

N° d'ordre: /2022

Département Sciences et Techniques

MEMOIRE

En vue de l'obtention du Diplôme Master Spécialisé

« **Procédés d'Analyses et Contrôle Qualité (PACQ)** »

Enrichissement Nutritionnel de l'Huile d'Argane Alimentaire par des Phytonutriments Issus des Plantes Aromatiques et Médicinales : entre Tradition et Innovation

Réalisé par : **Abderrahim ASBBANE**

Soutenu le 28/07/2022 à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant

Devant le jury

M. Abdellah HOUARI
M. Jamal KOUBACHI
M. Khalid MAJOURHAT
M. Karim SBIHI
M. Brik GUENAZE
M. Saïd GHARBY

Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant
Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant
Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant
Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant
Responsable du Laboratoire de la Société HSB Tassila
Professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant

Président
Examineur
Examineur
Examineur
Co-encadrant
Encadrant

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À DIEU le plus puissant

Qui m'a donné la santé, la force, le courage, la croyance, le soutien « malgré toutes les difficultés » pour être là aujourd'hui.

À mes parents « M. Saïd et Mme. Aïcha »

Grace à vos tendres encouragements et vos grands sacrifices, et votre assistance morale, vous avez pu créer le climat propice à la poursuite de mes études.

Je prie Dieu de vous bénir, de veiller sur vous, et j'espère que vous serez toujours fiers de moi.

À mes frères « Mohamed et Yassine ». À ma belle-sœur « Sanae »

Source de joie et de bonheur, mes anges gardiens et mes fidèles compagnons dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

À mes chers amis

Pour son soutien incorporable, pour leurs compréhensions qui n'a pas d'équivalent, avec mes sentiments d'amour et de respect les plus chaleureux.

À mon cher professeur GHARBY Saïd

Un immense merci pour vos judicieux conseils, votre support et soutien continu.

À tous mes professeurs depuis primaire jusqu'à mon cursus universitaire

Vous avez toujours été présents pour les bons conseils.

Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.

Veillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts.

À tous mes collègues du master Procédés d'Analyses et Contrôle Qualité PACQ

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaiterais adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mes remerciements, ma profonde gratitude et mon grand respect vont aussi à tous mes enseignants du Master Procédés d'Analyses et Contrôle Qualité « PACQ » pour leur contribution à ma formation et aux personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Je souhaite remercier en premier lieu mon encadrant M. **Saïd GHARBY**, professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant pour m'avoir accueilli au sein de son équipe. Je lui suis également reconnaissant pour le temps conséquent qu'il m'a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques sa franchise et sa sympathie. J'ai beaucoup appris à ses côtés et je lui adresse ma gratitude pour tout cela.

J'exprime notamment mes vifs remerciements à M. **Abdellah HOUARI**, professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Un grand merci à M. **Jamal KOUBACHI**, professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant d'avoir accepté de faire partie du jury de mon mémoire. Et d'avoir accepté d'examiner ce travail. C'est un honneur pour moi de vous compter parmi mon jury.

Je remercie chaleureusement M. **Karim SBIHI**, professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant qui a accepté d'examiner ce travail. Je suis honoré de sa présence parmi les membres de jury de ce mémoire.

Je remercie M. **Khalid MAJOURHAT**, professeur à la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant d'avoir accepté de juger ce travail et d'avoir assisté à ma soutenance.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers l'Agence Nationale de Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (**ANDZOA**) pour sa précieuse contribution à notre projet, sans laquelle notre réussite n'aurait pas été possible.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers, Mme. **Nadia El FATMI**, la présidente de la coopérative **TIGHANIMINE**, d'avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement d'une étape de mon travail.

J'exprime également mes sincères remerciements à Mme. **Zahra BOUSAID**, la responsable de qualité de la coopérative **TIGHANIMINE**, de m'avoir suivi, orienter et mis à ma disposition les moyens nécessaires pour la préparation des échantillons étudiés.

J'adresse de chaleureux remerciements à mon co-encadrant de stage M. **Brik GUENAZE**, le responsable qualité du laboratoire contrôle qualité **HSB Tassila** pour son attention de tout instant sur mes travaux, pour ses conseils avisés et son écoute qui ont été prépondérants pour la bonne réussite de ce travail et d'avoir accepté de juger ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à tous les membres du laboratoire de contrôle qualité **HSB Tassila** pour leurs constantes disponibilités et pour leurs conseils avisés.

Je remercie également tous les membres de notre équipe de recherche pour leurs aides et leurs soutiens morales : **Abdelali El MAALLEM, Rachid BELMALLAM, Moussa NID AHMED, Otmane HALLOUCH, Laila BIJLA, Samira OUBANNIN, Jamila GAGOUR, Hasna AIT BOUZID et Bouchra BOUNASSER.**

Je remercie grandement mes amis pour leur soutien qui a été très importante pour moi : **Zoubair El Ouad, Anass Jbilou, Hmad Bahhou, Mehdi Zenbouri, Ayoub Bazigh, Mourad Farah, Oussama Ouhammi, Saad Boussalhi, Jawad Houmani, Abderrahmane Faragi** et à tous mes camarades de la promotion 2020/2022.

Que ceux qui ne sont pas nommés ici me pardonnent, s'ils ont été oubliés, ce n'est que par l'écrit ... Merci à Tous.

Avant-propos

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet de recherche citoyenne sur l'arganier **REFAM** (Renforcement économique des femmes de la filière arganière au Maroc), financé par l'**ANDZOA** et le gouvernement du **CANADA**,

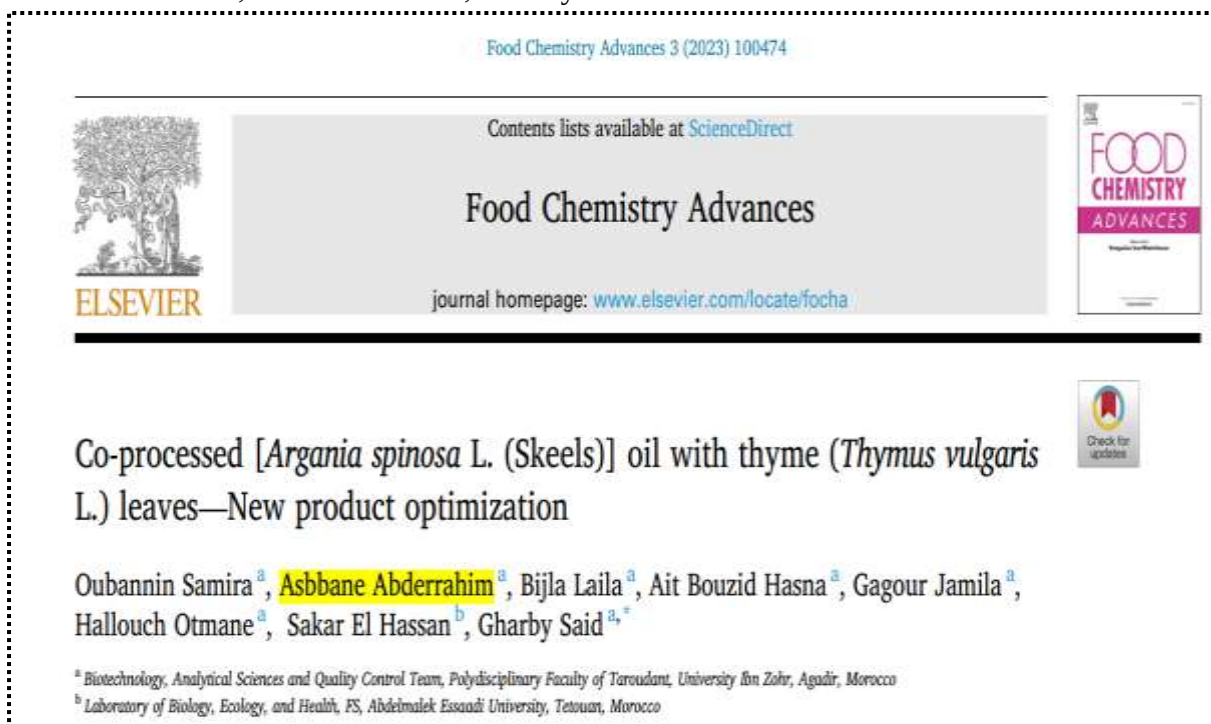
Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Biotechnologie, Sciences Analytique et Contrôle Qualité (**BISAQ**) de la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant, Université Ibn Zohr en étroite collaboration avec la coopérative **TIGHANIMINE ELFILAHIA**.



Les résultats de ce projet ont fait l'objet d'un article scientifique publié, un autre en cours et des communications orales :

Article: Co-processed [*Argania spinosa* L. (Skeels)] oil with thyme (*Thymus vulgaris* L.) leaves—New product optimization

Oubannin Samira, **Asbbane Abderrahim**, Bijla Laila, Ait Bouzid Hasna, Gagour Jamila, Hallouch Otmene, Sakar El Hassan, Gharby Said



Communications orales :

1. Enrichissement de l'huile d'argane (*Argania spinosa* L. (Skeels) par des plantes aromatiques et médicinales : Cas de l'enrichissement par le thym (*Thymus vulgaris*) et l'origan (*Origanum vulgare*)

Oubannin Samira, Asbbane Abderrahim, Bijla Laila, Ait Bouzid Hasna et Gharby Said

The 1st International workshop, Science at the service of the social economy under the theme "Green gold, when Aromatic and Medicinal Plants Inspire Innovation" on November 03-05 2022, Khouribga, Morocco.



2. Improving green enrichment of argan oil (*Argania spinosa* L.) using medicinal and aromatic plants

Oubannin Samira, Asbbane Abderrahim, Ait Bouzid Hasna, Bijla Laila, Gagour Jamila, Hallouch Otmene, and Gharby Said



Résumé

L'huile d'argane est un produit marocain par excellence. Elle est produite à partir des amandons du fruit de l'arganier [*Argania spinosa* (L.) Skeels]. Aujourd'hui, la renommée de l'huile d'argane dépasse largement les frontières du Maroc. En fait, cette huile était commercialisée seulement en interne, maintenant elle est commercialisée presque dans tous les pays du monde. Donc, sa production a un impact socio-économique très important surtout pour les petits producteurs.

L'alimentation a un rôle majeur dans la construction et le maintien de différents systèmes de l'organisme humain, d'où l'importance de s'alimenter sainement. En effet, l'huile d'argane est bien connue pour ses effets bénéfiques sur la santé humaine et ceci grâce à sa composition en molécules bioactives. De l'autre côté, les plantes aromatiques et médicinales (PAMs) sont des sources précieuses de composés bioactifs dotés d'importantes activités biologiques et de haute valeur nutritionnelle.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et la stabilité oxydative de l'huile d'argane enrichie par macération et au cours d'extraction en origan et en thym avec des concentrations différentes sous trois conditions de stockage : à la lumière, à l'obscurité et à l'étuve (à 60 °C).

L'évolution de l'état d'oxydation est suivie en mesurant l'indice de peroxyde, l'acidité, l'indice de para-anisidine, les extinctions spécifiques (E_{232} et E_{270}), l'indice d'iode, la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes et la composition en acides gras.

Nos résultats, montrent que l'enrichissement de l'huile d'argane alimentaire au cours d'extraction avec l'origan ou le thym a un effet positif sur la qualité et la stabilité oxydative de l'huile par rapport à l'enrichissement par macération.

Mots clés : Enrichissement, Huile d'argane, Oxydation, Origan, Plantes aromatiques et médicinales, Stabilité oxydative, Thym.

Abstract

Argan oil is a Moroccan product by excellence. It is produced from the kernels of the fruit of the argan tree [*Argania spinosa* (L.) Skeels]. Today, the fame of argan oil goes far beyond the borders of Morocco. In fact, before, this oil was marketed only internally, now it is marketed almost in all countries of the world. Thus, its production has a very important socio-economic impact especially for small producers.

Food has a major role in the construction and maintenance of different systems of the human body, hence the importance of eating healthy. Moreover, the argan oil is well known for its beneficial effects on human health and this thanks to its composition in bioactive molecules. On the other hand, aromatic and medicinal plants (MAPs) are valuable sources of bioactive compounds with important biological activities and high nutritional value.

The objective of this work is to evaluate the physicochemical characteristics and the oxidative stability of argan oil enriched with oregano and thyme with different concentration under tree storage conditions: light, dark and oven (60 °C).

The evolution of the oxidation state is followed by measuring the peroxide value, the acidity, the para-anisidine value, the specific extinctions (K_{232} and K_{270}), the iodine value, the chlorophyll and carotenoid content and the fatty acid composition.

Our results show that the enrichment of argan oil during extraction with oregano or thyme has a positive effect on the quality and oxidative stability of argan oil compared to enrichment by maceration.

Keywords: Argan oil, Aromatic and medicinal plants, Enrichment, Oregano, Oxidation, Oxidative stability, Thyme.

Liste des figures

Figure 1: Procédés mécanique et artisanal pour extraire l'huile d'argane.....	5
Figure 2: Procédé d'extraction artisanale de l'huile d'argane.....	7
Figure 3: Extraction mécanique de l'huile d'argane.	8
Figure 4: Structure chimique des triglycérides.	13
Figure 5: Structures chimiques des principaux acides gras.	14
Figure 6: Structure chimique du β -carotène et xanthophylle.	16
Figure 7: Structure chimique du tocophérol.....	16
Figure 8: Composés phénoliques de l'huile d'argane	18
Figure 9: Structures chimiques des alcools tri-terpènes.	19
Figure 10: Représentation générale d'un phospholipide.	20
Figure 11: Structure chimique des deux principaux stérols de l'huile d'argane.....	21
Figure 12: Taxonomie des plantes aromatiques et médicinales.	27
Figure 13: <i>Rosmarinus officinalis</i>	29
Figure 14: <i>Thymus vulgaris</i>	30
Figure 15: Deux principaux tri-terpènes de Romarin.....	34
Figure 16: Flavonoïdes et acide phénolique de Romarin.....	34
Figure 17: Mécanisme d'Auto-oxydation	40
Figure 18: Appareil Rancimat.....	46
Figure 19: Huile d'olive enrichie par le romarin.....	49
Figure 20: Procédé ultrasonique (30 L) utilisé pour l'enrichissement assisté par ultrasons	56
Figure 21: Méthodologie du travail.	59
Figure 22: Stockage des amandons.....	60
Figure 23: Préparation de l'huile d'argane enrichie.....	61
Figure 24: Échantillons de l'enrichissement par macération.	62
Figure 25: Stockage dans l'Etuve.....	63
Figure 26: Exposition à la lumière.....	63
Figure 27: Stockage à l'abri de la lumière.....	64
Figure 28: Échantillons de l'enrichissement au cours d'extraction.	64
Figure 29: Spectroscopie d'émission atomique par plasma à couplage inductif.	66
Figure 30: Schéma de l'appareillage d'un spectromètre ICP-AES.....	66
Figure 31: Préparation des échantillons.....	72
Figure 32: Spectroscopie UV-Visible	80
Figure 33: Chromatographie en phase gazeuse.....	82
Figure 34: Schéma de la chromatographie en phase gazeuse.....	83
Figure 35: Technique de l'odorat.....	87
Figure 36: Dégustation de l'huile.	88
Figure 37: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.	100
Figure 38: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.....	101
Figure 39: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de lumière pendant 4 mois de stockage.	102
Figure 40: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C.	104
Figure 41: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.....	105
Figure 42: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de la lumière pendant 4 mois de stockage.	106
Figure 43: Évolution de l'absorption E_{232} des échantillons d'huile d'argane stockés à 60°C pendant 4 mois de stockage.	108
Figure 44: Évolution de l'absorption E_{232} des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.	109
Figure 45: Évolution de l'absorption E_{232} des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abris de la	

lumière pendant 4 mois.....	110
Figure 46: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à 60°C pendant 4 mois de stockage.....	111
Figure 47: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois de stockage.....	112
Figure 48: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abris de la lumière pendant 4 mois de stockage.	113
Figure 49 : Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois de stockage.	114
Figure 50: Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.	115
Figure 51: Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abris de la lumière pendant 4 mois.....	116
Figure 52 : Évolution de la teneur en caroténoïde pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois de stockage.	119
Figure 53: Évolution de la teneur en chlorophylle pour les huiles d'argane pendant 4 mois de stockage à 60 °C.....	120
Figure 54: Évolution de la teneur en caroténoïde des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.	121
Figure 55: Évolution de la teneur en chlorophylles des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.	122
Figure 56: Évolution de la teneur en caroténoïde des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de lumière pendant 4 mois.	123
Figure 57: Évolution de la teneur en chlorophylles des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de lumière pendant 4 mois.	124
Figure 58 : Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	125
Figure 59 : Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	126
Figure 60: Évolution de l'extinction E_{232} des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	127
Figure 61: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	128
Figure 62 : Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois.....	129
Figure 63 : Évolution de la teneur en caroténoïdes pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	131
Figure 64: Évolution de la teneur en chlorophylles pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.....	132

Liste des tableaux

Tableau 1: Avantages et inconvénients du raffinage des huiles brutes.	9
Tableau 2: Avantages et inconvénients du raffinage physique et chimique.	11
Tableau 3: Composition en triglycéride de l'huile d'argane	13
Tableau 4: Composition en acides gras de l'huile d'argane	14
Tableau 5: Composition en acides gras des huiles végétales	15
Tableau 6: Composition chimique du tocophérol.	17
Tableau 7: Teneur en tocophérols de l'huile d'argane	17
Tableau 8: Composés phénoliques de l'huile d'argane	18
Tableau 9: Teneur tri-terpène de quelques huiles végétales.	19
Tableau 10: Composition en stérols des huiles végétales.	21
Tableau 11: Critères physico-chimiques de l'huile d'argane.	24
Tableau 12: Critères de contamination de l'huile d'argane.	26
Tableau 13: Conditions écologiques des PAM.	32
Tableau 14: Types de décomposition des hydro-péroxydes.	42
Tableau 15: Etapes de la préparation des échantillons pour déterminer des éléments minéraux par l'ICP-AES.	67
Tableau 16: Éléments minéraux analysés en ICP-OES	68
Tableau 17: Teneurs en éléments minéraux des deux plantes aromatiques et médicinales exprimées en mg/kg	94
Tableau 18: Composition physicochimique des PAM.	95
Tableau 19: Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux, activité antioxydante.	97
Tableau 20: Composition en acide gras d'huile d'argane stockées dans trois conditions.	117
Tableau 21 : Composition en acides gras d'huile d'argane stockées à 60 °C.	130

