cadre du Plan Maroc Vert et du contrat programme relatif au développement de la filière argane, intégrant ainsi les composantes nationales et répondant à l'engagement du Maroc en matière d'adaptation aux changements climatiques. Le programme d'Arganiculture fait partie des NAMAs (Contributions Déterminées au Niveau National) proposées par le Maroc dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), visant à réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 42 % d'ici 2030.L'un des objectifs de ce projet est de réaliser des essais de transplantation d'arganiers dans différentes régions, en utilisant diverses techniques et traitements, afin de trouver les meilleures méthodes et de surmonter les contraintes liées au reboisement. Parmi ces contraintes, nous avons constaté l'éclatement des tiges et le dessèchement de certains plants d'arganiers âgés de 18 mois. L'objectif de cette étude est d'identifier le facteur principal de ce phénomène et de formuler des recommandations pour le prévenir.

Matériels et Méthodes

Site d'étude

Douar Aguerdane est un village rural situé dans la Commune Territoriale (CT) de Sidi Mzal, près de la ville de Taroudant au Maroc . Niché dans la partie sud du pays, La communauté locale de Douar Aguerdane est principalement engagée dans des activités agricoles, avec l'agriculture et l'élevage comme principales sources de subsistance.

Suivi et Observation sur le terrain

Au long des travaux de reboisement dans la région de Taroudant, l'équipe de ENDOZA ont suivi l'état de santé des plantes et ils ont observé le dessèchement et la mortalité des plantules durant la période froide. Une visite du périmètre concerné a été effectuée par un comité technique composé de différents départements du MAPMDREF y compris l'INRAd'Agadir durant le mois de mars 2021 afin de diagnostiquer et de déterminer les causes de ce phénomène. Le comité a constaté l'éclatement de l'écorce localisé principalement sur la partie basale des plantules d'arganier à quelques centimètres du collet accompagné d'un dessèchement de la partie supérieure et la reprise de nouvelles pousses sur la partie inférieure de l'éclatement (Figure 1).



Figure 1 : Eclatement de la tige et dessèchement des plantules d'arganier

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer ce phénomène, à savoir : 1) les dégâts causés par les rongeurs ; 2) les maladies cryptogamiques ; et 3) l'impact des conditions climatiques.

Lors de nos observations sur le terrain, nous avons constaté l'absence de traces de morsures de rongeurs sur un échantillon de 30 plantes présentant des signes d'éclatement. Par conséquent, la première hypothèse est réfutée.

Echantillonnage et analyse au laboratoire

Dans le but de vérifier la deuxième hypothèse, l'équipe de l'INRA Agadir a prélevé des échantillons de plantes présentant des symptômes d'éclatement. Ces échantillons ont été transportés au laboratoire pour une analyse microbiologique visant à détecter la présence d'agents pathogènes pouvant être à l'origine de ces symptômes (Figure 2).



Figure 2 : Prélèvement des échantillons des plantes manifestant les symptômes d'éclatement

Au laboratoire, nous avons effectué un diagnostic approfondi des tiges et des racines des plantes affectées. Des échantillons de racines et de tiges ont été soigneusement désinfectés en utilisant une solution d'hypochlorite de sodium à 5%, puis rincés trois fois avec de l'eau distillée stérile avant d'être séchés dans des conditions aseptiques (Figure 3). Après la désinfection, ces échantillons ont été placés dans des boîtes de Petri contenant de la gélose nutritive (GN) pour la détection des bactéries, et du milieu PDA pour les champignons. Les boîtes ont ensuite été incubées à des températures spécifiques, soit 25°C pour le milieu PDA et 30°C pour la gélose nutritive (GN).

Figure 3 : Des morceaux de racines et de tiges des plants d'arganier montrant des symptômes d'éclatement.



Données climatiques de la région de Taroudant

Dans l'objectif de vérifier l'hypothèse de l'effet des conditions climatiques sur l'éclatement des tiges, nous avons consulté l'historique des données climatiques de la zone étudiée (Douar Aguerdane, CT Sidi Mzal- Taroudant) durant la période allant du 01/10/2020 jusqu'au 28/02/2021 (Figure 4) qui coïncide avec l'apparition des symptômes.

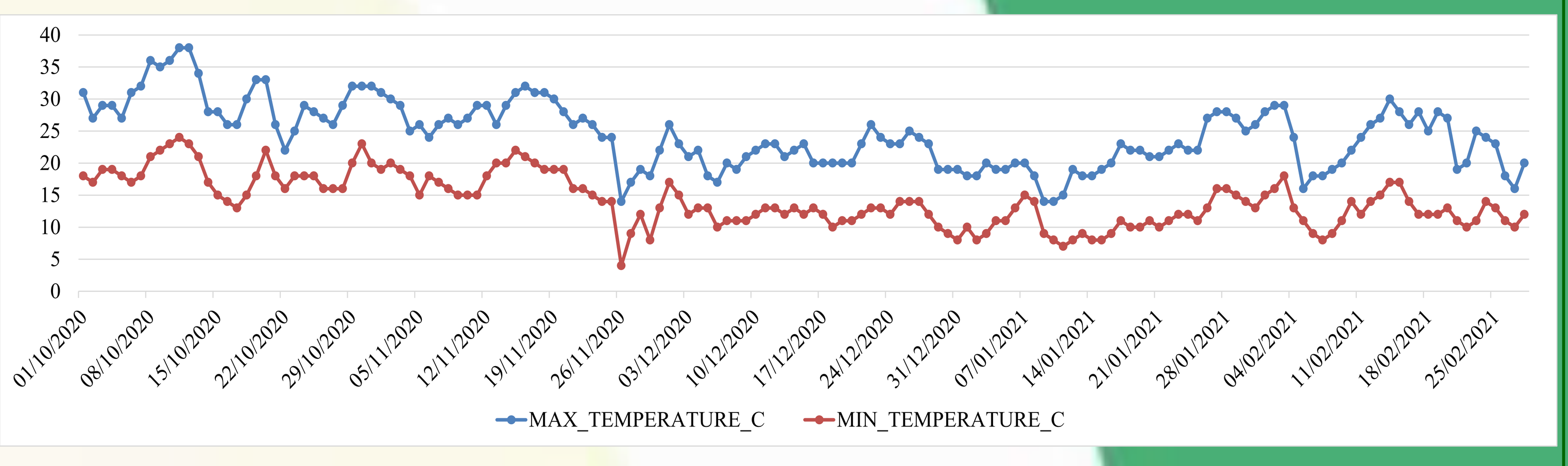


Figure 4 :Données climatiques de la région de Taroudant d'octobre 2020 au février 2021

Résultats

Sur le terrain, nous avons observé que les fissures de l'écorce chez toutes les plantes présentant un éclatement sont, en majorité des cas, localisées dans la partie basale des plants. Cet éclatement n'a pas causé pour le moment la mort des plants, mais plutôt, le dessèchement de la partie supérieure des plants. Une reprise des bourgeons de la partie basale des plants atteints a été observée pratiquement sur toutes les plantules (Figure 5).

Figure5: Reprise des bourgeons de la partie basale des plants atteints



Au niveau de laboratoire, un diagnostic approfondi sur les tiges et les racines des plantes atteintes a été réalisé. L'hypothèse de dégât causé par un rongeur a été écartée vu qu'aucune trace de morsure n'a été remarquée.

Des coupures ont été réalisées pour les racines et les tiges, une qualité de ces derniers a été observée (figure6) ce qui ne montre aucun signe d'infection (Figure 7). Également les résultats des tests microbiologiques confirment la qualité des échantillons et montre qu'il ne s'agit pas de d'un agent pathogène. Ces résultats ont annulé la deuxième hypothèse qui concerne les maladies cryptogamiques.