Liste des abréviations

A ABTS : Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique) ACP : Analyse en composantes principales ADN : Acide désoxyribonucléique AFNOR : Association française de normalisation AG : Acide Gras AGMI : Acides gras mono-insaturés AGPI : Acides gras polyinsaturés AGS : Acides gras saturés AOAC : Association of Official Analytical Chemist AOM : Active oxygen method ARN : Acide ribonucléique C °C : Degré Celsius CLHP : Chromatographie liquide à haute performance cm : Centimètre CPG : Chromatographie phase gazeuse CRC : Composite relative central D DPPH : 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle E EAA : Equivalent en Acide Ascorbique EAG : Equivalent en Acide Gallique. EQ : Equivalent Quercétine ER : Equivalent à la Rutine. ET : Equivalent en trolox F FID : Détecteur à ionisation de flamme FRAP : Ferric Reducing Antioxidant Power H h : Heure HAEO : Huile d'Argane Enrichie en Origan HAET : Huile d'Argane Enrichie en Thym HANE : Huile d'Argane Non Enrichie HAP : Hydrocarbure aromatique polycyclique	I ICP AES : Spectrométrie d'émission atomique – plasma à couplage inductif IG : Indication géographique IP : Indice de peroxyde IpA : Indice para-anisidine Ir : Indice de réfraction K Kg : Kilogramme KHz : Kilohertz L L : Litre LDL : Low-density lipoprotein M m : Mètre mg : Milligramme MHz : Mégahertz min : Minutes mL : Millilitre mm : Millimètre mmol : Milli mole N nm : Nanomètre P PAMs : Plantes aromatiques et médicinales pH : Potentiel Hydrogène R rpm : Rotation par minutes S s : Seconde T t : Tonne TBA : Acide thiobarboturique TFT : Teneur en flavonoïdes totaux TG : Triglycéride TPT : Teneur en polyphénols totaux U µg : Microgramme UV : Ultraviolet W W : Watt
---	---

Sommaire

Avant-propos	V
Résumé	VII
Abstract	VIII
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	XI
Liste des abréviations	XII
Introduction	1
Partie 1 : Synthèse Bibliographique	
Chapitre 1 : Généralités sur l'huile d'argane	4
I. Procédés d'obtention de l'huile d'argane	5
II. Raffinage de l'huile d'argane	8
III. Composition chimique de l'huile d'argane	12
IV. Vertus de l'huile d'argane	22
V. Production et Consommation	23
VI. Contrôle qualité de l'huile d'argane	24
Chapitre 2 : Généralités sur les plantes aromatiques et médicinales	27
I. Botanique des PAMs	27
II. Exigences écologiques	32
III. Compositions chimiques et usage traditionnel des PAMs	33
Chapitre 3 : Oxydation des huiles végétales	38
I. Oxydation	38
II. Mécanisme d'oxydation	38
III. Impact de l'oxydation sur la qualité des huiles	43
IV. Méthodes de mesure	43
V. Facteurs influencent l'oxydation des huiles végétales	47
Chapitre 4 : Enrichissement des huiles végétales par des PAMs	49
I. Méthodes d'enrichissement	50
1. Infusion	50
2. Co-traitement	52
3. Macération assistée par micro-ondes	54
4. Macération assistée par ultrasons	55
Partie II : Matériel et Méthodes	
Chapitre 1 : Matière végétale et méthodologie de travail	59
I. Source de la matière végétale	60
II. Préparation des échantillons	60
Chapitre 2 : Méthodes d'analyses	65
I. Analyses physico-chimiques des PAMs	65
II. Analyses des antioxydants	71
III. Analyses physico-chimiques de l'huile d'argane	77
IV. Analyses par spectroscopie UV	79
V. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG)	82
VI. Analyse sensorielle de l'huile d'argane	85

VI. Étude statistique	89
Partie III : Résultats et Discussion	
Chapitre 1 : Caractérisation physicochimiques des PAMs	91
I. Composition minérale des PAMs	91
II. Caractérisation physico-chimique des PAMs	95
III. Activité antioxydante	96
Chapitre 2 : Caractérisation physico-chimiques de l'huile d'argane enrichie par des PAMs	98
I. Enrichissement de l'huile d'argane par macération.....	99
1. Acidité.....	99
2. Produits primaires d'oxydation.....	103
3. Produits secondaires d'oxydation	110
4. Composition en acides gras	116
5. Teneur en caroténoïdes et en chlorophylles.....	118
II. Enrichissement de l'huile d'argane au cours d'extraction.....	124
1. Acidité.....	124
2. Produits primaires d'oxydation.....	126
3. Produits secondaires d'oxydation	128
4. Composition en acides gras	130
5. Teneur en caroténoïdes et en chlorophylles.....	131
Conclusion générale	133
Références Bibliographiques	133
Annexes	163

Introduction

L'huile d'argane est un produit de terroir marocain par excellence. Elle est produite à partir des amandons du fruit de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) ([Gharby et al. 2011](#); [Harhar et al. 2014](#)). En plus de sa valeur gustative et culinaire, elle est également dotée de nombreuses propriétés nutritionnelles et cosmétologiques ([Charrouf & Guillaume, 2008a](#); [Guillaume & Charrouf, 2013](#); [Monfalouti et al., 2010](#)). Elle est la principale source de matières grasses du régime Amazigh, plusieurs preuves scientifiques confirment son effet bénéfique sur la santé humaine ([Charrouf & Guillaume, 2008b](#); [Guillaume & Charrouf, 2013](#)).

L'huile d'argane est un produit intéressant d'un point de vue nutritionnel, c'est tout d'abord grâce à sa composition riche en acides gras instaurés ([Charrouf & Guillaume, 2018](#); [Gharby , et al., 2021](#)). Elle est composée de 80% d'acides gras insaturés et seulement 19% d'acides gras saturés. Les acides gras insaturés, dont les bienfaits nutritionnels sont bien connus, sont l'acide oléique (43 à 49%) et l'acide linoléique (29 à 37%) ([Gharby, et al., 2021](#)). L'acide linoléique est une molécule très oxydable et présente en concentration très faible : moins de 0,3%. Outre, cette composition en acides gras, l'huile d'argane est surtout intéressante grâce à ses composés minoritaires à savoir ; les phytostérols, les triterpènes, les squalènes, le coenzyme Q₁₀ et les tocophérols. Ces derniers sont dotés de fortes propriétés antioxydantes ([Charrouf & Guillaume, 2008a](#)).

Des études scientifiques ont montrés que la teneur en tocophérols dans l'huile d'argane est comprise entre 600 et 900 mg/kg est nettement supérieure à celle de l'huile d'olive qui a une teneur en tocophérols aux environs de 300 mg/kg ([Gharby et al., 2012](#)). En effet, la forte teneur en tocophérols et la faible teneur en acide linoléique de l'huile d'argane sont responsables de sa résistance à l'oxydation ([Gharby, et al., 2015](#)).

Les travaux scientifiques dédiés à la valorisation de l'huile d'argane depuis plus de 10 ans ont pu montrer plusieurs caractéristiques nutritionnelles prometteuses de cette huile vis à vis des maladies cardiovasculaires ([Charrouf & Guillaume, 2008a](#); [Guillaume & Charrouf, 2013](#)). Ainsi, des études expérimentales, d'observations et des essais d'intervention suggèrent que la consommation de l'huile d'argane peut réduire le risque cardiovasculaire à travers un mécanisme biologique passant par des actions sur la pression artérielle, les lipides plasmatiques et le statut antioxydant ([Chabraoui et al., 2009](#)).

Par conséquent, la consommation mondiale totale d'huile d'argane et la capacité de production limitée de cette huile indiquent qu'il est potentiellement possible d'élargir la gamme des huiles offertes au consommateur. La capacité de développer des huiles d'argane, ayant des caractéristiques physicochimiques intéressantes, de stabilité oxydative améliorée et également des valeurs nutritionnelles importantes est un défi majeur pour la valorisation des substances naturelles **(Gharby, 2012)**.

Pour faire face à ce besoin, le recours aux plantes aromatiques et médicinales, utilisées par nos ancêtres, est d'une grande utilité grâce aux propriétés biologiques intéressantes que présentent ces plantes. En effet, les plantes aromatiques et médicinales sont riches en vitamines et en oligoéléments (Fer, Zinc, Potassium et Cuivre) **(Guillouty & El Babili, 2016)**, et d'autres composés bioactifs connus par leurs qualités nutritionnelles exceptionnelles **(Fierascu et al., 2021)**.

D'après les données fournies par l'**OMS** (Organisation Mondiale de la Santé), 88% de la population mondiale traitent leurs problèmes de santé par des remèdes traditionnels **(OMS, 2018)**, d'une part parce qu'elles n'ont souvent pas accès aux médicaments prescrits par la médecine moderne et, d'autre part, parce que ces plantes ont souvent une réelle efficacité **(Sabiou et al., 2019)**.

C'est dans ce contexte, que nous avons entrepris ce projet de fin d'études, qui a comme objectif global ; la contribution à la valorisation de l'huile d'argane alimentaire, et cela par l'enrichissement de cette précieuse huile par des plantes aromatiques et médicinales.

Pour ce faire, ce travail est structuré en trois grandes parties :

- ✚ La première est une synthèse bibliographique dans laquelle nous présentons des généralités sur l'huile d'argane, sa composition chimique et son procédé d'extraction, nous parlons également de quelques généralités des PAMs et nous citons aussi quelques méthodes d'enrichissement.
- ✚ La deuxième partie, sera consacrée pour la présentation du matériel et des méthodes utilisées durant la réalisation de ce travail.
- ✚ Quant à la troisième partie, elle est dédiée à la présentation des résultats obtenus et leurs discussions et interprétations.

Partie 1 : Synthèse Bibliographique



Chapitre 1 : Généralités sur l'huile d'argane

L'huile d'argane est préparée à partir des amandons du fruit de l'arganier, *Argania spinosa* (L.)Skeels (Guillaume *et al*, 2019). C'est une huile marocaine par excellence car l'arganier n'est cultivé de façon endémique qu'au Maroc, elle est protégée par une indication géographique (IG) depuis l'année 2009 (Gharby *et al.*, 2021).

Jusqu'aux années 1990, l'huile d'argane est considérée comme la principal source de la matière grasse du régime Amazigh (Gharby *et al*, 2015).

On peut obtenir à partir des amandons deux types de l'huile (l'huile alimentaire et l'huile cosmétique) selon la méthode d'extraction utilisée. La préparation de l'huile alimentaire est effectuée par deux procédés soit le pressage mécanique ou bien l'extraction artisanale à partir des amandons torréfiés. Alors que la préparation de l'huile cosmétique est effectuée aussi à l'aide de pressage mécanique, mais cette fois à partir des amandons non torréfiés (Figure 1). L'huile d'argane cosmétique est plus sensible à l'oxydation que l'huile d'argane alimentaire, également, l'huile d'argane était utilisée en nutrition, en médecine et en cosmétique (Gharby, 2012; Gharby & Charrouf, 2022; Guillaume *et al.*, 2019).

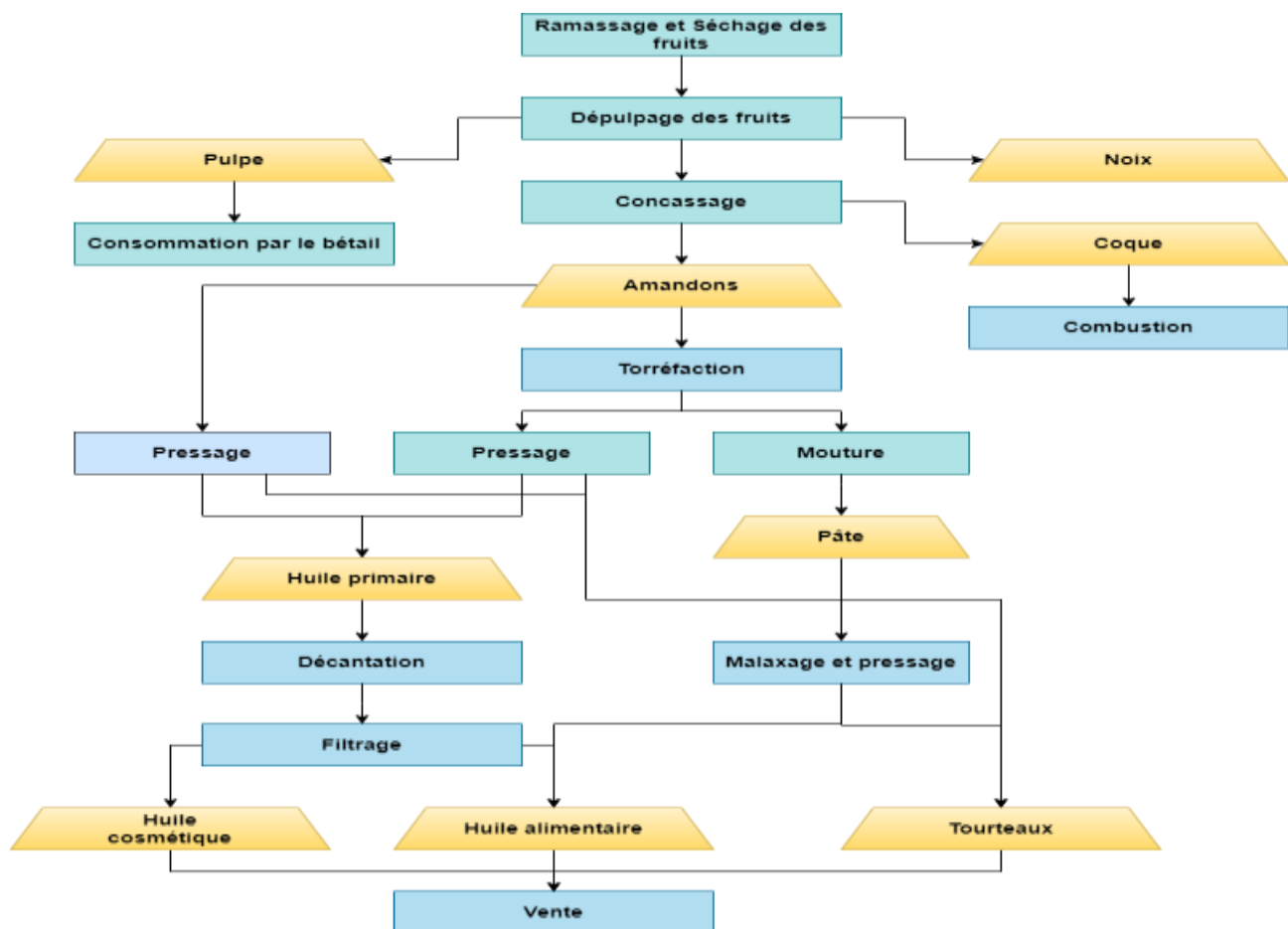


Figure 1: Procédés mécanique et artisanal pour extraire l'huile d'argane.

I. Procédés d'obtention de l'huile d'argane

L'étape préliminaire consiste à collecter les fruits de l'arganier directement sur les arbres, par battage à la perche puis récoltés dans un filet. Après les fruits vont être séchés à l'aide du soleil et être stockés par la suite (Elhaidag, 2020).

1. Procédé artisanal

L'extraction traditionnelle de l'huile d'argane se fait principalement en six étapes fondamentales (Figure 2) :

1.1. Dépulpage

Cette opération se fait par deux manières, soit elle se fait par les femmes qui, à l'aide de deux pierres, écrasement du fruit, ensuite la séparation entre la pulpe et les noix sont effectuées manuellement, soit les caprins qui participent au dépulpage en mangeant les noix et rejetant après les amandons (Elame, 2021; Fasskaoui et al., 2022).

1.2. Concassage / Décorticage

Cette étape aussi est réalisée entre deux pierres, l'une sert comme support et l'autre comme marteau. La noix est concassée en l'écrasant fortement, l'opération de concassage reste la plus pénible et la plus fatigante durant le processus d'extraction de l'huile d'argane (Roumane, 2017).

1.3. Torréfaction des amandons

Les amandons ainsi obtenues à partir de l'étape précédente sont mises dans un récipient en terre, puis ils subissent un chauffage à l'aide d'un feu doux. De temps à autre, les amandons sont remuées afin d'éviter leur carbonisation et prennent ainsi une teinte brune (Agouzzal, 2019), le but principal de cette opération est le développement de la couleur, l'odeur et le goût de l'huile à extraire.

1.4. Ecrasement des amandons dans une moule

Les amandons torréfiés sont ensuite broyés manuellement en utilisant une moule en pierre, il en résulte une pâte de couleur brune qui est mélangée avec l'eau chaude par la suite. Cette dernière est accumulée dans un récipient en poterie pour l'étape de malaxage (Arrahmouni *et al.*, 2018; Elhaidag, 2020).

1.5. Malaxage

Le malaxage de la pâte obtenue se fait manuellement avec ajout d'une petite quantité d'eau tiède pendant un certain temps jusqu'à obtention d'une pâte onctueuse nommé « Tazguemmoute ». Qui est alors pétrie énergiquement jusqu'à ce que l'huile apparaisse. Toutefois cette opération conditionne la qualité de l'huile selon la qualité de l'eau utilisée dans le malaxage de la pâte (Agouzzal, 2019).

L'étude de (Boukyoud *et al.*, 2021) a montré, que la qualité de l'eau utilisée dans le malaxage de la pâte a un impact significatif sur les caractéristiques physicochimiques et sensorielles de l'huile d'argane. Par exemple, la composition en stérols des huiles d'argane est légèrement influencée par la qualité des eaux utilisées.

1.6. Pressage manuel de la pâte

La pâte obtenue est pressée manuellement en libérant de l'huile sous forme des gouttelettes. L'huile obtenue est abandonnée au repos, jusqu'à ce qu'elle devienne limpide, de couleur brunâtre. Le résidu d'extraction (tourteau) est très amer, riche en cellulose, protéines, saccharose et composés phénoliques, il est utilisé comme nourriture du bétail (Elhaidag, 2020;

Goto *et al.*, 2021).

Le rendement de l'extraction traditionnelle est dérisoire, qu'elle est très pénible et que cette méthode absorbe un temps considérable par exemple pour donner un seul litre d'huile il faut compter entre 30 et 40 kg de fruits secs et 20h de travail intense (Gharby, 2012).

	
A-Dépulpage	B-Concassage
	
C-Torréfaction	D-Ecrasement
	
E-Malaxage	F-Pressage manuel

Figure 2: Procédé d'extraction artisanale de l'huile d'argane.

2. Procédé par presse mécanique

L'huile d'argane est extraite à l'aide de presse mécanique (**Figure 3**), qui permet une meilleure conservation de l'huile et une bonne reproductibilité des résultats par rapport à l'extraction traditionnelle (**Agouzzal, 2019**).

Ce processus commence par l'opération de dépulpage des fruits qui est réalisée mécaniquement à l'aide d'une machine « dépulpeuse-gratteuse » qui sépare la pulpe de la noix (**Miklavčič et al., 2020**). Aucune amélioration actuelle n'a été faite sur l'opération de concassage qui reste toujours traditionnelle (**Faouzi, 2017**). La torréfaction s'effectue par des torréfacteurs à gaz. Ce qui permet d'obtenir des amandons de couleur homogène par rapport à la torréfaction manuelle. Finalement, l'huile est extraite par des machines de presse (**Matthäus et al., 2019**).



Figure 3: Extraction mécanique de l'huile d'argane. (**Fasskaoui et al., 2022**).

II. Raffinage de l'huile d'argane

Le raffinage est un traitement technologique qui élimine les composants indésirables et toxiques dans les huiles brutes (**Gharby, 2022**). Il existe trois types du raffinage : chimique, physique et enzymatique.

Les raffinages chimique, enzymatique peuvent éliminer les acides gras libres, et le raffinage physique élimine les composés indésirables (désacidification). Ce traitement est

important pour fournir un produit d'aspect acceptable, de goût neutre, de résistance à l'oxydation et exempt de substances indésirables dont on cite : les résidus de pesticides, les traces métalliques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les dioxines (Evrard *et al.*, 2007; Pal *et al.*, 2015).

Cependant, le raffinage des huiles végétales avait des inconvénients (Tableau 1) qui influence directement la qualité et la sécurité alimentaire des huiles raffinées, pour pallier ce problème des procédés de raffinage efficaces devraient être développés afin d'éliminer les composés indésirables tout en endommageant le moins possible les composés intéressants et ne générant pas des niveaux plus élevés de composés indésirables (Gharby, 2022).

Tableau 1: Avantages et inconvénients du raffinage des huiles brutes (Chew *et al.*, 2016; Lucci *et al.*, 2020).

Avantages du raffinage	Inconvénients du raffinage
Meilleure qualité	Perte des substances bioactives
Aspect plus acceptable (limpidité)	Formation de composés indésirables
Odeur ou couleur plus claire	-
Stabilité plus longue	-
Produit sain	-

Les amandons d'argane isolés de fruits déulpés mécaniquement, donne deux types d'huile dont une huile alimentaire et une huile cosmétique. Cependant, avec les traditions marocaines, même les amandons d'argane récoltés après la régurgitation des chèvres sont utilisés pour préparer l'huile d'argane. Même du point de vue du prix, celui des amandons régurgités est actuellement en moyenne de 30 à 50 % plus bas. Par conséquent, le raffinage semble une voie importante pour fournir à l'huile une qualité optimale du point de vue industriel, notamment pour le secteur cosmétique (Gharby, *et al.*, 2021).

1. Raffinage chimique

Le raffinage chimique est la méthode traditionnelle utilisée depuis des siècles. Il peut être utilisé pour toutes les graisses et les huiles même si elles ont été légèrement dégradées. Chaque étape du processus de raffinage a des fonctions spécifiques pour éliminer certains composés indésirables. Généralement, le processus du raffinage chimique suit six étapes :

- 1) **Dégommage** : élimination des phospholipides et des gencives mucilagineuses ([García et al., 2006a](#)).
- 2) **Neutralisation** : élimination des acides gras libres, des phospholipides, des métaux et des chlorophylles ([Ayerdi & Larbi, 2016](#)).
- 3) **Lavages et séchage** : élimination des résidus de savons et d'eau.
- 4) **Décoloration ou blanchiment** : élimination des pigments, des peroxydes et des résidus de sels d'acides gras ([García et al., 2006a](#)).
- 5) **Décirage** : élimination des cires, cas des huiles riches en cires, ([Manjula & Subramanian, 2006](#)).
- 6) **Désodorisation** : élimination des composés volatils, des caroténoïdes, des acides gras libres et d'autres composés indésirables ([Sherazi et al., 2016](#)).

Cependant, le raffinage chimique présente certains inconvénients. En effet, chaque étape du processus participe à l'élimination de certaines molécules bioactives ([Ergönül & Köseoğlu, 2014](#)) et la formation de composés indésirables tels que les esters 3-MCPD ([Franke et al., 2009](#)), les acides gras trans nocifs ([Fang et al., 2017](#); [Ortega-García et al., 2006b](#)) et les triacylglycérols polymériques ([Fang et al., 2017](#)). Également, le raffinage chimique génère des quantités importantes d'effluents liquides et par conséquent un coût d'investissement élevé.

2. Raffinage physique

Ce raffinage comprend les mêmes étapes que celles décrites dans le raffinage chimique, à l'exception de l'étape de la neutralisation alcaline ([Tasan & Demirci, 2005](#)). Le raffinage chimique consiste à éliminer les acides gras libres en ajoutant de la soude caustique et à séparer le savon par centrifugation (séparation mécanique) tandis que le raffinage physique élimine les acides gras libres et autres composés par distillation à la vapeur ([Manjula & Subramanian, 2006](#)).

Le raffinage physique supprime donc les inconvénients de la neutralisation par l'hydroxyde de sodium (Silva *et al.*, 2014). Par conséquent, ce procédé minimise l'effluent liquide, et il est considéré comme respectueux de l'environnement (Manjula & Subramanian, 2006; Tasan & Demirci, 2005). Un autre avantage de ce procédé, c'est que le raffinage physique est plus économique (par exemple, moins de produits chimiques utilisés, un coût d'investissement faible, moins d'énergie consommée et un rendement amélioré) (Dumont & Narine, 2007; Tasan & Demirci, 2005). Cependant, ce procédé ne convient pas à tous les types d'huiles car il est hypersensible à la qualité de l'huile brute (Dumont & Narine, 2007; Tasan & Demirci, 2005). En général, le raffinage physique comprend trois principales étapes :

- 1) **Dégommage** pour éliminer les phospholipides ;
- 2) **Décoloration et filtration** pour éliminer les pigments de couleur ;
- 3) **Élimination** par désodorisation des acides gras libres et autres composés volatils.

Le **Tableau 2** résume les avantages et les inconvénients du raffinage physique et chimique.

Tableau 2: Avantages et inconvénients du raffinage physique et chimique

	Raffinage physique	Raffinage chimique
Avantages	✓ Moins de sous-produits générés ✓ Moins d'énergie consommée ✓ Moins de produits chimiques utilisés ✓ Coût d'investissement faible ✓ Écologique	✓ Processus simple ✓ Efficace pour éliminer tous les acides gras libres ✓ Efficace pour toutes les qualités des huiles
Inconvénients	✓ Ne convient pas à toutes les huiles brutes ✓ Nécessite une température élevée et un vide poussé ✓ Génère des produits indésirables	✓ Coût d'investissement élevé ✓ Génère des produits indésirables ✓ Utilisation des produits chimiques ✓ Génère des quantités importantes des effluents liquides

En conclusion, un raffinage efficace devrait être développé afin d'éliminer les composés indésirables tout en endommageant le moins possible les composants intéressants et en ne générant pas des niveaux plus élevés de composés indésirables.

3. Dégommage enzymatique

La transformation des phosphatides non hydratables en phosphatides hydratables peut aussi être réalisée en utilisant des enzymes. Dans ce cas, la solution enzymatique, qui est un mélange d'une solution aqueuse d'acide citrique, de soude caustique et d'enzymes, est dispersée dans l'huile filtrée à des températures douces, entre 45 °C et 65 °C. Un mélangeur rotatif à grande vitesse est utilisé. L'huile est ensuite séparée de la gomme hydratée par séparation mécanique et est soumise à un séchage sous vide (Pal *et al.*, 2015).

4. Effet du raffinage sur la qualité des huiles

Le raffinage des huiles bien qu'il élimine les impuretés et les contaminants, néanmoins il diminue la quantité des composés bénéfiques tels que les antioxydants, la vitamine E et en faisant apparaître des acides gras trans (Combe & Rossignol-Castera, 2010). Aussi une part importante des micronutriments des huiles brutes peut être détruite au cours des étapes du raffinage, puisqu'il entraînerait des pertes en tocophérols, les étapes de neutralisation alcaline et de désodorisation sont généralement les plus destructrices vis-à-vis de ces composés. Pour les stérols, ces pertes, qui se produisent au cours de la désodorisation, sont très variables. La neutralisation est l'étape la plus critique pour les phénols qui sont éliminés presque intégralement (Régis *et al.*, 2016).

III. Composition chimique de l'huile d'argane

Les amandons d'argane contiennent jusqu'à 50% d'huile (Gharby *et al.*, 2021). Cette huile est composée principalement de deux fractions. La fraction glycéridique de l'huile d'argane qui représente 99% de l'huile totale, cette fraction comprend 95 % de triacylglycérols, 1,1 à 2 % d'acides gras, 0,68 à 1,53 % de monoacylglycérols et 0,27 à 0,65 % de diacylglycérols. La fraction insaponifiable d'arganier constitue 1% de l'huile totale contient essentiellement des stérols, des caroténoïdes, des alcools triterpéniques, des tocophérols et des composés phénoliques (β -carotène et squalène) (Gharby *et al.*, 2011; Rabie *et al.*, 2016; Mechqoq *et al.*, 2021).

1. Composés majoritaires de l'huile d'argane

1.1. Triglycérides

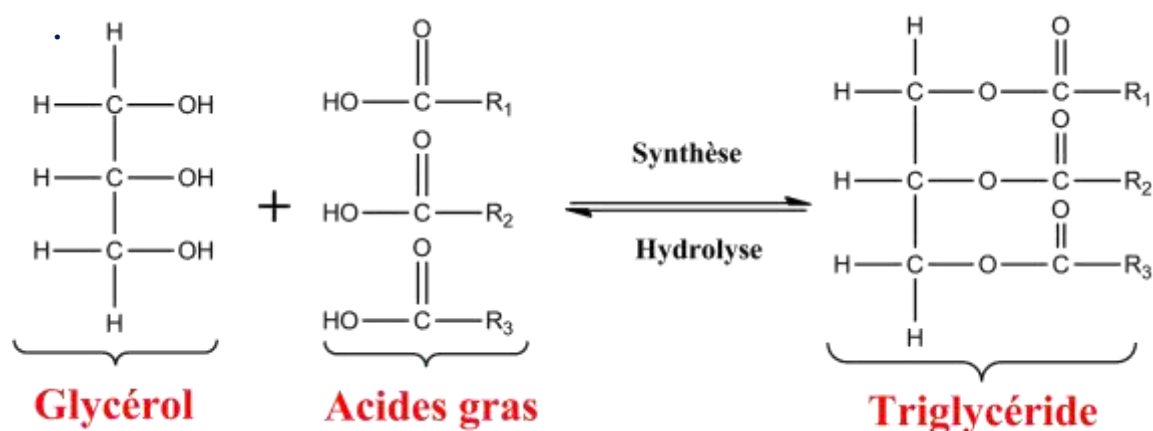


Figure 4: Structure chimique des triglycérides.

Les triglycérides ou triacylglycérols (TG) sont des glycérides dans lesquels les trois fonctions d'alcool d'une molécule de glycérol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) sont estérifiées par trois acides gras homogènes ou hétérogènes (Gharby, 2012).

L'analyse par chromatographie liquide à haute performance (CLHP) capable à identifier la fraction triglycéride de l'huile d'argane. Les principaux triglycérides trouvés dans l'huile d'argane (El Monfalouti *et al.*, 2020) sont décrits dans le **Tableau 3** selon la méthode d'extraction utilisée (Mechqoq *et al.*, 2021).

Tableau 3: Composition en triglycéride de l'huile d'argane (Mechqoq *et al.*, 2021).

		TG %				
		LLO	LOO	LOP	OOO	POO
Procédé d'extraction	Extraction artisanal	13,65	15,78	13,84	13,48	15,46
	Extraction mécanique	13,60	19,50	13,60	12,80	11,50
	Extraction par solvant	17,30	19,90	12,40	7,60	7,10
TG : Triglycérides ; O : Acide oléique ; L : Acide linoléique ; P : Acide palmitique.						

1.2. Acides gras

La composition en acides gras de l'huile d'argane est classée en acides gras insaturés (80 %) de type oléique (43-49 %) et de type linoléique (29-36 %), en acides gras saturés (20 %), acide stéarique (5-6 %) et l'acide palmitique (11-15 %) (Urbaniak, 2017).

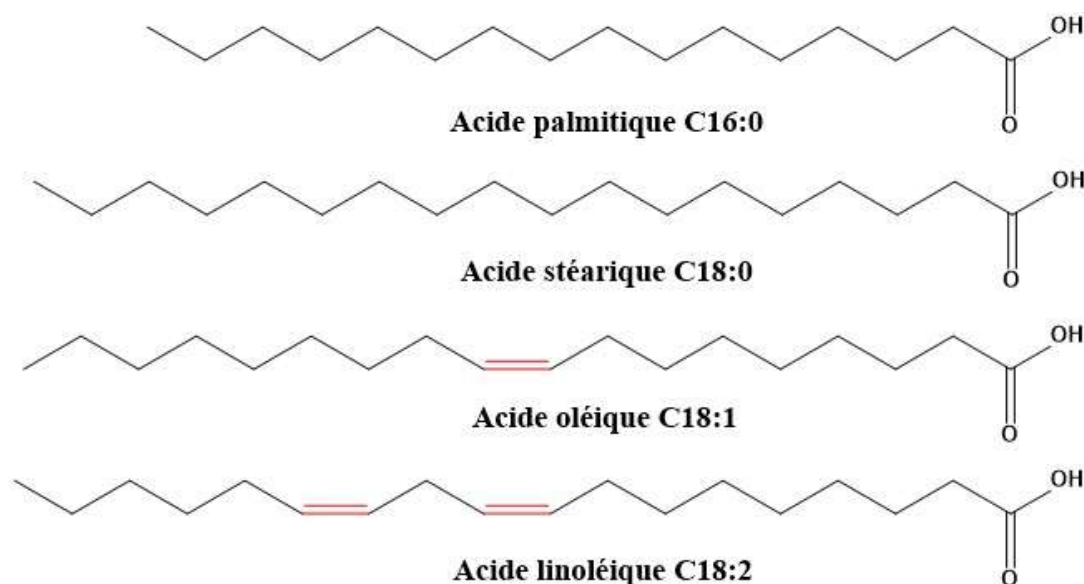


Figure 5: Structures chimiques des principaux acides gras.

Tableau 4: Composition en acides gras de l'huile d'argane (Mechqoq *et al.*, 2021).

Extraction	AG %			
	AO	AL	AP	AS
Artisanal	47,66 ± 0,56	32,96 ± 0,76	12,26 ± 0,19	5,55 ± 0,42
Mécanique	46,05 ± 3,05	32,65 ± 3,55	13,25 ± 1,75	5,75 ± 1,45
Par solvant	46,05 ± 0,85	33,10 ± 1,50	13,70 ± 0,20	5,60 ± 1,20
AG : Acide gras ; AO, acide oléique ; AL, acide linoléique ; AP, acide palmitique. AS, acide stéarique				

Les acides insaturés confèrent à l'huile d'argane des très bonnes qualités diététiques. Ces acides d'isométrie géométrique *cis*, sont les composés majeurs de l'huile d'argane « vierge » pour cette raison, elle ne présente aucun problème au niveau de la digestion et de l'assimilation par l'organisme humain. La présence d'acide gras d'isométrie géométrique *trans* dans les huiles d'argane « vierges », propres à la consommation, est l'indication de la présence frauduleuse d'huile raffinée. Pour cela, sa teneur ne doit pas dépasser 0,05 % (Abdenour *et al.*, 2017; El Monfalouti *et al.*, 2020).

Tableau 5: Composition en acides gras des huiles végétales a: (SNIMA, 2003) b : (CODEX, 2019) c : (COI, 2019).

	Argane ^a	Tournesol ^b	Olive ^c	Soja ^b	Colza ^b
Acide palmitique	11,5 - 15,0	5 – 8	7,5 – 20	8 – 13	4 – 5
Acide stéarique	4,3 - 7,2	4 – 6	0,5 – 5	3 – 6	1 – 2
Acide oléique	43,0 - 49,1	15 - 25	55 – 83	17 – 26	55 - 62
Acide linoléique	29,3 - 36,0	62 - 70	2,5 – 21	50 – 62	18 - 22
Acide linolénique	< 0,1	ND - 0,3	< 1	4,5 - 11,0	5 - 13

2. Composés minoritaires de l'huile d'argane

L'huile d'argane contient une faible teneur de l'insaponifiable ($\leq 1,1$ %). Elle est constituée généralement des composés nobles (6,5 % et 37,5 %) tels que les caroténoïdes (37 %), les tocophérols (7,5 %) dotés d'activité provitamine E, et jouant un rôle important dans la stabilité de l'huile en cours de stockage ou de traitements culinaires, les alcools triterpéniques (20 %), les stérols (29 %) et les xanthophylles (6,5 %) (Badreddine, 2016).

2.1. Caroténoïdes

Les caroténoïdes présents dans l'huile d'argane sont essentiellement les xanthophylles avec une teneur de (500 mg/kg), responsables à la coloration rougeâtre de l'huile. L'huile d'argane est pauvre en provitamine A (β -carotène) qui est un précurseur de la vitamine A et l'analyse de la provitamine A dans l'huile d'argane sous forme de trans- β -carotène était négative (Badreddine, 2016; Morin & Pagès-Xatart-Parès, 2012).