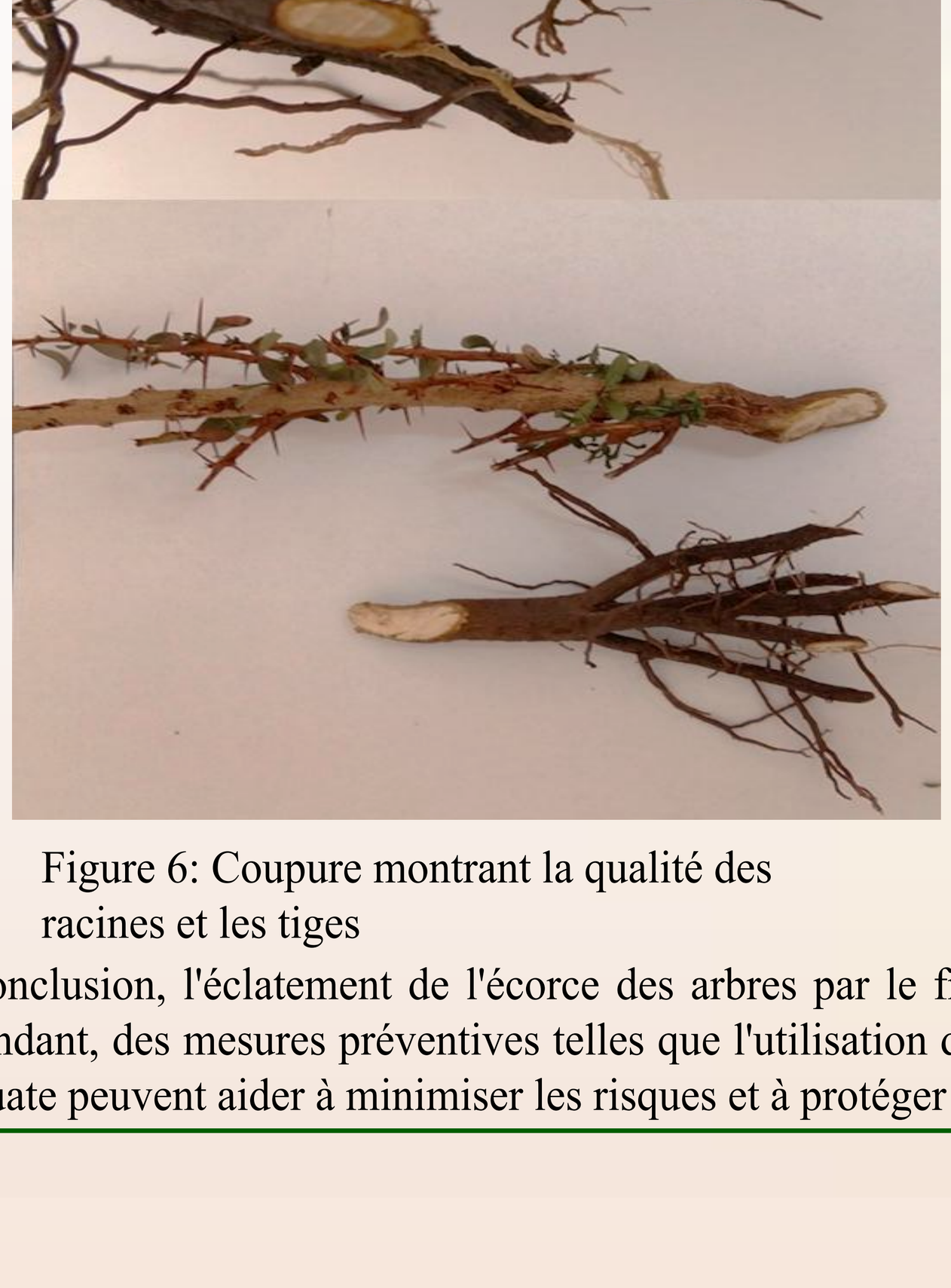


Figure 6: Coupure montrant la qualité des racines et les tiges

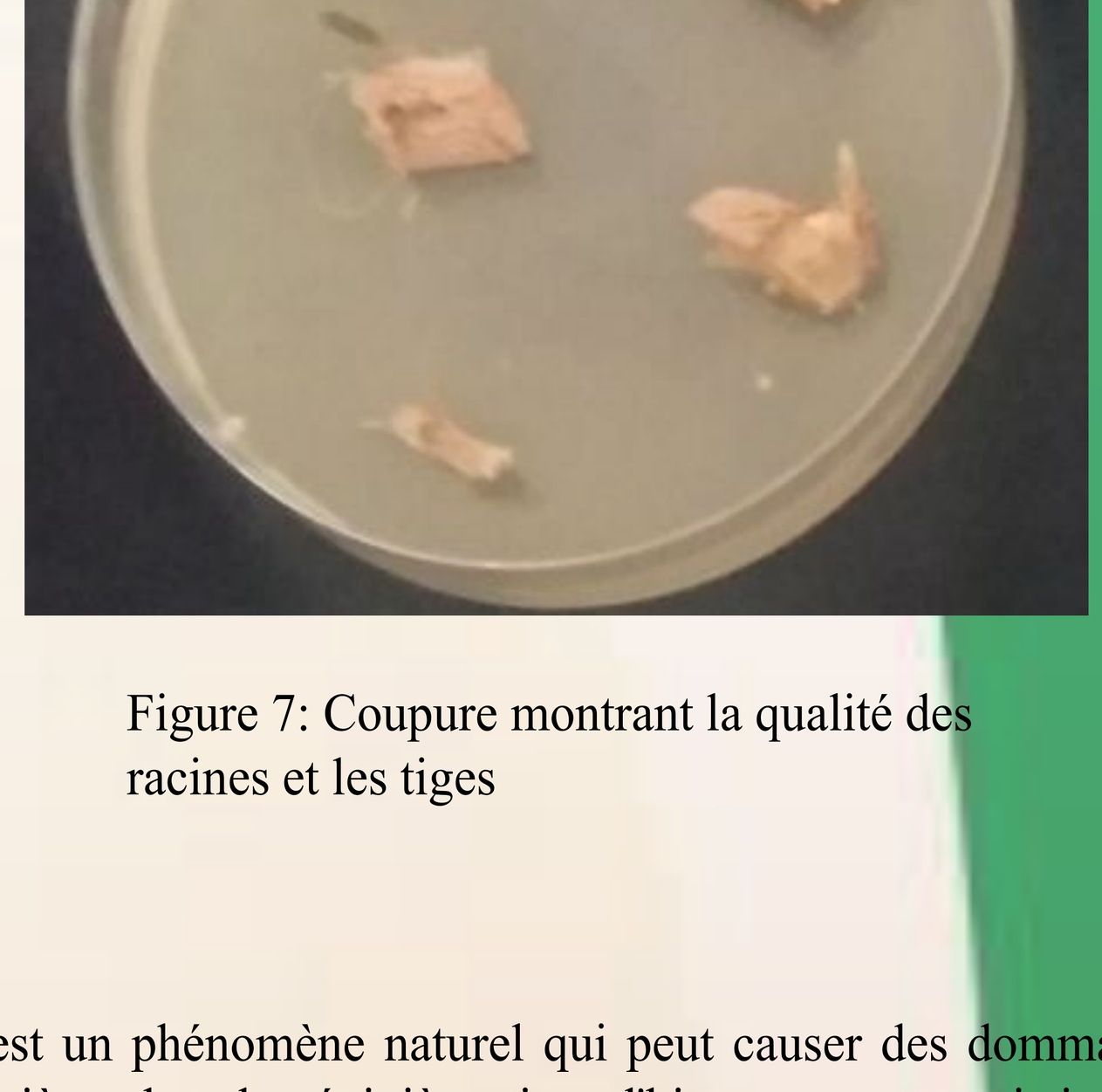


Figure 7: Coupure montrant la qualité des racines et les tiges

En conclusion, l'éclatement de l'écorce des arbres par le froid est un phénomène naturel qui peut causer des dommages. Cependant, des mesures préventives telles que l'utilisation d'ombrières dans la pépinière, tissu d'hivernage, et une irrigation adéquate peuvent aider à minimiser les risques et à protéger la santé des arbres d'arganier.