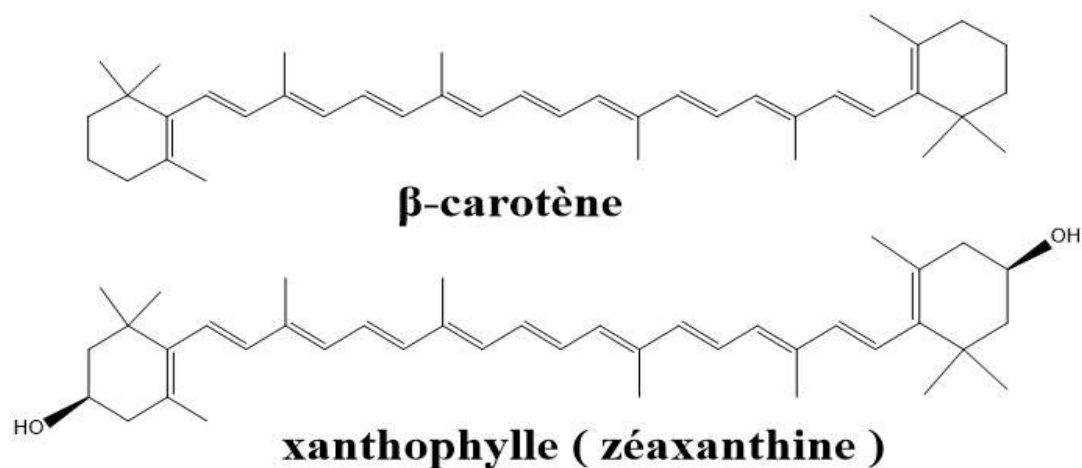


Figure 6: Structure chimique du β-carotène et xanthophylle.

2.2. Tocophérols

Les tocophérols (**Figure 7**) jouent un rôle très important autant que nutriments liposolubles essentiels, ils sont employés comme des antioxydants dans le corps humain. Ces composés ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme ; ils sont des apports externes. Le α-tocophérol (vitamine E) existe dans certains produits alimentaires comme les huiles végétales, les noix, les germes de blé, la laitue et beaucoup de fruits et de légumes. Ce type possède la plus grande activité antioxydante par rapport à les autres types (α -tocophérol > β -tocophérol > γ -tocophérol > δ -tocophérol) ([Badreddine, 2016](#); [Borel et al., 2013](#); [Cardenas & Ghosh, 2013](#)).

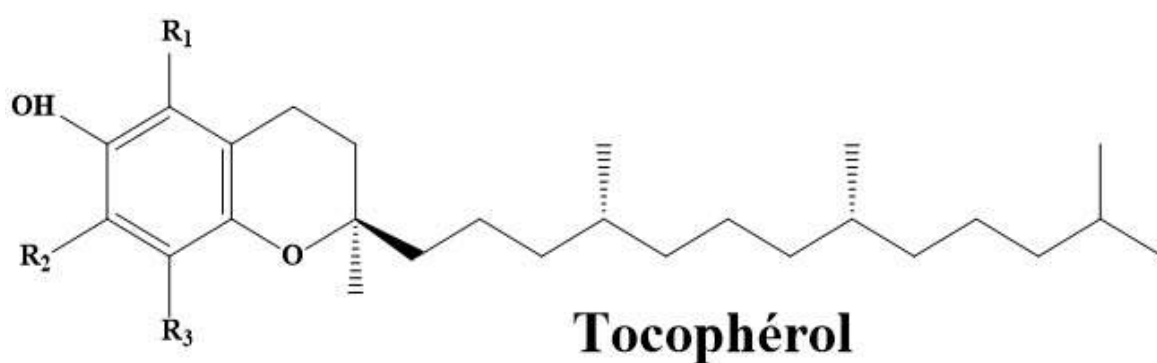


Figure 7: Structure chimique du tocophérol.

Tableau 6: Composition chimique du tocophérol.

Tocophérol	R ₁	R ₂	R ₃
Alpha-Tocophérol	CH ₃	CH ₃	CH ₃
Béta-Tocophérol	CH ₃	H	CH ₃
Gamma-Tocophérol	H	CH ₃	CH ₃
Delta-Tocophérol	H	H	CH ₃

La teneur en tocophérols de l'huile d'argane (600 à 900 mg/kg) est supérieure à celle de l'huile d'olive (50 à 300 mg/kg) et de l'huile de noisette (300 à 550 mg/kg) (**Tableau 7**). En particulier, l'huile d'argane contient des taux élevés en γ -tocophérol (85 %), considéré comme protecteur contre les radicaux libres ([Lotfi et al., 2015](#); [El Monfalouti et al., 2020](#)).

Tableau 7: Teneur en tocophérols de l'huile d'argane a: (SNIMA, 2003) b :(CODEX, 2019) c :(COI, 2019).

	Huiles Végétales				
Tocophérols [mg/kg]	Argane ^a	Tournesol ^b	Colza ^b	Soja ^b	Olive ^c
Alpha-Tocophérol	24 – 65	400 - 1090	100 – 386	9 - 352	63 - 227
Béta-Tocophérol	1 – 3	10 – 35	≤ 140	≤ 36	0 - 2
Gamma-Tocophérol	810 – 920	3 – 30	189 – 753	89 - 2307	5 - 15
Delta-Tocophérol	62 – 128	≤ 17	≤ 22	154 - 932	-
Tocophérols Totaux [mg/kg]	600 - 900	400 - 1600	450 – 1120	430 - 2680	68 - 244

2.3. Polyphénols

L'huile d'argane contient quatre polyphénols : l'acide vanillique, l'acide syringique, l'acide férulique (glycosyle) et le tyrosol (**Figure 8**). Avec une prédominance de l'acide férulique (3,15 mg/kg) (**Tableau 8**). Sa teneur dans cette huile (3,263 mg/kg) est inférieure à celle de l'huile d'olive (793 mg/kg), en revanche elle est supérieure à celle des autres huiles végétales vierges. Généralement les phénols simples sont présents en faible concentration dans l'huile alimentaire et presque négligeable dans l'huile cosmétique. Les propriétés pharmacologiques de l'huile d'argane sont généralement attribuées à ses composés phénoliques

(Ahlem, 2015.; Drouche *et al.*, 2021).

Tableau 8: Composés phénoliques de l'huile d'argane (El Monfalouti, 2013).

Composés phénoliques	Teneur (µg/Kg)
Acide Vanillique	67
Acide Syringique	37
Acide Ferulique	3147
Tyrosol	12
Total	3263

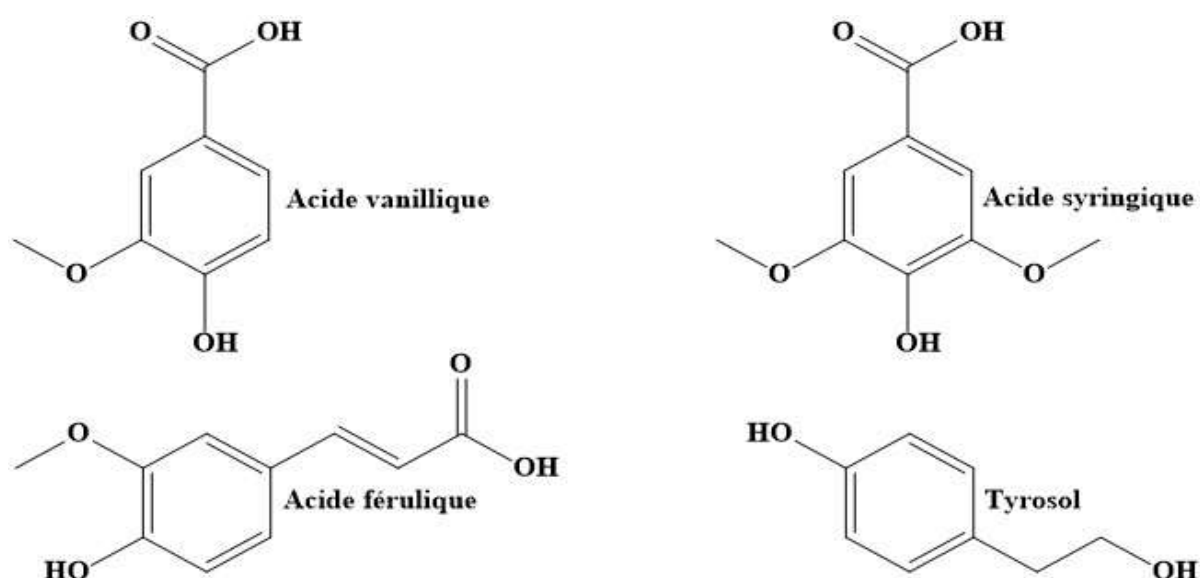


Figure 8: Composés phénoliques de l'huile d'argane (Agouzzal, 2019).

2.4. Alcools Tri-terpènes

L'huile d'argane contient cinq alcools tri-terpéniques (**Figure 9**). Il s'agit du lupéol (7,1 %), le butyrospermol (18,1 %), le tirucalli (27,9 %), le β -amyrine (27,3 %) et le 24-méthylène cycloartanol (4,5 %), ainsi que deux méthylstéroïls : le 4- α -méthylstigmasta-7,24-28-diène-3-ol ou le citrostadiénol (3,9 %) et le cycloeucalénol (< 5 %) à des concentrations entre 170 et 200 mg/100g d'huile. Tandis que l'huile d'olive contient deux alcools tri-terpéniques (érythrodiol et uvaol) à des concentrations entre 100 à 150 mg/100g d'huile (**Tableau 9**)

(Gharby, 2012; Metougui, 2017).

Tableau 9: Teneur tri-terpène de quelques huiles végétales (Gharby, 2012).

Huile	Argane	Olive	Tournesol	Colza	Sésame
Tri-terpène (mg/100g)	170 - 200	100 - 150	100	76 – 108	180

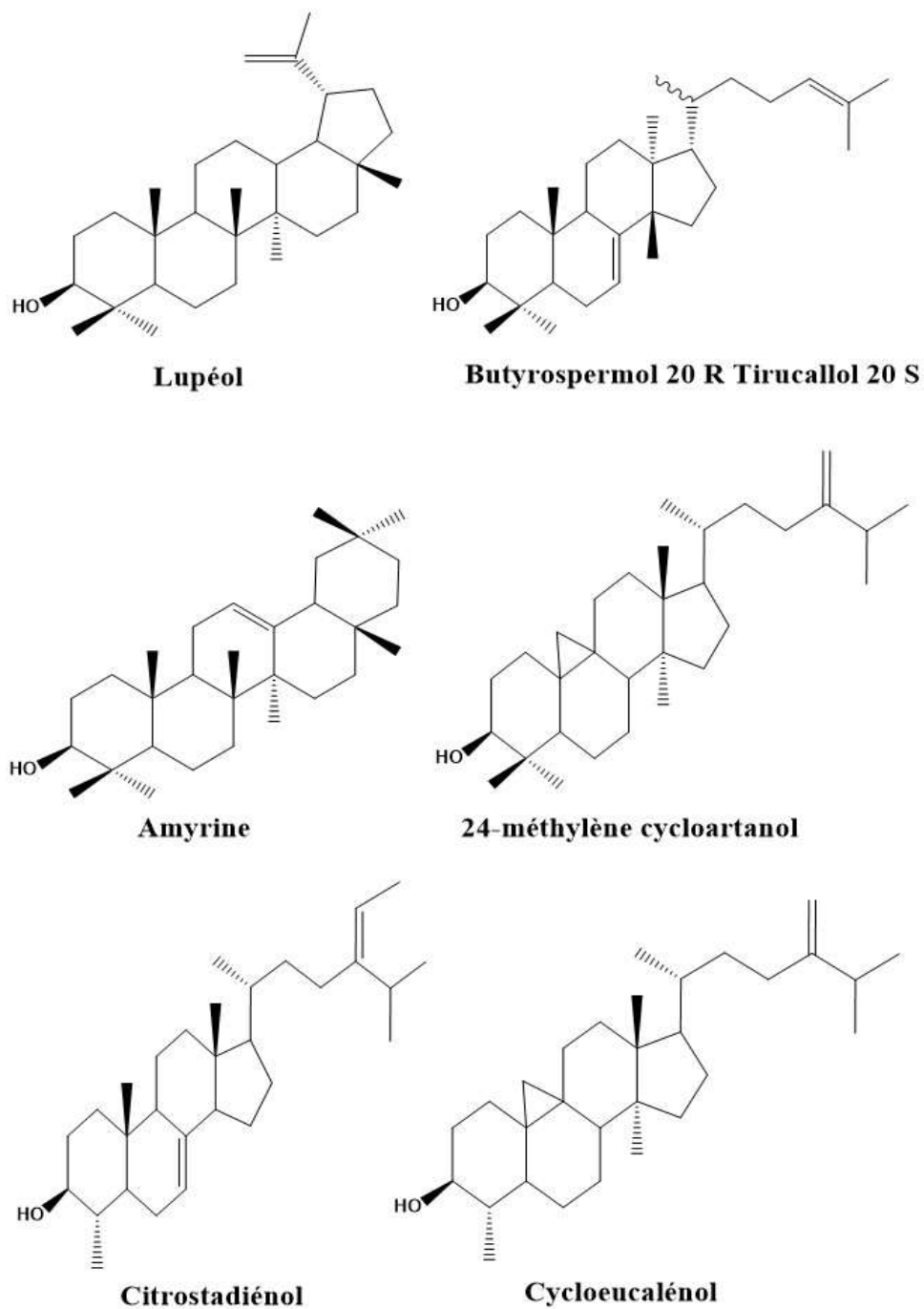
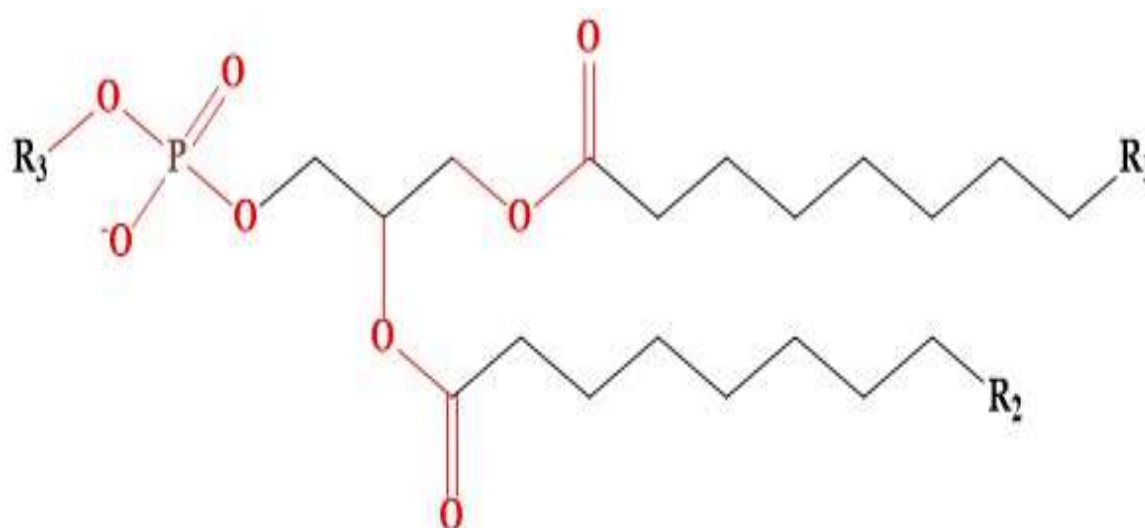


Figure 9: Structures chimiques des alcools tri-terpènes.

2.5. Phospholipides

Les phospholipides sont des composés naturels présents dans les huiles végétales, constitués d'une molécule de glycérol estérifiée en 1 et 2 par des AG et en 3 par un acide phosphorique, lui-même associé à un sucre (inositol) ou une amine (phosphatidylcholine (lécithine), phosphatidyléthanolamine et phosphatidylsérine) (**Figure 10**). Ces sont des principaux lipides polaires présents dans les membranes animales mais également dans certaines membranes végétales. Ils peuvent contribuer à une amélioration de la stabilité oxydative des huiles en agissant en synergie avec d'autres antioxydants présents dans les huiles végétales. Les teneurs en phospholipides dans les huiles brutes dépendent du mode de trituration employé et de la matière première (**Fabre,2019; Benslimane,2020**).



Phospholipide

(R₁ et R₂ sont des chaînes carbonées. R₃ est un groupement polaire qui détermine la nature du phospholipide).

Figure 10: Représentation générale d'un phospholipide.

2.6. Stérols

Les stérols sont présents dans les huiles végétales, ces sont des composés tétra-cycliques comportant généralement 27, 28 ou 29 atomes de carbone (**Elhaidag, 2020**). Quatre principaux stérols ont été isolés de l'huile d'argane, le spinastérol (34,0 - 44,0%), le schottenol (44,0 - 49,0 %) (**Figure 11**), le (3 β ,22E, 24S)-stigmasta-8,22-dièn-3-ol, et le (3 β ,24Z)-stigmasta-7,24-28-dièn-3-ol(ou -7-avénastérol) (**Tableau 10**) (**El Abbassi et al., 2014**).

Tableau 10: Composition en stérols des huiles végétales (SNIMA,2003) b :(CODEX, 2019) c :(COI, 2019).

	Argane ^a	Olive ^c	Soja ^b	Tournesol ^b	Colza ^b
Cholestérol (%)	< 0,4	< 0,5	0,2 - 1,4	≤ 0,4	≤ 0,4
Brassicastérol (%)	< 0,1	< 0,1	≤ 0,3	-	5,0 - 13,0
Campestérol (%)	< 0,4	< 4,0	15,8 - 24,2	6,5 - 13,0	24,7 - 38,6
Stigmastérol (%)	-	< camp	14,9 - 19,1	6,0 - 13,0	0,2 - 1,0
Stigma-8-22-dien-3-ol (%)	3,2 - 5,7	-	-	-	-
Schotténol (%)	44,0 - 49,0	-	-	-	-
β-sitostérol (%)	-	-	47 - 60	50 – 70	45,1 - 57,9
Spinastérol (%)	34,0 - 44,0	-	-	-	-
Δ5-avénastérol (%)	-	-	1,5 - 3,7	≤ 6,9	2,5 - 6,6
Δ7-stigmastérol (%)	-	< 0,5	1,4 - 5,2	6,5 - 24,0	≤ 1,3
Δ7-avénastérol (%)	4,0 - 7,0	-	1,0 - 4,6	3,0 - 7,5	≤ 0,8
Stérols totaux (mg/kg)	170 - 250	> 1 000	1800 - 4500	2400 – 5000	4500 – 11300

L'huile d'argane est également riche en phytostérols qui ont une activité importante et dont l'incorporation dans un régime alimentaire est censée offrir une prévention du cancer (El Monfalouti *et al.*, 2020).

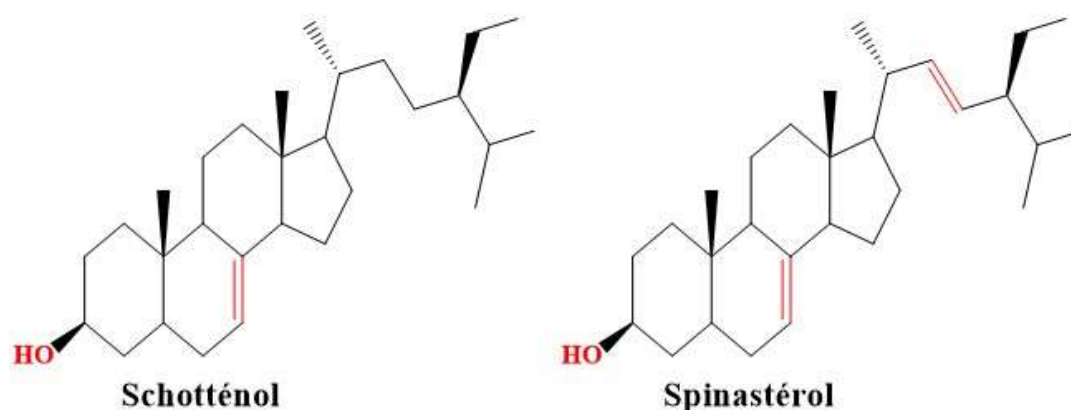


Figure 11: Structure chimique des deux principaux stérols de l'huile d'argane.

IV. Vertus de l'huile d'argane

L'huile d'argane possède plusieurs propriétés très intéressantes, ce qui lui confère la particularité d'avoir des vertus alimentaires, cosmétiques et médicinales.

1. Alimentaires

L'huile d'argane est utilisée depuis des siècles comme aliment, Cette huile a une longue, importante et savoureuse lignée au Maroc. Elle est utilisée pour la cuisson du tajine, du couscous, de la salade et d'autres plats. Elle peut être servie seule comme trempette pour le pain au petit déjeuner ou en combinaison avec du miel, du beurre, ou encore avec des amandons mixées pour faire "Amlou". Sa saveur est similaire à celle du beurre de cacahuète. Associé à l'avoine, il est considéré comme un bon repas pour les bébés et les enfants. Les consommateurs d'huile d'argane ont des niveaux plus bas de plasma LDL et de cholestérol par rapport aux non-consommateurs ([El Abbassi et al., 2014](#)).

2. Cosmétiques

L'utilisation de l'huile d'argane pour des fins cosmétiques est une source de motivation à certains laboratoires afin de l'incorporer dans les produits cosmétiques. L'huile d'argane est devenue plus demandée par l'industrie cosmétique et intégrée dans la composition de certains savons, shampoings et crèmes ([Kobi & Oukassi, 2019](#)).

L'huile d'argane cosmétique apparaît sur le marché à grand renfort de publicité mais également des recherches scientifiques validant ses propriétés revendiquées ou empiriquement observées ([Gharby et al., 2021](#)).

3. Médicinales

L'huile d'argane possède des vertus naturelles susceptibles de soigner plusieurs maladies comme :

- ❖ Les maladies cardiovasculaires grâce à son activité hypocholestérolémiante, l'ingestion de cette huile aide de baisser le taux de cholestérol au bout d'un mois de traitement, également qu'une baisse en triglycérides ([Rahmouni, 2016](#)).
- ❖ Le diabète car l'huile d'argane a un effet anti hyperglycémiant sur les diabétiques normaux. Cet effet était, en partie, dû à l'inhibition de l'absorption de l'intestin de glucose ([Agouzzal, 2019](#)).
- ❖ Le cancer de la prostate, la richesse de l'huile d'argane en tels composés (les carotènes, les

polyphénols et les vitamines) pourrait avoir une action antiproliférative qui va jouer un rôle très important dans la prévention de cette maladie ([Badreddine, 2016](#)).

V. Production et Consommation

1. Production

Vraiment très difficile d'obtenir des chiffres fiables de production moyenne par arbre ou par hectare. La production varie aussi très largement selon les conditions climatiques de l'année de récolte ainsi que de l'année précédente : il se passe en effet plus d'un an entre la floraison et la chute du fruit mûr. Actuellement, la production d'huile d'argane est estimée à 5640 t par an ([MOROCCO FOODEX, 2022](#)).

2. Consommation

L'huile d'argane est traditionnellement utilisée dans l'alimentation des populations au sud du Maroc et dans des préparations à base d'huile d'argane qui sont recommandées dans la pharmacopée marocaine pour traiter des maladies de peau ([Kadda & Belabed, 2021](#)).

Les populations berbères consomment l'huile d'argane quasi quotidiennement. Cette habitude a permis, depuis toujours, à ces populations vivant souvent dans des zones pauvres et difficiles de satisfaire en totalité leur demande métabolique en besoins lipidiques. Maintenant, les plus grands chefs des meilleurs de restaurants étoilés l'ont maintenant adoptée en assaisonnement pour son goût subtil de noisette et son incomparable onctuosité. Elle entre dans des recettes originales de salades et de plats délicats. En ce qui concerne les statistiques jusqu'à maintenant il n'y a pas des données scientifiques sur les statistiques de la consommation annuelle de l'huile d'argane ([Charrouf & Guillaume, 2007](#)).

VI. Contrôle qualité de l'huile d'argane

Les analyses physicochimiques et sensorielles de l'huile d'argane sont très importantes pour assurer la qualité de cette huile afin de satisfaire les besoins exigés par les consommateurs.

1. Analyses physico-chimiques

La détermination de la qualité de l'huile d'argane se repose sur des paramètres physicochimiques qui sont fixés par la norme marocaine (**Tableau 11**) (SNIMA, 2003).

Tableau 11: Critères physico-chimiques de l'huile d'argane.

Paramètres	Huile d'argane			
	Extra vierge	Vierge fine	Vierge courante	Vierge lampante
Acidité [%]	≤ 0,8	≤ 1,5	≤ 2,5	> 2,5
IP [mEq O ₂ /kg]	≤ 15	≤ 20	≤ 20	non limité
K 270 nm	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,45	non limité
K* 270 nm	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	non limité
Δ K	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,01	non limité
* après passage sur l'alumine				

1.1. Acidité

L'acidité libre exprimée en pourcentage d'acide oléique permet à la fois la classification de l'huile d'argane, et le renseignement sur son état d'altération (Gharby *et al.*, 2014).

L'huile d'argane contient essentiellement les acides gras naturels sous forme des triglycérides. L'hydrolyse de ces triglycérides libère les acides gras, dont leur dosage permet d'avoir une idée sur l'état d'avancement de la dégradation de l'huile (Gharby *et al.*, 2013).

1.2. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde (IP) permet d'évaluer les premières phases de l'oxydation. Cet indice est exprimé en milliéquivalents d'oxygène par kg d'huile, il permet de déterminer la teneur de l'huile en produits d'oxydation primaires (Drinić *et al.*, 2020; Kharbach *et al.*, 2021).

IP d'un corps gras est le nombre de microgrammes du peroxyde actif contenu dans un gramme de l'huile. Il est déterminé par le dosage en retour avec une solution d'iodure de potassium saturé (Gharby *et al.*, 2013).

1.3. Détermination de l'extinction spécifique

Ce paramètre permet d'apprécier le degré et le stade d'oxydation de l'huile par spectrophotométrie dans le domaine des UV à deux longueurs d'ondes distinctes (232 nm et 270 nm) (Abdenour *et al.*, 2017).

Le E_{232} est une mesure des produits d'oxydation primaires, les diènes conjugués, qui sont formés par un déplacement de l'une des doubles liaisons tandis que E_{270} est augmenté par les triènes conjugués (les produits d'oxydation primaires de l'acide linoléiques) et les produits d'oxydation secondaires, tels que les aldéhydes et les cétones. Les deux paramètres spectrophotométriques ont augmenté pendant le chauffage. La majorité des produits d'oxydations primaires ont subi une oxydation supplémentaire pour cette raison la diminution de E_{232} était plus importants que celle de E_{270} pendant l'opération du chauffage (Gharby *et al.*, 2014).

1.4. Recherche des contaminants

La recherche des contaminants est l'un des multiples contrôles qui doivent être effectués sur les huiles. Les huiles végétales ont des valeurs limites fixées pour les métaux lourds, certaines mycotoxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les phtalates et les pesticides. Bien que l'analyse physico-chimique de l'huile d'argane reste une étape essentielle, mais n'est pas suffisante pour satisfaire les consommateurs, pour cela les caractéristiques organoleptiques (le goût, l'odeur et le couleur) doivent être prises en considération, car elles sont des critères essentiels pour un marketing alimentaire réussi et fait partie intégrante de l'évaluation de l'huile d'argane alimentaire (Gharby & Charrouf, 2022).

Tableau 12: Critères de contamination de l'huile d'argane (SNIMA, 2003).

Teneur	Huile d'argane			
	Extra vierge	Vierge fine	Vierge courante	Vierge lampante
Eau + Matières volatiles (% m/m)	$\leq 0,1$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	$\leq 0,3$
Impuretés insolubles (% m/m) dans l'éther de pétrole	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	$\leq 0,3$	$\leq 0,4$
Solvants halogènes chaque solvant détecté (mg/kg)	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$
Somme de solvants détectés (mg/kg)	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$

2. Analyses sensorielles

L'analyse chimique n'est pas suffisante pour décrire la qualité de l'huile d'argane pour cela la détermination de la qualité nécessite aussi une analyse sensorielle détaillée afin de mettre en évidence les différents attributs positifs et les défauts de certaines huiles d'argane (Boukyoud *et al.*, 2021).

Le but principal d'une dégustation de l'huile d'argane est la recherche et l'évaluation de tous les caractères de finesse, élégance, richesse, équilibre et typicité qui font la différence entre une huile commune et une huile de très bonne qualité. L'huile alimentaire qui est obtenue par pressage mécanique d'amandons torréfiés (HAPM) a présenté les meilleurs critères de qualité sensorielle (Gharby *et al.*, 2011).

Chapitre 2 : Généralités sur les plantes aromatiques et médicinales

Depuis les temps les plus anciens, les grandes civilisations ont eu recours aux plantes aromatiques et médicinales pour leurs propriétés thérapeutiques, cosmétiques, chimiques diététiques, pharmaceutiques, agro-alimentaires et industrielles (Toukali & Benouelha, 2020).

Ces plantes représentent un réservoir immense de composés potentiels attribués aux métabolites secondaires qui ont l'avantage d'être d'une grande diversité de structure chimique et ils possèdent un très large éventail d'activités biologiques (Briber & Amira, 2020).

Dans ce chapitre nous avons apporté un rappel bibliographique sur six plantes aromatiques et médicinales (PAMs) (Romarin, Origan, Thym, Armoise et Feuille de laurier) en citant leur description botanique, leur composition chimique, leurs exigences écologiques ainsi que leurs usages traditionnels.

I. Botanique des PAMs

1. Taxonomie

La taxonomie des PAMs se base sur des caractéristiques végétales qui permettent de déterminer leurs positions dans le règne végétal tout entier en lui contribuent tous les éléments nécessaires de la classification botanique (division, classe, sous-classe, ordre, famille, genre et espèce) (Figure 12).

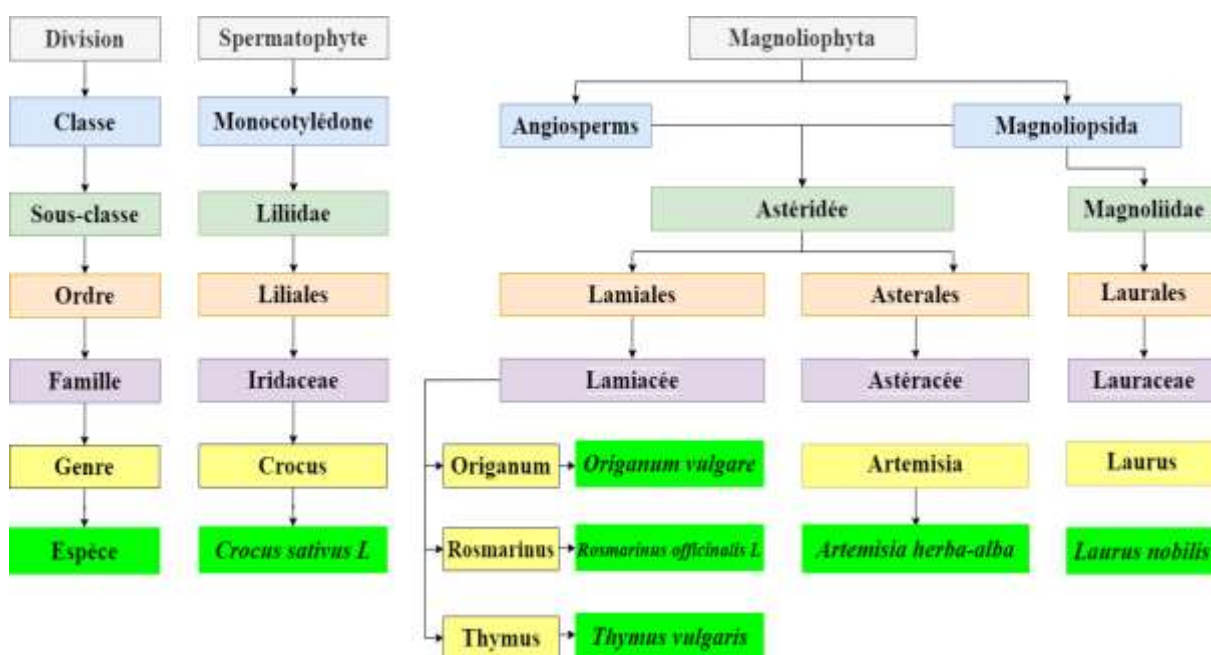


Figure 12: Taxonomie des plantes aromatiques et médicinales.

Chaque plante aromatique et médicinale est connue par certaines informations culturelles qui facilitent leur identification. On les cite comme suivant :

- L'origan (*origanum vulgare*) désignée en arabe sous le nom de « Zaatar » et « Azoukni » en tamazight. La floraison de cette plante commence au début du mois Mai (Napoli et al., 2020).
- Le romarin (*Rosmarinus officinalis L*) est une plante ornementale connue en France sous le nom rose marine, « Yazir » dans la langue vernaculaire marocaine ou « Iklil al JBAL » en Arabe classique (Zrira, 2017). Cette plante fleurit au printemps(Asadi, 2022).
- Le thym (*Thymus vulgaris*) connu sous le nom « Zaitra » dans la langue vernaculaire marocaine (Al-Asmari et al., 2017) et « Tazoukennit » en langue tamazight (Belhaj et al., 2021). Cette plante commence la floraison au début de l'été (juin et juillet) (Akbar, 2020).
- L'armoise (*Artemisia herba-alba*) désignée en arabe sous le nom de « Chih » (Jasim & El-Zayat, 2019) . La floraison de cette plante commence de septembre à décembre mais le plein développement commence à la fin de l'été avec la tige à poils laineux (Mohammed et al., 2021).
- La feuille de laurier (*Laurus nobilis L*) connue sous le nom local de « Wrak sidna Moussa » (Najem et al., 2020). Sa floraison commence en avril et les fruits sont mûrs en septembre (Nadeem et al., 2018).

2. Etude botanique

1.1 Appareil végétatif

Dans cet axe nous donnerons une brève description de l'appareil végétatif pour certaines plantes aromatiques et médicinales.

a. Origan

Au niveau du plan botanique, l'origan (*Origanum vulgare*) est une plante vivace à base de bois et à tiges herbacées (Lombrea et al., 2020), elle atteint une hauteur de 20 à 90 cm et se caractérise par des feuilles ovoïdes de la longueur entre 1 et 4 cm et de la largeur de 0,5 à 2,5 cm, l'extrémité la plus large étant à la base, avec des bords lisses ou très peu dentés et des extrémités de feuilles allant de la forme aiguë à la forme arrondie. L'inflorescence est multiflore, avec des fleurs groupées en épis latéraux ou terminaux courts et denses (Skoufogianni et al., 2019).

La corolle (anneau de pétales réunis) est blanche à violacée, mesurant 0,4 à 0,8 mm de long, et possède deux lèvres. Le calice (anneau des sépales réunis) est à cinq dents. Chaque fleur possède quatre étamines (parties mâles). Chaque fruit a quatre petites noix (unités à une

seule graine) ([Lombrea et al., 2020](#)).

b. Romarin

Le *Rosmarinus officinalis* est un arbuste très aromatique, la hauteur de cette plante peut atteindre 1,5 m, les feuilles sont persistantes, très ramifié, très feuillu, coriaces, sessiles, linéaires, enroulées par les bords, vertes et agrestes au-dessus, blanches tomentose en dessous, elles mesurent 2-4 cm de hauteur et 0.2-0.5 cm de largeur ([Asadi, 2022](#)).

Les fleurs sont bleu pâle ou blanchâtres, à pédoncule très petit. Petites inflorescences axillaires et racèmes terminaux, cloche du calice bilabié, poudreuse, gorge nue, lèvre supérieure ovale pleine, les corolles à 2 lobes inférieurs lancéolés, avec un tube saillant à une lèvre de casque plus grande, fendue, les 3 lobes inférieurs, le moyen large et concave 2 étamines saillantes filets, insérées dans le sillon de la corolle, adaptées à la base d'une petite dent. Fruits : akènes trins, lisses ([Zrira, 2017](#)).



Figure 13: *Rosmarinus officinalis* ([Asadi, 2022](#)).

c. Thym

Le *T. vulgaris* est un sous-arbrisseau érigé et parfois décombrant, d'environ 1- 4 mm, avec une base ligneuse et des caractéristiques herbacées dans la zone supérieure (Silva et al., 2021).

Cette plante aussi est considérée comme une plante aromatique, pérenne, à croissance droite. Les feuilles sont très petites, opposées, de couleur verte grisâtre, oblongues lancéolées à linéaires et glanduleuses. Elles sont tachées de glandes. Elles mesurent jusqu'à 5 - 10 mm de long et 0,8 - 2,5 mm de large, avec des bords recourbés. Les fleurs sont de couleur violet clair à deux lèvres et possèdent un calice glanduleux et poilu. Elles mesurent jusqu'à 5 mm de long, avec des bractées foliaires disposées en verticilles lâches, en grappes axillaires sur les branches ou en grappes terminales ovoïdes sur les ramifications ou en têtes terminales ovales ou arrondies (Patil et al., 2021).