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 وشجر الأركان
ANDZOA
Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

ANEF
الوكالة الوطنية للمياه والغابات
AGENCE NATIONALE DES EAUX ET FORETS

FIFARGANE
الفيدرالية البيمهنية لسلسلة الأركان
FEDERATION INTERPROFESSIONNELLE DE LA FILÈRE DE L'ARGANE

WWW.CONGRESARGANIER.MA



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المؤتمر الدولي للأركان

ⵓⵣⵔⵓⵍ ⵓⵎⵓⵔⵉⴹⵉ ⵏⵓⵔⴳⴰⵏ

8ème édition الصويرة Essaouira

08>10 ماي 2026

08>10 mai 2026

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

Biocompost-mediated regulation of photosynthetic, osmotic, and secondary metabolite responses under drought stress in argane seedlings

Wiam Yacoubi [1]* , Saida Dakir [1] , Oumaima Semmoudi [2] , Asma Makloul [1] , Fadoua Abouelkoussine [1] , Abdelwahed Fidah [3] , Abderrahim Ferradous [3] , Michael Jacobson [4] , Cherkaoui El Modafar [5] and Abdelghani Chakhchar [1]

[1] *Cadi Ayyad University, Higher Normal School, Interdisciplinary Laboratory for Research in Bioresources, Environment and Materials (LIRBEM), Marrakech, Morocco.*

[2] *Cadi Ayyad University, Faculty of Science Semlalia, Laboratory of Excellence in Agrobiotechnology and Bioengineering, Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Research Unit Labelled CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05) ,Marrakech, Morocco.*

[3] *Regional Center of Forest Research, Marrakech, Morocco.*

.

[4] *Department of Ecosystem Science and Management, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA*

[5] *Cadi Ayyad University, Faculty of Science and Technology, Center of Agrobiotechnology and Bioengineering, Research Unit Labelled CNRST (Centre AgroBiotech-URL-CNRST-05) ,Marrakech, Morocco.*

ABSTRACT

Increasing drought frequency associated with climate change poses a serious constraint to plant survival and productivity in arid regions. Enhancing drought tolerance in the argane tree, a keystone species endemic to central-western Morocco, is therefore of major ecological and agronomic importance. This study investigated the potential of an innovative biocompost produced from wheat straw biochar co-composted with animal manure to improve drought tolerance in 2-year-old argane seedlings subjected to severe drought stress. Physicochemical analyses showed that the biocompost was mature and agronomically suitable, with an optimal C/N ratio (13.3), indicating good stability and nutrient availability. Drought stress significantly altered plant biochemical traits, including a reduction in chlorophyll a (−30.7%), increased carotenoids (+40.6%), enhanced epicuticular wax accumulation (+135%), and elevated levels of osmolytes and antioxidant compounds. Biocompost amendment under drought stress mitigated these effects by stabilizing photosynthetic pigments, reducing carotenoid content (−27%) and epicuticular wax accumulation (−39%), and lowering soluble sugars (−20.3%) and glycine betaine (−5.8%), while maintaining proline levels. Antioxidant responses were also modulated, with reduced L-phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity and flavonoid content, alongside sustained high polyphenol levels.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted on two-year-old A. spinosa seedlings, which were grown individually in pots under a semi-controlled greenhouse after a one-month acclimation period (28 ± 3 °C, 60–65% relative humidity, and a natural photoperiod of approximately 12 hours of light per day). Three experimental treatments were applied: well-watered plants as controls, plants subjected to severe water stress (30% of field capacity) for 30 days, and drought-stressed seedlings grown on a substrate enriched with biocompost, which was incorporated into the growing medium one week prior to application.

The biocompost consisted of plant and animal residues. Wheat straw was converted into biochar by slow pyrolysis, then mixed with animal manure in a ratio of 20% biochar to 80% organic matter, before being composted in a controlled manner. The final product was characterized for its main physicochemical properties (pH, electrical conductivity, organic matter, nutrient content, and total polyphenols), as well as its structural and functional features using FTIR, SEM and EDX analyses.

At the end of the experiment, leaf samples were taken from each treatment and stored at −20 °C for subsequent biochemical analyses. Photosynthetic pigments, including chlorophylls a and b as well as carotenoids, were extracted with acetone and quantified by spectrophotometry to assess the functional state of the photosynthetic apparatus. Osmoregulatory mechanisms were investigated by determining the levels of soluble sugars, proline, and glycine betaine.

Secondary metabolism was assessed by measuring L-phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity, as well as by spectrophotometric quantification of total polyphenols and total flavonoids. Additionally, the epicuticular wax content, which helps limit water loss, was determined. All analyses were performed with five biological replicates per treatment.

Data were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) at a significance level of 5%, followed by Tukey's test for comparing means. Statistical analyses were performed using SPSS software (version 25).

CONCLUSION

This study demonstrates that severe drought stress triggers pronounced biochemical and responses in A. spinosa, including increased epicuticular wax deposition, osmotic adjustment, pigment reorganization, and activation of secondary metabolism. These mechanisms reflect the species' intrinsic capacity to cope with drought conditions. The application of biocompost under water deficit significantly moderated several of these stress-induced responses, indicating an improvement in plant physiological status.Overall, the results highlight the potential of biocompost as a sustainable agroecological amendment to improve drought tolerance in argane trees and support the long-term resilience of argane agroecosystems in arid and semi-arid environments.

FINDINGS

Physicochemical analyses - Biocompost

Physicochemical analyses indicate that the compost is mature and of good agronomic quality, with a near-neutral pH, appropriate moisture content (~57%), and a balanced C/N ratio (13.3) conducive to microbial activity. Its low salinity and sodium content reduce the risk of plant stress, while essential macro- and micronutrients are present in sufficient amounts.

Photosynthetic pigments

The application of biocompost under stress decreased carotenoid levels by 27%, restoring values close to those of the control, whereas total chlorophyll content remained unchanged across treatments (Table 1).

Table 1. Effect of biocompost amendment under severe drought stress conditions (30% FC) on chlorophylls a and b as well as carotenoids (mg/g) in two-year-old argane seedlings after one month of treatment. C: control treatment; DS: drought stress treatment; DS+BioC: drought stress treatment combined with compost amendment.

	C	DS	DS+BioC
Chlorophyll a	37.88 ±4.95a	26.24±4.80b	34.34±1.22ab
Chlorophyll b	17.68±1.03a	17.68±1.03a	17.68±1.03a
Carotenoids	7.86±0.75b	7.86±0.75b	7.86±0.75b

Epicuticular wax content

Biocompost amendment reduced the water stress-induced accumulation of epicuticular wax in argan leaves (−39% compared to stressed seedlings) (Table 2),

Table 2. Effect of biocompost amendment under severe drought stress conditions (30% FC) on the epicuticular wax content (mg dm^{-2}) in two-year-old argane seedlings after one month of treatment. C: control treatment; DS: drought stress treatment; DS+BioC: drought stress treatment combined with compost amendment.

	C	DS	DS+BioC
Epicuticular wax content	11.65±2.49c	27.40±2.82a	16.71±2.78b

Osmotic adjustment

Biocompost amendment significantly decreased soluble sugar (−20.3%) and glycine betaine (−5.8%) levels under stress conditions, while proline levels were not significantly affected (Table 3).

Table 3. Effect of biocompost amendment under severe drought stress conditions (30% FC) on free proline (µmol g^{-1}), total soluble sugars (µg/mL), and glycine betaine (µmol/g) content in two-year-old argane seedlings after one month of treatment. C: control treatment; DS: drought stress treatment; DS+BioC: drought stress treatment combined with compost amendment.

	C	DS	DS+BioC
Free proline	4.36±0.35b	6.04±0.89a	5.00±0.05ab
Total soluble sugars	67.44±12.18b	93.58±10.55a	74.56±3.33b
Glycine betaine	6.87±0.07c	7.42±0.05a	6.99±0.06b

Secondary metabolism

The secondary metabolism was strongly stimulated by drought, and compost application mitigated this response by reducing ALP activity (−14.6%) and flavonoid content (−9%), while total polyphenol levels remained high compared to well-watered plants (+32.4%).

Table 4. Effect of biocompost amendment under severe drought stress conditions (30% FC) on PAL (nmol min^{-1} mg^{-1} protein), total flavonoids (mg quercetin equivalents g^{-1}), and total polyphenols (mg gallic acid equivalents g^{-1}) content in two-year-old argane seedlings after one month of treatment. C: control treatment; DS: drought stress treatment; DS+BioC: drought stress treatment combined with compost amendment.

	C	DS	DS+BioC
PAL	2.63±0.06b	3.08±0.23a	2.63±0.17b
Total flavonoids	171.61±7.50c	200.84±4.32a	182.80±3.33b
Total polyphenols	606.98±55.53b	910.66±58.69a	803.88±80.95a



CONGRES INTERNATIONAL ARGANIER

المـؤتـمـر الـدولـي للأركـان

ⴰⵙⵎⴰⵍⵍ ⴰⴳⴰⵔⴰⵎⴰⵏ ⵏ ⵡⴰⵔⴳⴰⵏ

DE L'ARGANERAIE À L'ARGANICULTURE:

l'arganier, pilier de la résilience hydrique des écosystèmes, des territoires et des communautés

من المجال الحيوي إلى أركان الفلاحي:

شجرة أركان، ركيزة الصمود المائي للمنظومات البيئية، والمجالات الترابية والمجتمعات المحلية

الصويرة Essaouira 8ème édition

2026 ماي 10<08

08>10 mai 2026

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

المعهد الوطني للبحث الزراعي

Institut National de la Recherche Agronomique

Etat actuel des ravageurs de l'Arganier (*Argania spinosa* L.) : Identification et stratégies de lutte intégrée

Rachid Bouharroud*1, Mohamed Alouani², Ahmed Bouamair1, Salahddine Chafiki1, Jamal Hal-lam1, Youssef Karra1, Ahmed Wifaya1, Abdelghani Tahiri1, Fouad Elame1, Naima Ait Aabd1, Abdelaziz Mimouni1, Meriyem Koufan1, Abdelhadi Ajerrar1 et Redouan Qessaoui1

1 Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc

2 Faculty of Applied Sciences - Ait Melloul, Ibn Zohr University, Agadir, Maroc.

**Correspondance : rachid.bouharroud@inra.ma*

RESUMÉ

Cette étude analyse l'état sanitaire de l'arganier (*Argania spinosa* L.) face aux pressions entomologiques au Maroc, révélant que les jeunes planta-tions sont les plus vulnérables, avec des risques de mortalité totale. L'inventaire identifie une diversité de bioagresseurs allant des insectes piqueurs-suceurs (pucerons, cochenilles) et défoliateurs en pépinière, aux coléoptères xylophages (foreurs de bois) qui compromettent la structure des arbres adultes affaiblis. Pour contrer ces menaces, l'article préconise une stratégie de lutte intégrée combinant la prévention culturale (taille, irrigation), le monitoring par piégeage (chromatique et Pitfall), et la valo-risation des auxiliaires naturels. La durabilité de cet écosystème repose ainsi sur une surveillance rigoureuse et un transfert de compétences vers les agriculteurs pour favoriser des interventions biologiques ciblées plu-tôt que des traitements chimiques systématiques.