Figure 14: *Thymus vulgaris* (Kosakowska et al., 2020).

d. Armoise

Artemisia herba-alba est un arbuste vivace de couleur verte, de 20 à 50 cm de long, avec des feuilles petites et velues (Mohammed *et al.*, 2021). Aussi c'est une plante herbacée aux tiges ligneuses et ramifiées de la longueur 30-50 cm, très feuillues avec une souche épaisse. Les feuilles sont petites, sessiles, pubescentes et d'aspect argenté. Les fleurs sont groupées en grappes, avec des têtes très petites et ovoïdes. Les bractées de l'involucre recouvrent l'orbe et sont pubescentes à l'extérieur. Le réceptacle floral est nu avec 2 - 5 fleurs jaunâtres par tête, toutes hermaphrodites (Zrira, 2017; Hechiche *et al.*, 2019).

e. Feuille de laurier

Le laurier est un arbuste ou un petit arbre (2 - 20 m) avec des rameaux élancés, glabres et des feuilles étroitement oblongues lancéolées et coriaces. Il est dioïque, avec des fleurs mâles et femelles sur des plantes séparées. Chaque fleur est jaune-vert pâle, d'environ 1 cm de diamètre, et elles sont portées par paires à côté d'une feuille. Les fleurs mâles ont 8-12 étamines avec deux glandes à la base. Les fleurs femelles ont 2 - 4 staminodes. Les fruits des femelles mûrissent à l'automne sous forme de drupes ovoïdes (10 - 15 mm), noirs et brillants, avec une seule graine (Alejo-Armijo *et al.*, 2017).

Une autre étude trouve que le laurier contient plusieurs branches, à feuilles caduques, et une écorce lisse, mince de couleur brune. Ses feuilles sont alternes, lancéolées, et bipennées composées avec des marges lisses ou pointues (29-30 cm) de long contenant 24 folioles qui sont lancéolées, de longueur entre 4,8 et 4,9 cm et de largeur entre 1,8 et 7 cm avec pétiole de 0,5 cm de long. Les fleurs sont ébréchées, quadrilobées, blanches, parfumées et petites, avec huit à douze étamines mâles et deux à quatre staminodes femelles. Le calice est pubescent ayant cinq fentes et cinq pétales avec des glandes glabres, libre et blanc (Batool *et al.*, 2020).

II. Exigences écologiques

Tableau 13: Conditions écologiques des PAMs (Kuete, 2017; Patil et al., 2021; Skoufogianni et al., 2019; Zrira, 2017).

<i>Rosmarinus officinalis L</i>	- Nécessitant lumière et chaleur. - Résistant à la sécheresse. - S'acclimatant particulièrement dans les zones arides supérieures ou les zones subhumides à fraîches. - Préférant les sols calcaires et bien drainés. - Vivant dans les zones ou régions subhumides très sèches.
<i>Origanum vulgare</i>	- Poussant à différentes altitudes, des zones côtières aux zones montagneuses, sur des terrains ondulés à vallonner. - Sols variés avec différents statuts de fertilité. - Résistant à des températures plutôt basses.
<i>Laurus nobilis</i>	- Sols sablonneux légers, limoneux moyens et lourds. - Sols bien drainés. - Sols au pH acide, neutre et alcalin. - Poussant à l'ombre ombre ou sans ombre. - Préférant les sols secs ou humides. - Tolérant des forts vents.
<i>Artemisia herba-alba</i>	- Préférant les zones bioclimatiques arides et semi-arides. - Poussant sur différents types de sols, généralement riches en calcaire. - Fuitant les sites où les eaux de pluie s'accumulent et stagnent. - Préférant les climats chauds et secs.
<i>Thymus vulgaris</i>	- Poussant dans les zones arides, tempérées et non ombragées et dans des conditions chaudes et arides avec un sol bien drainé, - Résistant aux gelées profondes et peut-être sur les hauts plateaux de montagne.

III. Compositions chimiques et usage traditionnel des PAMs

Plusieurs études ont été réalisées pour déterminer la composition chimique des plantes aromatiques et médicinales, cette partie présentera une synthèse bibliographique sur la phytochimie des plantes suivantes : Origan, Romarin, Thym, Armoise et Feuille de laurier.

1. Origan (*Origanum vulgare*)

Les parties aériennes de *l'Origanum vulgare* contiennent des huiles essentielles de composition variable, ainsi qu'une diversité de flavonoïdes (hyperoside, isoquercitrine, rutine, quercitrine, quercétine et lutéoline), de tanins (8%), de glycosides phénoliques, des stérols et de grandes quantités de terpénoïdes (Pezzani *et al.*, 2017). Tandis que l'acide rosmarinique (1,3) est le principal acide phénolique et les autres en faible quantité tels qu'acides gentisque, chlorogénique, acides p-coumarique sous forme des traces (Lombrea *et al.*, 2020; Oniga *et al.*, 2018). La présence d'acide caféique, d'acide protocatéchuique, d'acide vanillique et d'acide o-coumarique a également été signalée (Kosakowska & Czupa, 2018).

Les utilisations de l'origan en ethnomédecine ont été liées à des propriétés stomachiques, carminatives, expectorantes et emménagogues (Oniga *et al.*, 2018). Il a été indiqué sous forme de teintures ou de tisanes dans les maladies respiratoires et digestives, mais aussi sous forme de pommades pour soigner les blessures (Lombrea *et al.*, 2020). Ses utilisations traditionnelles incluent les indigestions, la diarrhée, la toux et la bronchite (Veenstra & Johnson, 2019). Elle a également été utilisée comme remède contre le prurit, les maux de tête et la dépression (Fikry *et al.*, 2019).

2. Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

Rosmarinus officinalis L contient principalement 1 à 2,5 % d'huile essentielle, ainsi que des acides polyphénocarboxyliques (acide rosmarinique - un ester de l'acide caféique, avec des acides α hydroxydihydro caféique, chlorogénique et néochlorogénique), des substances amères à structure tricyclique du type diterpénoïde (camosolpicrosalvin, acide carnosique, rosmanol, rosmadial, rosmaridiphénol), des triterpènes (acide ursolique, acide oléanolique, α -amyrine, β -amyrine, bétuline) (Maricica Colțun, Virginia Corcodel, 2017).

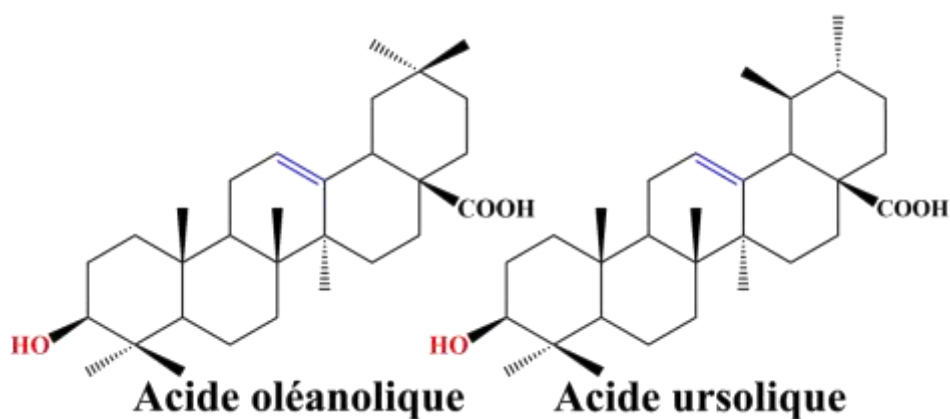


Figure 15: Deux principaux tri-terpènes de Romarin.

Flavonoïdes (genkwanine, lutéoline, diosmétine, apigénine, isoscutellaréine-7-O-glucoside et hespéridine). Acides phénols (acide rosmarinique) **Figure 16.** Aussi certaines études trouvent que cette plante riche en vitamine E ([Andrade et al., 2018](#); [Nieto et al., 2018](#); [Zrira, 2017](#)).

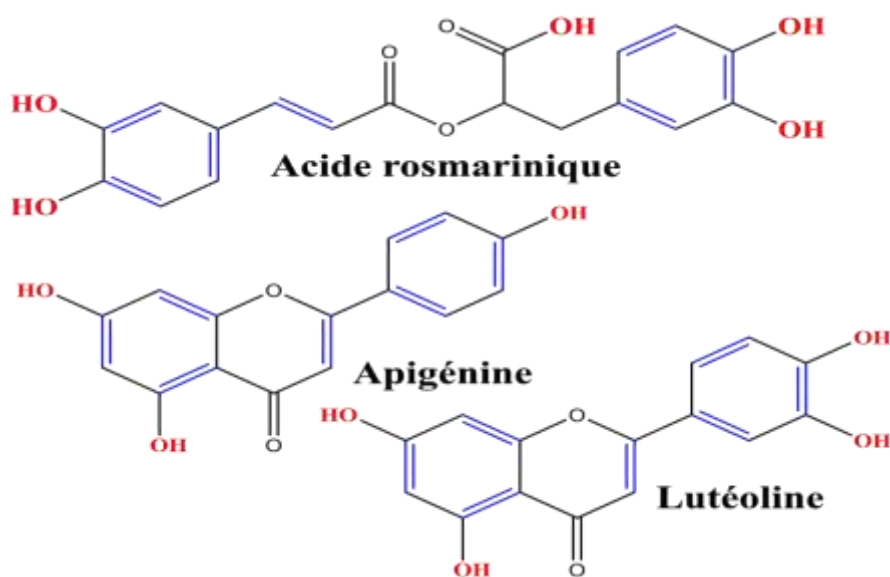


Figure 16: Flavonoïdes et acide phénolique de Romarin.

Le romarin était utilisé traditionnellement pour réduire les maux de tête, la tension, l'insomnie, la fièvre et les maladies du système respiratoire et également pour renforcer les fonctions de la mémoire. Elle était utilisée comme un stimulant cardiaque, un antiseptique puissant, antispasmodique, aromatique, carminative, emménagogue, stimulante nerveuse et pour soigner les rhumatismes et les pellicules ([Velamuri et al., 2020](#)).

Le *Rosmarinus officinalis* parmi les plantes utilisées pendant la pandémie de Covid-19 avec une fréquence de 47.9% ([Alami et al., 2020](#)).

Cette plante parmi des herbes les plus utilisées dans le processus d'aromatisation de l'huile d'olive car il présente de nombreux bénéfices pour la santé humaine et une valeur nutritionnel importante, notamment des effets antimicrobiens, antidiabétiques et des effets antioxydants (Soares *et al.*, 2020b).

3. Thym (*Thymus vulgaris*)

Le thym contient des concentrations élevées de phénols, dont le thymol « 5-méthyl-2-isopropylphénol » (12 - 61%) et le carvacrol « 5-isopropyl-2-méthylphénol » (0,4 - 20,6%), le 1,8-cinéole (0,2 - 14,2%), le p-cymène (9,1 - 22,2%), le linalol (2,2 - 4,8%), le bornéol (0,6-7,5%), l' α -pinène (0,9 - 6,6 %) et le camphre (0 - 7,3 %). Le carvacrol et le thymol sont les principaux composants phénoliques qui sont fortement responsables de son activité antioxydante (Komaki *et al.*, 2016).

En outre, cette plante contient les flavonoïdes tels que les dérivés de l'apigénine et de la lutéoline et les acides phénoliques tels que les acides cinnamique, carnosique et rosmarinique apportent une contribution importante à la capacité antioxydante des extraits de thym (Bistgani *et al.*, 2019).

Également, le thym contient des minéraux et des vitamines essentielles à une santé optimale. Ses feuilles sont l'un des sources les plus riches en potassium, fer, calcium, manganèse, magnésium et sélénium (Dauqan & Aminah, 2017).

Le Thymus vulgaris est principalement constitué d'une myriade de composés chimiques classés en composés phénoliques (créosol, thiophénol, l'acide quininique, loliolide). De même, certaines études ont identifié la présence d'acide rosmarinique, d'acide caféique, d'acide p-coumarique, d'acide gérannique, acide p-hydroxybenzoïque, acide gentisique, acide syringique et acide férulique, également en terpénoïdes, flavonoïdes, stéroïdes, alcaloïdes, tannins et saponines (Kuete, 2017; Patil *et al.*, 2021).

Thymus vulgaris est largement utilisé en médecine populaire dans le traitement de diverses maladies telles que les troubles gastro-entériques et broncho-pulmonaires, également cette plante est prescrite pour traiter les infections de la bouche, de l'estomac, de l'intestin et des voies respiratoires, ainsi que pour renforcer le cœur (Dauqan & Aminah, 2017). Comme il est utilisé comme boisson à la place ou avec le thé, ajouté à certains aliments pour leur donner une saveur acceptable (Zaharan *et al.*, 2022).

Les extraits de thym ont été utilisés dans la médecine traditionnelle pour le traitement de plusieurs maladies respiratoires comme l'asthme et les bronchites et pour le traitement d'autres pathologies grâce à plusieurs propriétés telles qu'antiseptique, antispasmodique, antitussif, antimicrobienne, antifongique, antioxydante et antivirale (Oliviero *et al.*, 2016).

L'étude de (Hamada, 2020) a rapporté que les composés du thym ont des fonctions essentielles dans la défense contre les pathogènes et peuvent avoir des effets non spécifiés sur l'infection par COVID-19.

4. Armoise (*Artemisia Herba-alba*)

Artemisia herba-alba est une plante riche en métabolites secondaires tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les lactones, les tanins et les huiles essentielles. Les investigations phyto-chimiques ont montré que ce genre est riche en sesquiterpènes, monotèrpenes, flavonoïdes et coumarines (El Alami *et al.*, 2016; Gacem *et al.*, 2020).

Au cours des dernières décennies, de nombreux chercheurs ont effectuait des analyses phytochimiques de *Artemisia herba-alba* dans plusieurs pays (Bourgou *et al.*, 2017; Younsi *et al.*, 2016). La déhydroleucodine, une lactone terpénoïde sesquiterpénique, que l'on trouve principalement dans les parties aériennes de l'*A. Herba-alba*, est responsable de ses propriétés médicinales (Abood *et al.*, 2017).

Divers composés volatils, tels que l'acétate de chrysanthényle, le chrysanthénol, l'acétophénone xanthocycline, le 1,8-cinéole, l' α - et β -thuyone, le terpinen-4-ol, le camphre, et bornéol sont aussi des constituants de cette plante (Mohammed *et al.*, 2021).

Depuis les temps anciens, l'extrait végétal d'*A. Herba-alba* a été utilisé comme médecine traditionnelle dans de nombreuses cultures car il possède de nombreuses activités pharmacologiques et biologiques, notamment des activités antidiabétique, antimicrobienne, antitumorale, antioxydante, insecticide et neurologique. Au Maroc, cette plante a été utilisée en tisane pour traiter l'hypertension et les troubles gastriques (Cheraif *et al.*, 2020; Mohammed *et al.*, 2021).

5. Feuille de laurier (*Laurus nobilis*)

Laurus nobilis contient des flavonoïdes polaires (kaempférol, apigénine, lutéoline et catéchine) et non polaires (quatre dérivés acylés du kaempférol), des lactones sesquiterpéniques, des alcaloïdes de l'iso-quinoléine et des acides phénoliques, en outre de nombreux chercheurs ont montré la richesse de ses feuilles en vitamine E (Stefanova et al., 2020; Zrira, 2017).

Par la technique de distillation à la vapeur, les feuilles fournissent environ 10-30 ml/kg (1-3%) de l'huile essentielle., dont les principaux constituants comprennent le 1,8-cinéole (30,8%), suivi de l'acétate d' α -terpinyle (14,9 %), l' α -terpinéol (8,0 %), le sabinène (7,9 %), le terpinène-4-ol (6,0 %), l' α -pinène (5,3 %), le β -pinène (3,6 %), le méthyleugénol (3,6 %) et le γ -terpinène (3,3 %) (AL-Samarrai et al., 2018; Brinza et al., 2021; Stefanova et al., 2020).

Les feuilles de *Laurus nobilis* sont généralement utilisées comme épices culinaires (dans les soupes, ragoûts, sauces...) et comme agent aromatisant dans l'industrie alimentaire. Les feuilles et les baies sont utilisées comme condiments aromatiques pour la préparation du poisson et de la viande. Elles sont également utilisées pour parfumer le vinaigre traditionnel et les conserves d'olives et de poivrons (Zrira, 2017).

Les fruits et les feuilles de *L. nobilis* ont été utilisés en traditionnelle pour les rhumatismes, les dermatites, les infections virales, antiseptique, hystérie, emménagogue, diurétique, stimulants généraux des sécrétions gastriques, carminatif, diarrhée et antidote dans les morsures de serpent depuis l'antiquité (Usmani et al., 2021).

En conclusion, nous avons choisi deux PAMs qui sont le thym et l'origan pour faire l'enrichissement de l'huile d'argane alimentaire et étudier son effet sur la qualité de cette huile.

Chapitre 3 : Oxydation des huiles végétales

À cause de leur richesse en acides gras insaturés, les huiles sont sujettes à l'oxydation. Cette oxydation contribue à la dégradation de la qualité du produit, de sa stabilité au stockage et de sa teneur en graisses essentielles. Elle est considérée comme une cause principale de la dégradation de l'huile au cours de leur production et de leur conservation. Cette dégradation oxydative était la principale cause de formation de produits indésirables (Indiarto & Qonit, 2020; Jimenez-Lopez *et al.*, 2020).

L'oxydation des lipides est un processus de formation de radicaux libres qui sont définis comme des molécules avec un ou plus d'électrons célibataires dans sa couche externe, ils sont des composés nocifs pour la santé et également ce processus permet de former d'hydroperoxydes, principalement ces produits sont obtenus à partir d'une réaction chimique entre les acides gras et l'oxygène (Indiarto & Qonit, 2020; Vishnoi *et al.*, 2018).

Le phénomène d'oxydation est généré par des radicaux libres, espèces chimiques neutres ou chargées, instables qui cherchent à récupérer un électron dans leur environnement pour être plus stable. Ces propriétés font que les réactions d'oxydation sont très rapides et se propagent en cascade. Ce phénomène peut résulter de plusieurs voies réactionnelles en fonction du milieu et des agents initiateurs (Bell, 2020; Césaire *et al.*, 2019) :

- **L'oxydation enzymatique** initiée par la lipoxigénase a surtout lieu dans les fruits crus, avant la transformation industrielle (récolte, transport, séchage et entreposage) ;
- **La photo oxydation** due à la lumière visible ou ultraviolette ;
- **L'auto oxydation** catalysée par la température (température élevée du milieu) et les ions métalliques (cuivre et fer).

I. Oxydation

La réaction entre les acides gras insaturés et l'oxygène permet d'augmenter l'oxydation (Indiarto & Qonit, 2020). Cette réaction est responsable de l'apparition d'odeurs et de saveurs pendant le stockage de l'huile (Suárez-Jiménez *et al.*, 2016).

II.Mécanisme d'oxydation

L'oxydation des huiles peut s'effectuer suivant différents mécanismes. Néanmoins, les produits de la réaction de l'oxydation sont quasiment les mêmes et sont indépendants du mécanisme (Gharby, 2012), dans ce qui suit, nous allons décrire et approfondir les différentes voies d'oxydation.

1. Photo-oxydation

La photo-oxydation est une voie de peroxydation lipidique initiée par des substances photo sensibilisatrices qui sont des molécules telles que les hémoprotéines, la riboflavine ou d'autres pigments. Lorsqu'elles sont exposées à la lumière visible ou ultraviolette, les doubles liaisons C = C sont déstabilisées par les rayonnements UV et réagissent encore plus facilement avec l'O₂ (Taoudiat, 2019).

Les photosensibilisateurs interviennent dans l'oxydation des lipides selon deux types de mécanismes. Selon le premier mécanisme : les molécules photosensibles réagissent dans leur état excité avec l'oxygène triplet auquel elles transfèrent leur énergie pour donner un oxygène singulet, ce dernier est très réactif et peut attaquer les acides gras insaturés pour former les hydro peroxydes (Dridi, 2016).



Dans un second mécanisme, la molécule photosensible dans son état excité agit comme les radicaux libres initiateurs et arrache un hydrogène de l'acide gras insaturé pour former un radical libre qui est capable de réagir avec la molécule d'oxygène dans son état fondamental (Dridi, 2016).



2. Oxydation enzymatique

Certaines enzymes qui se trouvent dans les cellules végétales sont biologiquement destinées à oxyder les lipides pour qu'ils soient utilisés. Lors de l'extraction de l'huile, ces enzymes se retrouvent en contact avec les acides gras et elles les oxydent (Bonnefont-Rousselot, 2020).

L'oxydation des lipides se produit par voie enzymatique principalement par l'action de la lipoxygénase, Elle agit spécifiquement sur les acides gras non estérifiés (Dridi, 2016; Gharby, 2012). La première étape de la catalyse consiste en l'abstraction stéréospécifique par l'enzyme d'un des deux atomes d'hydrogène du groupe méthylène central dans le système pentadiénique. Dans une seconde étape, le radical allylique formé lors de la première étape subit une isomérisation (n+2) ou (n-2) selon la région du substrat accessible à l'atome de fer du site catalytique de l'enzyme (Palmieri-Thiers, 2008).

Au cours de la dernière étape, l'oxygène moléculaire vient se fixer sur le radical pentadiénique pour former un radical hydroperoxydes (Dridi, 2016).

3. Auto-oxydation

La formation de radicaux libres à partir de l'oxydation des acides gras polyinsaturés à température ambiante. Un schéma général de l'oxydation des AGPI implique une phase d'initiation, de propagation et de terminaison (**Figure 17**) ([Suárez-Jiménez et al., 2016](#); [Yodkaew et al., 2017](#)).

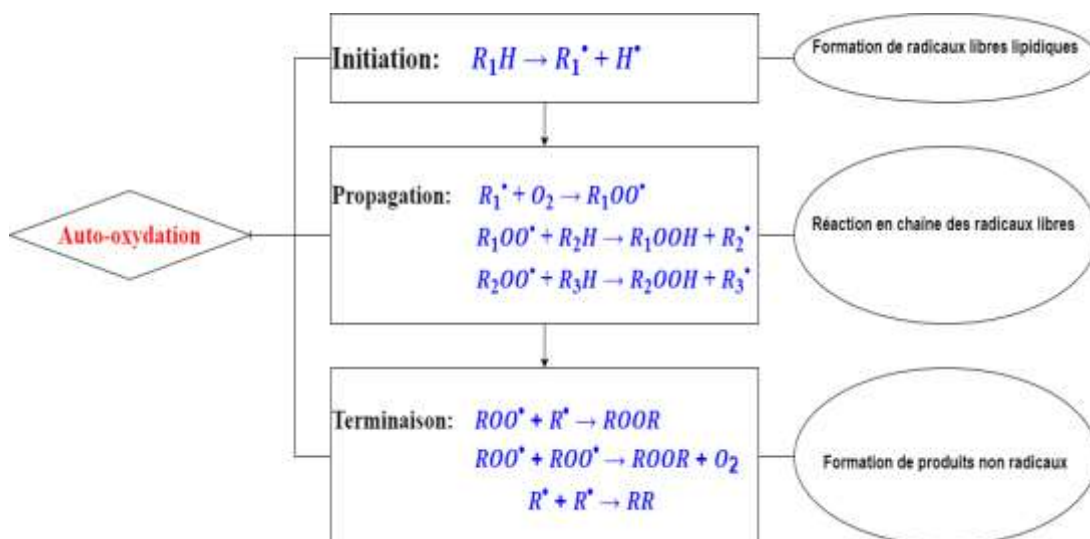


Figure 17: Mécanisme d'Auto-oxydation ([Mendoza, 2020](#)).

Les huiles et les graisses alimentaires peuvent également être catalysées par d'autres facteurs, tels que l'exposition à la lumière, la chaleur et les métaux de transition tels que l'exposition à la lumière, à la chaleur et aux métaux de transition. Ce processus est une réaction en chaîne des radicaux libres, qui entraîne une augmentation des radicaux réactifs, lesquels initient d'autres réactions ([Kozłowska & Gruczyńska, 2018](#)).

a. Initiation

C'est une étape dont un acide gras radical est produit en perdant un atome d'hydrogène par une interaction avec des espèces réactives de l'oxygène (ions oxygène, radicaux libres ou peroxydes, inorganiques et organiques), et elle peut être accélérée par la lumière ou la chaleur ([Suárez-Jiménez et al., 2016](#)).

L'initiation de l'oxydation correspond à la formation de radicaux lipidiques libres par rupture homolytique d'un atome d'hydrogène adjacent à une double liaison allylique ou bisallylique. Cette phase peut s'effectuer par action directe sur l'acide gras insaturé. Dans ce cas, le lipide LH perd un atome d'hydrogène pour former un radical libre. Cette réaction se fait en présence d'un initiateur de l'oxydation ([Dridi, 2016](#)).

b. Propagation

Au cours de cette étape, le R-AG (molécule instable) réagit rapidement avec l'oxygène moléculaire (O₂) pour créer un acide gras radicalaire pyroxy (PR-AG-), qui peut réagir avec d'autres AGPI, donnant lieu à un R-AG- différent (produits d'oxydation primaires) (Suárez-Jiménez *et al.*, 2016).

On assiste à une formation plus accélérée d'hydroperoxydes suite à l'accumulation des radicaux libres, ce qui se traduit par une forte consommation de l'oxygène gazeux. Au cours de cette étape, il se forme autant d'hydroperoxydes qu'il s'en détruira au cours des étapes ultérieures (Domínguez *et al.*, 2019).

c. Terminaison

Durant cette phase, deux radicaux réagissent et produisent une espèce non radicale, comme des alcools, des aldéhydes et des cétones ; cela ne se produit que lorsque la concentration en R-AG- est suffisamment élevée pour que la probabilité qu'une réaction se produise entre deux radicaux augmente. Lorsqu'un radical réagit avec un acide gras, il produit un autre radical par un mécanisme de réaction en chaîne (Suárez-Jiménez *et al.*, 2016).

Elle correspond à la disparition des peroxydes, à l'accumulation des composés secondaires d'oxydation c'est-à-dire à l'oxydation complète (Ayari, 2021). Pour donner des espèces non radicalaires, mettant ainsi fin aux cycles réactionnels. Ces espèces sont également susceptibles de se décomposer et de donner naissance à d'autres produits secondaires (Gharby, 2012).

Les réactions de terminaison sont lentes au début de l'oxydation, c'est à dire quand la concentration en radicaux libres est basse, mais elle devient très rapide à des concentrations élevées quand l'oxydation est avancée (Domínguez *et al.*, 2019; Gharby, 2012).

Tableau 14: Types de décomposition des hydro-péroxydes (Gharby, 2012).

Type de décomposition	Agent catalyseur	Produits de la réaction
Rupture des liaisons peroxy	Métaux lourds	Radicaux libres
Clivage des chaines hydrocarbonées	Spontanée	Composés volatils
Clivage enzymatique	Hydro-péroxyde lyases	Composés volatils
Transformation enzymatique	Époxydases	Époxydes
Réaction sur de doubles liaisons	Spontanée	Époxydes, cétones, éther
Oxypolymérisation	Chauffage	Polymère

L'oxydation des lipides est un processus complexe, notamment en raison des réactions d'initiation, de propagation et de terminaison, qui peuvent se produire simultanément (Suárez-Jiménez *et al.*, 2016).

4. Produits primaires de l'oxydation

Les acides gras libres sont produits par hydrolyse pendant l'oxydation des lipides, et des produits d'oxydation primaire et secondaire sont également produits à différents stades (Sun *et al.*, 2022).

Les principaux produits d'oxydation des lipides sont des hydroperoxydes, qui sont très instables et réagissent ensuite pour former des produits secondaires tels que des hydrocarbures, alcools, cétones et aldéhydes, qui peuvent être oxydés en acides carboxyliques (Gharby *et al.*, 2013).

5. Produits secondaires de l'oxydation

Les hydroperoxydes ou peroxydes sont des molécules instables, ils se transforment rapidement en cétones et aldéhydes comme produits d'oxydation secondaire (Fadda *et al.*, 2022).

Les hydro-péroxydes, produits primaires de la réaction, sont des molécules instables. Elles se décomposent sous l'effet de la chaleur ou des métaux en donnant naissance à des produits secondaires. Parmi ces derniers, les composés volatils sont à l'origine de la modification de l'odeur des produits oxydés (Cuvelier & Maillard, 2012).

III. Impact de l'oxydation sur la qualité des huiles

Pendant le stockage, la manipulation ou la cuisson, les huiles comestibles peuvent subir des processus de détérioration dus à l'oxydation des lipides. L'oxydation est principalement responsable de la perte de qualité et limitant la durée de vie des huiles comestibles, entraînant la diminution de la valeur nutritionnelle (des vitamines liposolubles et des acides gras essentiels) et la valeur sensorielle (les arômes, l'odeur, la texture et la couleur) de l'huile et l'apparition de saveurs indésirables, qui rendent les huiles contenant des aliments moins acceptables pour les consommateurs et réduisent considérablement l'utilisation pharmaceutique et alimentaire de ces huiles. De plus, l'oxydation des lipides produit certains sous-produits toxiques comme les composés carbonylés réactifs ([Harhar et al., 2010](#); [Zaanoun et al., 2014](#); [Fadda et al., 2022](#)).

Le contact des huiles avec l'oxygène donne lieu à des réactions en chaîne qui progressent plus rapidement avec des températures plus élevées, ainsi qu'avec l'augmentation du degré d'insaturation des lipides ([Fadda et al., 2022](#)).

L'oxydation provoque une diminution de la qualité des huiles. Bien que les pertes de qualité ne puissent pas être appréciées dans la première étape de l'oxydation, au cours des étapes suivantes, elles peuvent être détectées dans la saveur, la couleur, la valeur nutritionnelle et/ou la fonctionnalité des protéines. Les hydroperoxydes produits pendant la phase de propagation n'affectent pas directement la saveur, l'odeur ou la couleur des aliments. Cependant, la décomposition du R-AG- en aldéhydes et cétones provoque des changements dans certains attributs sensoriels caractéristiques, qui sont communément décrits comme le rancissement ; ce problème a un impact direct sur l'acceptation du consommateur ([Suárez-Jiménez et al., 2016](#)).

IV. Méthodes de mesure

L'oxydation a été estimée par la mesure simultanée de l'indice de peroxyde (IP), l'indice de réfraction (IR) et l'absorption à 232 et 270 nm (E_{232} et E_{270}) ([Rahma et al., 2018](#)).

Ces indicateurs très importants du degré de dégradation d'une huile au stade initial (c'est-à-dire lors de la formation de l'huile). La teneur en produits d'oxydation secondaire est généralement évaluée en examinant la valeur de la p-anisidine. Cet indice est considéré comme un indicateur plus fiable du rancissement oxydatif que l'IP. Le coefficient d'extinction spécifique E_{270} est un autre indice important utilisé pour évaluer les produits d'oxydation secondaires. Cependant, ce paramètre n'est pas complètement similaire à l'analyse de la p-anisidine, parce que les cétones ne sont pas détectées dans la détermination de l'anisidine

(Fadda *et al.*, 2022).

1. Mesure des composés primaires d'oxydation

1.1. Indice de peroxyde (IP)

L'indice de peroxyde (IP) évalue la teneur en hydroperoxyde et fournit une mesure de l'oxydation des lipides (Gharby *et al.*, 2018).

L'utilisation de l'indice de peroxyde comme mesure de l'oxydation des lipides est limitée, car il diminue au fur et à mesure de l'oxydation en raison de la décomposition rapide des hydroperoxydes, qui sont très instables à température élevée (Gharby *et al.*, 2013).

1.2. Extinction spécifique E₂₃₂

Cette mesure peut être remplacée ou confirmée l'indice de peroxyde, par une détermination de l'absorbance UV à 232 nm, de normalisée, corrélée à la présence de formes diènes conjuguées, qui apparaissent sur les acides gras comportant au moins deux doubles liaisons, consécutivement au phénomène de métamérie lors de la formation des peroxydes : très facile à mettre en œuvre. Cette détermination présente l'inconvénient d'être moins sensible, et de ne pas être liée à des valeurs de référence, donc difficile d'interprétation dans l'absolu (Abdenour *et al.*, 2017; Gharby *et al.*, 2014).

1.3. Oxydation totale (TOTOX)

La valeur Totox détermine l'oxydation totale et permet de mieux estimer la détérioration oxydative progressive des graisses et des huiles, basé sur la combinaison de deux fois la quantité de peroxyde et de l'indice d'anisidine, selon la méthode de Shahidi et Zhong (Jalalizand & Goli, 2021).

Les valeurs TOTOX tiennent compte des produits primaires et secondaires (peroxydes et aldéhydes) (Alsufiani & Ashour, 2021).

2. Mesure des composés secondaires d'oxydation

Un certain nombre de méthodes spectrophotométriques sont disponibles, toutes sont basées sur la mesure de l'intensité de la coloration résultant de la complexation d'une famille de produits secondaires de dégradation oxydative avec un réactif spécifique. Les deux méthodes suivantes sont les plus pratiquées (Domínguez *et al.*, 2019).

2.1. Extinction spécifique E₂₇₀

L'absorption spécifique à 270 nm (E₂₇₀) est un marqueur de la formation de produits d'oxydation secondaire (Gharby *et al.*, 2012).

Cette mesure peut être remplacée ou confirmée l'indice de para-anisidine, par une détermination de l'absorbance UV à 270 nm. En effet, l'extinction E₂₇₀ fourni des informations sur le degré de formation de produits secondaires d'oxydation (Gharby *et al.*, 2013).

2.2 Indice de para-anisidine

L'indice de para-anisidine (IpA) permet de déterminer les composés secondaires issus d'oxydation. Cet indice permet la quantification des composés aldéhydiques, caractéristiques de l'odeur de rance (Mnayer, 2014).

La procédure analytique consiste à traiter les huiles dans une solution d'isooctane, avec le réactif p-anisidine. La quantité de produit de la réaction est déterminée par spectrophotométrie à 350 nm (Domínguez *et al.*, 2019).

2.3 Test TBA

Test à l'acide thiobarbiturique (Test TBA) est utilisée comme indicateur de la formation de produits d'oxydation secondaire des lipides (Yodkaew *et al.*, 2017).

2.4 Composés volatiles

Mesure des volatils par chromatographie à phase gazeuse (CPG). Les composés dosés par (CPG) sont principalement des aldéhydes, des cétones, des alcools, des acides carboxyliques courts et des hydrocarbures. Parmi ces composés volatils, certains sont hautement spécifiques de la dégradation oxydative d'une famille particulière d'acides gras polyinsaturés (Domínguez *et al.*, 2019).

3. Mesure de l'oxydation par des tests de vieillissements accélérés

3.1 Test de Swift ou AOM (Active Oxygen Method)

La méthode consiste à souffler uniformément de l'air dans un échantillon d'huile qui est maintenu à température de 97,8 °C jusqu'à ce que son indice de peroxyde atteigne le niveau auquel il commence être une détérioration visible. Ce niveau est différent pour chaque type d'huile. Pérennité d'une huile de qualité après 8 heures la méthode AOM doit avoir un indice de peroxyde inférieur à 5 mmol O₂/kg (Banovac, 2017).

3.2 Utilisation de l'appareil « Oxypress »

L'échantillon est placé dans une étuve hermétiquement close, sous une pression d'oxygène de 3 à 5 bars, à une température de 105 °C. On suit l'évolution de l'oxydation en mesurant la diminution de la pression d'oxygène, correspondant à l'incorporation du gaz dans la matière oxydée (formation d'hydroperoxydes). On enregistre la pression en fonction du temps puis on détermine le temps de résistance ([Boukouira et al., 2021](#)).

3.3 Méthode à l'étuve ou test Shaal

Le test consiste à oxyder la matière grasse dans une étuve éclairée à 60 °C pour détruire les attributs physico-chimiques originaux des huiles. Cette méthode présente l'avantage de se rapprocher des conditions réelles de stockage ([Lkrik et al., 2015](#); [Yang et al., 2016](#)).

3.4 Test Rancimat

Ce test détecte la teneur en produits de réaction secondaires formés au cours des dernières étapes de la peroxydation des lipides soit en mesurant les caractéristiques organoleptiques ou en mesurant l'indice de peroxyde, il mesure la conductivité de l'eau déminéralisée causée par l'air sec qui a barboté à travers un échantillon chauffé et détermine automatiquement le temps nécessaire pour produire une conductivité maximale ([Flores et al., 2021](#); [Vitali Čepo et al., 2018](#)).



Figure 18: Appareil Rancimat.

V. Facteurs influencent l'oxydation des huiles végétales

Les facteurs bien connus qui influencent l'oxydation des acides gras des amandons sont principalement :

1. Influence de la composition en acides gras et la température

Les huiles les plus insaturées sont oxydées plus rapidement que les huiles moins insaturées (Maszewska *et al.*, 2018). En effet, l'acide linoléique (C18:2) aura tendance à s'oxyder plus rapidement que l'acide linoléique (C18:3). Plus les acides gras contiennent des doubles liaisons plus ils sont sensibles à l'oxydation (Gharby, 2012).