Mots-clés : piégeage ; ravageurs ; lutte intégrée

INTRODUCTION

Les attaques de ravageurs ne se limitent pas à une catégorie d'arbres ; elles touchent aussi bien les plantations âgées que les jeunes plants. Les jeunes plantations sont par-ticulièrement vulnérables, les insectes pouvant y provoquer une mortalité totale des plantes dans certaines localités. L'arganier subit des attaques régulières de divers ra-vageurs, notamment des insectes, provoquant des dommages structurels sur les feuilles, les tiges et les fruits. Cette étude documente les principaux ravageurs, leur impact sur la survie des plantations et les méthodes de gestion durable préconisées pour préserver la biodiversité des arganeraies. Cette situation compromet la durabilité des écosystèmes et la croissance des nouvelles plantations.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Suite aux prospections préalables pour le choix des sites selon leur représentativité au niveau de la RBA, 6 sites ont été choisis pour cette étude : Rasmouka (Tiznit), Tamjlojt (Chtouka Ait Baha), Tioughza (Sidi Ifni), Laqsabi (Guelmim), Imoulass (Taroudant) et Ezzaouite (Essaouira).

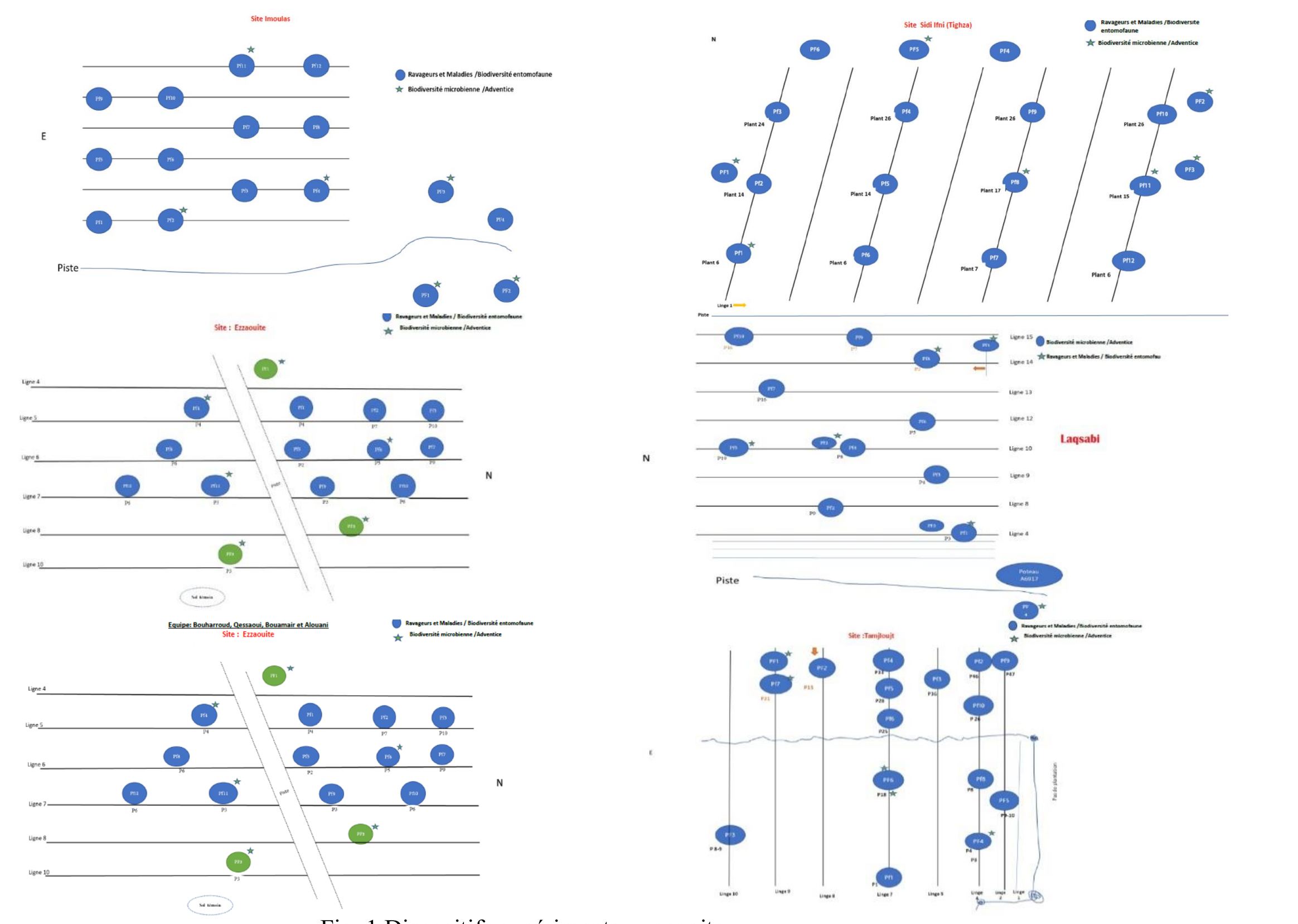


Fig. 1 Dispositifs expérimentaux par site

Identification des ravageurs liés à l'arganier

L'arganier subit régulièrement des attaques de divers ravageurs, notamment des insectes, dont les symptômes se manifestent sous forme de morsures et autres dommages sur les feuilles, les tiges et les fruits. Ces attaques ne se limitent pas à une catégorie spécifique d'arganiers; elles touchent aussi bien les arbres âgées que les jeunes plants. Les jeunes plantations sont particulièrement vulnérables, car les insectes peuvent y provoquer des dégâts importants dans certaines localités, allant jusqu'à la mortalité totale des plantes. Cette situation est alarmante car elle compromet non seulement la croissance des nouveaux arbres, mais aussi la durabilité des plantations existantes. Pour étudier ces attaques de manière systématique et approfondie, des missions de terrain ont été organisées. L'objectif de ces missions était à la fois d'observer et collecter des spécimens de ravageurs, et aussi de diagnostiquer leurs symptômes sur les différentes parties de l'arganier. Ces observations ont permis de documenter les types de ravageurs présents, ainsi que la nature et l'étendue des dommages qu'ils causent.

Type de piégeage

•Pièges jaunes englués :

Pour la recherche des ravageurs associés à l'arganier, des pièges jaunes englués ont été installés sur 12 jeunes plants d'arganier et 6 sur les arbres de la forêt limitrophe (figure 2). Ces pièges ont été collectés des sites précités 24 à 72 heures après installation pour analyse au laboratoire en vue d'identifier les ravageurs éventuels de l'arganier. Un total de 18 pièges jaunes englués ont été collectés de chaque site à chaque saison.



Fig. 2 Piégeage jaune englué utilisé pour la collecte des insectes volants

• Pièges Pitfall

C'est un piège qui est adapté aux arthropodes terrestres associés à l'arganier. Deux pièges par chaque jeune arbre ont été installés et un total de 12 arbres ont été choisis pour chaque site. De même pour les arbres de la forêt limitrophe, 6 arbres ont été choisis et 2 pièges Pitfall ont été installés pour chaque arbre. Les arthropodes piégés ont été récupérés 24 à 72 heures après installation puis ramenés au laboratoire d'entomologie pour analyse et identification des ravageurs potentiels de l'arganier et ceux pour les 6 sites.

•Piège direct : filet fauchoir et aspirateur à bouche

Piégeage direct par filet fauchoir et aspirateur à bouche a été réalisé pour collecter les insectes qui ne peuvent pas être piégés par les plaques jaunes engluées et les pièges Pitfall.

Une fois les spécimens collectés, ils ont été transférés au laboratoire d'entomologie pour une analyse plus détaillée. Dans un premier temps, les spécimens ont été conservés dans de l'alcool, ce qui permet de préserver leur intégrité pour une identification précise ultérieure. La caractérisation des ravageurs a ensuite été réalisée en se basant sur leur aspect morphologique après traitement et des clés de détermination spécifiques. Cette étape est cruciale, car elle permet de déterminer le genre et l'espèce des ravageurs, ce qui est essentiel pour élaborer des stratégies de gestion et de contrôle appropriées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de l'inventaire entomologique consigné dans le Tableau 1 révèle une diversité taxonomique importante de bioagresseurs, dont l'impact sur l'arganier (*Argania spinosa*) varie de manière significative selon le stade phénologique de l'arbre et son environnement de croissance. En milieu contrôlé, notamment en pépinière, le stade juvénile manifeste une vulnérabilité accrue face à un complexe d'insectes suceurs et broyeurs. Parmi les hémiptères, la présence récurrente de pucerons (Aphididae, particulièrement *Macrosiphum rosae*), d'aleurodes (Aleyrodidae), de punaises (Lygaeidae telles que *Nysius* sp.) et de diverses cochenilles souligne une pression constante sur les tissus tendres en croissance (Ajerrar et al., 2024a et b). Cette menace est complétée par l'action de défoliateurs et de ravageurs de surface, incluant des coléoptères de la famille des Curculionidae (*Sitona* sp.), des orthoptères Tettigoniidae (*Eugaster* sp.) ainsi que des hémiptères terrestres comme le gendarme (*Pyrrhocoris apterus*). Par ailleurs, les mollusques de la famille des Helicidae exercent une pression biotique non négligeable sur ces jeunes plants. À l'opposé, les sujets matures et les peuplements âgés en milieu naturel sont principalement confrontés aux coléoptères xylophages. Ces insectes foreurs, appartenant aux familles des Curculionidae, Bostrichidae et Cerambycidae, notamment les espèces *Bolivarita oculatus*, *Hypoeschrus strigosus* et *Xylomedes coronata*, causent des dommages structurels profonds au bois, compromettant la longévité de l'arbre (Ajerrar et al., 2022). Le caractère ubiquiste des orthoptères et des mollusques, présents à tous les stades de développement, confirme leur rôle de ravageurs transversaux au sein de l'écosystème de l'arganeraie. L'identification précise de ces ravageurs et la compréhension de leurs cycles biologiques respectifs constituent le socle indispensable au développement de méthodes de lutte intégrée efficaces. En synchronisant les interventions avec les périodes de pic d'activité des ravageurs, il devient possible d'optimiser les stratégies de protection tout en sensibilisant les exploitants et gestionnaires forestiers aux meilleures pratiques phytosanitaires. Une telle démarche permet de réduire substantiellement les pertes de biomasse et d'améliorer la résilience globale des plantations face aux stress biotiques (Ajerrar et al., 2023). Étant donné que les attaques parasitaires représentent une menace sérieuse pour la pérennité de l'espèce, le recours à des analyses de laboratoire et à une surveillance méthodique est impératif pour concevoir des protocoles de défense robustes. La protection de la santé et de la productivité de l'arganier nécessite l'adoption de pratiques agricoles durables, incluant l'utilisation de variétés résistantes et la mise en œuvre de traitements biologiques ou chimiques ciblés (Bouamair et al., 2023). En somme, la durabilité de cet écosystème, d'une valeur écologique et socio-économique inestimable, dépend d'une recherche continue et d'une collaboration étroite entre les instances scientifiques, les agriculteurs et les autorités locales. Le déploiement de programmes de formation continue et de projets de recherche appliquée s'avère donc crucial pour préserver ce patrimoine forestier contre les menaces phytosanitaires émergentes..

Table 1. Inventaire des principaux ravageurs de l'arganier

Ravageur	Famille
Puceron vert : Macrosiphum rosae	Aphididae
Punaise : Nysius sp.	Lygaedae
Sitona	Curculionidae
Aleurode : Non identifié	Aleyrodidae
Cochenille : Non identifié	Pseudococcidae
Coléoptères xylophages: Bolivarita oculatus, Hypoeschrus strigosus, Xylomedes coronata	3 familles : Curculionidae, Bostrischidae et Cerambicidae
Orthoptère: Eugaster sp.	Tettigoniidae
Hemiptère: Pyrrhocoris apterus	Pyrrhocoridae
Mollusques	Helicidae



Fig. 2 : Dégâts causés par la punaise *Nysius* sp.

Les mécanismes de dégradation de la plante diffèrent considérablement selon la biologie du ravageur impliqué. Les coléoptères xylophages ciblent préférentiellement les individus déjà affaiblis par des stress abiotiques. En creusant des réseaux de galeries complexes au sein du tissu ligneux, ils altèrent la résistance structurelle de l'arbre et créent des portes d'entrée facilitant des infections fongiques ou bactériennes secondaires. D'autre part, les insectes piqueurs-suceurs comme les cochenilles exercent une pression physiologique directe en ponctionnant la sève élaborée au niveau des branches et des feuilles. Ce processus s'accompagne souvent de l'excrétion de miellat, une substance sucrée qui favorise le développement de la fumagine. Cette pellicule de moisissure noire réduit la surface foliaire active, perturbant gravement la capacité photosynthétique de l'hôte. Enfin, bien que les mollusques causent des dommages directs parfois limités, leur rôle épidémiologique est préoccupant, car ils agissent comme des vecteurs biologiques capables de transmettre divers agents pathogènes. L'évolution des populations de ravageurs répond également à des dynamiques opportunistes. Certains taxons, à l'image des orthoptères du genre Eugaster (Figure 3), manifestent une présence saisonnière marquée ou s'installent à la suite d'un déclin physiologique amorcé par d'autres pathologies. Bien que qualifiés de secondaires, ces agents jouent un rôle aggravant critique : ils accentuent le dépérissement des plants déjà fragilisés par des contraintes environnementales, accélérant ainsi la dégradation globale de l'état sanitaire de l'arganeraie.



Figure 3 : *Eugaster* sp.

Pour garantir une protection efficace de l'arganier, une approche de lutte intégrée:

1. Le pilier de la prévention

•Taille régulière : Optimise l'architecture de l'arbre et l'aération de la canopée pour éliminer les microclimats humides favorables aux pucerons et cochenilles.
•Gestion de l'espace : Rotation des cultures adjacentes pour rompre le cycle biologique des insectes polyphages et limiter les plantes hôtes alternatives.
•Irrigation constante : Réduction du stress hydrique pour limiter l'émission de signaux chimiques attractifs pour les coléoptères xylophages.

2. Modalités d'intervention ciblées

•Monitoring et détection précoce : Utilisation de pièges à phéromones ou chromatiques pour identifier les ravageurs avant l'apparition de dommages irréversibles.
•Traitements biologiques : Priorité aux bio-solutions et insecticides naturels en cas d'infestation avérée pour préserver l'agro-écosystème.
•Suivi post-traitement : Évaluation rigoureuse de l'efficacité des interventions pour affiner les protocoles futurs.

3. Lutte biologique et équilibre écologique

•Préservation des auxiliaires : Valorisation des prédateurs et parasitoïdes indigènes pour une régulation naturelle des nuisibles.
•Réduction des intrants chimiques : Limitation des pesticides à large spectre pour favoriser la résilience de l'arganeraie.

4. Transfert de compétences

•Sensibilisation et formation : Accompagnement des agriculteurs aux bonnes pratiques phytosanitaires.
•Autonomie des producteurs : Appropriation des interactions biologiques complexes pour garantir la pérennité de l'arganiculture écologique.

CONCLUSION

La survie des arganeraies dépend d'une surveillance phytosanitaire rigoureuse et de la sensibilisation des producteurs aux bonnes pratiques de gestion. La recherche continue et la collaboration entre scientifiques et agriculteurs sont essentielles pour garantir la productivité à long terme de ce patrimoine.

Remerciements : Cette publication a été financée avec le soutien de l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganeraie (ANDZOA) dans le cadre du projet de Développement de l'« Arganiculture » dans les Zones Vulnérables « DARED », un projet cofinancé par le Fonds Vert pour le Climat (GCF).

ANDZOA — Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier

ANEF — Agence Nationale des Eaux et Forêts

Institut National de la Recherche Agronomique

FIFARGANE — Fédération Interprofessionnelle de la Filière de l'Argane

Royaume du Maroc — 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

WWW.CONGRESARGANIER.MA