2. Influence de la lumière

La lumière joue le rôle d'accélérateur des cinétiques des réactions d'oxydation, les mécanismes chimiques restent les mêmes (Aouchiche, 2017). Elle intervient dans la photooxydation qui constitue une voie importante de production d'hydroperoxydes en présence d'oxygène, d'énergie lumineuse et de photosensibilisateurs tels que les hémoprotéines ou la riboflavine (Chelouche & Smail, 2017).

3. Influence de l'oxygène

L'influence de l'oxygène sur la vitesse de l'oxydation peut être décrite quantitativement et qualitativement. D'un point de vue qualitatif, la réaction d'oxydation en présence de l'oxygène singulet $^1\text{O}_2$ est plus rapide qu'en présence de l'oxygène triplet $^3\text{O}_2$ car l'oxygène singulet peut directement réagir avec les lipides alors que l'oxygène triplet réagit avec les radicaux lipidiques (Dridi, 2016).

4. Influence de l'eau

L'eau peut augmenter la vitesse d'oxydation des lipides en augmentant la mobilité des Réactants. Elle peut également la ralentir en retardant la décomposition des hydro peroxydes et en diluant les catalyseurs et des inhibiteurs de l'oxydation (Boukouira *et al.*, 2021).

5. Influence des métaux

Les métaux de transition jouent un rôle important dans la génération des radicaux libres de l'oxygène, ils sont les premiers activateurs des molécules d'oxygène. L'initiation de l'oxydation lipidique par les métaux peut se faire par transfert d'électron ou par formation de complexe de transition ou de complexe avec le peroxyde d'hydrogène qui catalysent l'auto-oxydation et la décomposition par la réaction redox. Les traces de métaux prooxydants (fer et

cuivre sous forme libre) augmentent les cinétiques de formation des radicaux et de décomposition des hydroperoxydes pour des teneurs faibles ([Meziani, 2015](#)).

Chapitre 4 : Enrichissement des huiles végétales par des PAMs.

L'oxydation de l'huile est le principal facteur limitant la qualité des huiles végétales pendant le stockage, car elle entraîne une détérioration de la qualité nutritionnelle de l'huile et donne naissance à des arômes indésirables, qui rendent les aliments contenant des graisses moins acceptables pour les consommateurs.

Pour résoudre ce problème et répondre à la demande des consommateurs pour des aliments naturels, les producteurs d'huiles comestibles et l'industrie alimentaire cherchent des alternatives aux antioxydants synthétiques pour protéger les huiles contre l'oxydation. Pour y remédier, des composés antioxydants sont extraits de diverses parties de plantes (fleurs, feuilles, racines et graines).

Dans ce contexte, l'objectif de ce chapitre était de mettre en évidence les stratégies émergentes pour l'extraction de biomolécules à partir de plantes aromatiques et médicinales selon différentes méthodes d'enrichissement des huiles végétales.



Figure 19: Huile d'olive enrichie par le romarin (Carapelli, 2019).

I.Méthodes d'enrichissement

Les méthodes couramment utilisées pour enrichir les huiles végétales sont différentes. Les huiles essentielles sont préparées à partir d'herbes mélangées à de l'huile à température ambiante pendant un temps défini. Le mélange est ensuite filtré pour éliminer la turbidité et les parties solides. L'infusion est la méthode la plus ancienne d'aromatisation de l'huile. D'autre part, le mélange des amandons avec des herbes pendant le processus de production de l'huile est une nouvelle approche pour préparer des huiles aromatisées claires et sûres. Une autre méthode est la macération assistée par ultrasons ([Barreca et al., 2021](#); [Clodoveo et al., 2016](#); [Issaoui et al., 2016](#)).

Traditionnellement, le processus de l'enrichissement est réalisé par la méthode conventionnelle, où la macération des plantes aromatiques et médicinales se fait sur une longue période, sans procédures supplémentaires pour aider à l'efficacité de l'aromatisation ([Veillet et al., 2010](#)).

Cependant, le secteur industriel est continuellement à la recherche de nouvelles méthodes pour améliorer le processus d'enrichissement des huiles parmi les procédés qui suscitent un intérêt considérable en raison de sa nature verte sont les ultrasons et les micro-ondes ([Benmoussa et al., 2016](#); [Soares et al., 2020b](#)).

Les méthodes d'enrichissement influencent significativement sur la qualité chimique et sensorielle des huiles d'olive. En particulier, l'infusion des huiles avec des plantes a provoqué une plus grande dégradation oxydative en raison d'une teneur plus faible en phénols totaux. En revanche, les huiles d'olive obtenues par malaxage combiné d'olives et des plantes étaient moins amères ([Barreca et al., 2021](#)).

Les principales analyses utilisées pour évaluer l'activité antioxydant avant et après enrichissement de l'huile d'olive avec les plantes médicinales sont : Extraction et dosage des polyphénols totaux, dosage des flavonoïdes et le test de piégeage du radical DPPH (2,2-diphenyl-1 picrylhydrazyl) ([Toukali & Benouelha, 2020](#)).

1. Infusion

La perfusion, appelée aussi macération ou extraction solide-liquide ([Ferrara et al., 2016](#)). Elle a été utilisée longtemps pour aromatiser différents types d'aliments, des boissons alcoolisées ainsi que de l'huile d'olive ([Reboredo-Rodríguez et al., 2017](#)). Cette méthode était plus avantageuse que les autres pour l'extraction de phénolique et de flavonoïdes avec une activité antioxydante la plus élevée ([Naviglio et al., 2019](#)).

L'infusion est une méthode d'aromatisation très connue dont les plantes sont finement broyées et mélangées avec l'huile vierge. Le mélange est laissé à température ambiante pendant un temps déterminé et avec des agitations périodiques. Ensuite, le mélange est filtré pour éliminer les parties solides et devient clair et prêt à l'emploi. Cette technique prend du temps mais est très répandue (Clodoveo *et al.*, 2016). L'étude de (Miniotti & Georgiou, 2010) a rapporté que l'infusion de différentes herbes et épices peut affecter les indices de qualité des huiles d'olive vierges.

a. Principe

La macération a été effectuée dans l'obscurité, à la température ambiante (20 ± 2 °C) et par agitation circulaire pendant 20 secondes par jour (Bittencourt Fagundes *et al.*, 2020). Elle est basée sur la diffusion et l'osmose dans les conditions d'agitation continue à 250 rpm (rotation par minute) avec 24h à température ambiante (Naviglio *et al.*, 2019; Oroian *et al.*, 2020) ou en la réchauffant jusqu'à 45 °C, pendant un jour (Valle-Prieto *et al.*, 2017). Le mélange final aromatisé doit être filtré afin d'éliminer les traces de feuilles ou d'herbes de l'huile (Issaoui *et al.*, 2016).

b. Avantages et inconvénients

La macération était une technique effective et simple permet de préserver la stabilité des composés fonctionnels et préserver aussi les propriétés saines des huiles comestibles fonctionnelles mais elle nécessite un temps long pour permettre l'extraction des composés souhaités donc elle pose de nombreux problèmes de stockage et les volumes très importants de matière végétale (Ćujić *et al.*, 2016; Reboredo-Rodríguez *et al.*, 2017).

L'infusion d'huiles avec des plantes a provoqué une dégradation oxydative plus importante en raison d'une teneur plus faible en phénols totaux (Caponio *et al.*, 2016).

c. Exemple d'application

Macération conventionnelle d'huile d'olive extra vierge avec romarin et basilic

- ❖ Les échantillons ont été préparés dans des flacons Erlenmeyer de 250 mL en utilisant 10 % (p/p) de romarin séché ou 15% (p/p) de feuilles de basilic séchées dans l'huile d'olive extra vierge, ils ont été maintenus à 7 et 15 jours de macération, dans l'obscurité, à température ambiante (20 ± 2 °C), avec une agitation quotidienne, cette agitation a été effectuée manuellement, pendant 30s, par des mouvements circulaires. Ensuite, les échantillons ont

été filtrés sous vide et stockés dans des bouteilles ambrées pour des analyses ultérieures (Soares *et al.*, 2020b).

- ❖ 5g de feuilles de romarin séchées ont été ajoutés à 50 mL d'huile d'olive et laissées reposer à température ambiante pendant 12 heures. L'huile d'olive sans feuilles de romarin a été utilisée comme témoin. Les huiles aromatisées finales ont été filtrées à travers un filtre en papier pour éliminer les traces de feuilles de romarin. L'huile aromatisée a été recueillie et stockée dans des bouteilles en verre foncé à 4 °C afin de minimiser l'oxydation jusqu'aux les tests de qualité de l'huile puissent être effectués (Benmoussa *et al.*, 2016).
- ❖ Les feuilles de thym et de romarin ont d'abord été séchées puis l'ajout de 6% (p/p) séparément dans des bouteilles en verre contenant de l'huile de soja.

Le mélange a été conservé dans l'obscurité pendant 7 jours. Après macération, les huiles obtenues ont été filtrées et conservées à 4 °C jusqu'à leur analyse (Saoudi *et al.*, 2016).

d. Effet de l'enrichissement par macération sur l'huile d'olive

L'aromatisation au basilic par macération conventionnelle a cependant augmenté de manière significative les valeurs des paramètres de qualité et a réduit les composés phénoliques totaux, la capacité antioxydant et les temps d'induction et de stabilité (Soares *et al.*, 2020b).

L'étude de (Ayadi *et al.*, 2009) montre que l'utilisation du processus de macération pour enrichir l'huile d'olive par certaines plantes aromatiques a contribué à améliorer leur résistance thermique et leur stabilité.

2. Co-traitement

Le co-traitement, également appelé co-extraction, est une méthode alternative aux techniques d'infusion pour obtenir des huiles aromatisées ou enrichies (Peres *et al.*, 2021).

Elle consiste en l'ajout des plantes aromatiques, au cours de la mouture ou lors de l'étape de malaxage du processus d'extraction de l'huile (Lamas *et al.*, 2022). En outre, cette méthode ne nécessite pas l'étape de filtration, contrairement à l'infusion (Abenoza *et al.*, 2021).

L'utilisation de la co-extraction avec l'ajout de romarin, de thym, de basilic, et d'origan provoque des notes sensorielles positives (Peres *et al.*, 2021). L'utilisation d'épices dans la co-malaxation augmente l'activité antioxydante de l'huile d'olive par rapport à la technique d'infusion (Caponio *et al.*, 2016; Peres *et al.*, 2021).

a. Principe

Le processus de co-traitement avec ajout de plante aromatique dans le malaxeur a été réalisé suivant un plan composite rotatif central (CRC) en fonction des teneurs en ajout (Montgomery, 2017).

Les plantes ont été ajoutées au début de l'étape de malaxage, réalisée à 28-30 °C pendant 30 minutes. La centrifugation de la pâte a été effectuée à 3500 rpm pendant 1 min. Après la centrifugation, les traces des feuilles dans l'huile ont été éliminées avec du sulfate de sodium anhydre, qui a été éliminé par filtration sur un filtre en cellulose. Ensuite, les huiles ont été recueillies dans des flacons ambrés et stockés à 4 °C jusqu'à l'analyse (Peres *et al.*, 2021).

b. Avantages et inconvénients

Les huiles obtenues par malaxation combinée d'olives et d'épices étaient moins amères. Le profil des composés volatils n'a pas été influencé de manière significative par la méthode d'aromatisation, à l'exception des composés sulfurés qui étaient plus importants dans les huiles obtenues par malaxage. La pratique de l'aromatisation de l'huile d'olive pourrait accroître l'utilisation de l'huile d'olive par les consommateurs non traditionnels et, en même temps ajouter de la valeur à ce précieux produit agricole (Caponio *et al.*, 2016).

Cependant, ces méthodes posent également certains problèmes qui devraient être résolus pour obtenir une huile d'olive aromatisée. Ce n'est pas facile d'ajuster la concentration de l'addition de plantes aromatiques en raison de la distribution non homogène des feuilles, des parties ligneuses et du temps limité pour la transition (Karacabey *et al.*, 2016).

c. Effet de l'enrichissement par co-traitement sur l'aromatisation de l'huile d'olive avec le romarin

L'aromatisation au romarin ajouté pendant la malaxation a augmenté la teneur totale en phénols de plus de 50 %. Elle a été également plus efficace pour augmenter les composés antioxydants que le processus de macération, aussi elle est possible d'augmenter la stabilité de l'huile (Abenoza *et al.*, 2021).

d. Exemple d'application : l'aromatisation de l'huile d'olive avec le romarin par co-traitement

Le romarin a été mélangé avec les fruits d'olives écrasés selon certains ratios dans un malaxeur et le pétrissage a été effectué pendant des paires de températures et de temps spécifiées. La quantité de romarin ajoutée 1 % dans les conditions de malaxage (température

25 °C et la durée de 50 min, puis l'huile obtenue conservée dans des bouteilles en verre ambré à 4 °C jusqu'à leur analyse (Karacabey *et al.*, 2016).

3. Macération assistée par micro-ondes

L'enrichissement par infusion assistée par micro-ondes est considéré comme alternative à l'infusion conventionnelle. Le chauffage par micro-ondes a été appliqué au mélange afin d'accélérer la diffusion des composés volatils de la plante dans l'huile (Benmoussa *et al.*, 2016).

a. Principe

Le principe de l'infusion assistée par micro-ondes est basé sur l'application de micro-ondes pour chauffer les solvants et les tissus végétaux afin d'accélérer le processus d'infusion et d'augmenter sa cinétique (Paduano *et al.*, 2014).

b. Description de l'appareil :

L'appareil d'infusion assistée par micro-ondes était constitué d'un four à micro-ondes et d'un réacteur de 250 ml en Pyrex. La puissance de sortie maximale était de 800 W et la fréquence d'irradiation des micro-ondes était de 2 450 MHz. Les dimensions de la cavité intérieure du four à micro-ondes étaient les suivantes 31 cm × 21 cm × 32 cm (Benmoussa *et al.*, 2016).

c. Effet sur l'huile d'olive

Cette méthode capable à accélérer fortement l'infusion de feuilles de romarin séchées dans l'huile d'olive pour produire une huile d'olive aromatisée en quelques minutes seulement. On a constaté de légers changements dans les valeurs physico-chimiques, les niveaux de chlorophylles, les caroténoïdes et les compositions d'acides gras en raison de la haute température employée pendant l'infusion assistée par microonde (Benmoussa *et al.*, 2016).

L'enrichissement assisté par microonde a changé les indices de qualité de l'huile d'olive, ça due à la température élevée au cours de traitement. L'application de cette méthode était efficace et permet d'obtenir à la fin une huile d'olive aromatisée de qualité satisfaisant (Paduano *et al.*, 2014).

d. Avantages

L'infusion assistée par microonde présente un certain nombre d'avantages par rapport à la méthode d'infusion traditionnelle, par exemple, un temps plus court, un taux d'infusion plus élevé et un coût plus faible (Paduano *et al.*, 2014). Cette méthode s'est avéré être une méthode

d'infusion viable et rapide pour aromatiser efficacement l'huile d'olive avec des feuilles de romarin séchées ([Benmoussa et al., 2016](#)).

e. Exemple d'application

Trois échantillons d'huile d'olive ont été utilisés pour le traitement par micro-ondes en ajoutant 20% de piment, et soumis à un traitement par micro-ondes pendant 10, 30 et 60 secondes respectivement. Le chauffage par micro-ondes a été effectué à l'aide d'un Four à micro-ondes M500, fonctionnant à une puissance maximale (500W) ([Paduano et al., 2014](#)).

4. Macération assistée par ultrasons

L'aromatisation des huiles végétales extra-vierges avec des plantes aromatiques et médicinales est couramment utilisée pour enrichir l'huile en composés aromatiques et antioxydants. Les ultrasons peuvent être une alternative pour accélérer ce processus ([Soares et al., 2020b](#)).

Le procédé assisté par ultrasons facilite grandement l'enrichissement de l'huile d'olive extra vierge en composés phénoliques par rapport à la macération conventionnelle ([Achat et al., 2012](#)).

a. Principe

Un réacteur de sono-extraction a été utilisé pour réaliser des essais par ultrasons. L'intensité des ultrasons est d'environ 1 W/cm^2 à une fréquence de 25 kHz avec 70 % d'amplitude en mode balayage à une température de 35 °C pendant 37 min. Afin de maintenir une température constante dans le mélange, le réacteur est constitué d'un double manteau dans lequel l'eau de refroidissement circule. Un litre de l'huile placée dans le réacteur et différentes quantités de feuilles de la plante ont été ajoutées à l'huile. Une pale rotative a permis l'homogénéisation du mélange pendant toute l'expérience. Des ultrasons ont été appliqués pendant différentes périodes et le mélange aromatisé final a été filtré à travers un filtre à café pour éliminer les traces de feuilles ([Veillet et al. , 2010](#); [Bittencourt Fagundes et al., 2020](#)).



Figure 20: Procédé ultrasonique (30 L) utilisé pour l'enrichissement assisté par ultrasons (Achat *et al.*, 2012).

b. Avantages et inconvénients

Les ultrasons présentent de nombreux avantages tels que la facilité d'utilisation, l'efficacité d'enrichissement élevée, la faible consommation de solvant et réduisent le volume de matériel végétal utilisé pour l'aromatisation (Li *et al.*, 2018).

Ils ont aussi l'avantage de raccourcir la durée du processus, comme cela a été observé pour la combinaison d'ultrasons de grande puissance et de dioxyde de carbone supercritique pour la pasteurisation non thermique d'émulsions d'huile de soja dans l'eau ([Gomez-Gomez et al., 2020](#)).

Cependant, une influence négative des techniques assistées par ultrasons sur la qualité de l'huile a été signalée, en termes de développement d'un mauvais goût et de dégradation oxydative de l'huile ([Caponio et al., 2016](#)).

c. Effet d'ultrason sur l'huile d'olive

L'aromatisation de l'huile d'olive extra-vierge au romarin, par ultrasons a entraîné une amélioration significative des teneurs en composés phénoliques totaux, terpènes, esters et cétones, ainsi qu'une amélioration de la stabilité et de l'induction de l'huile, tout en présentant des valeurs faibles pour les paramètres de qualité ([Soares et al., 2020b](#)).

L'huile d'olive enrichie en composés phénoliques par ultrasons a montré une plus grande capacité à piéger les radicaux et une meilleure stabilité à la dégradation thermique (tests DPPH et de chauffage) ([Achat et al., 2012](#)).

L'huile d'olive aromatisée par macération assistée par ultrasons présentait une meilleure activité antioxydant, un meilleur contenu en terpènes et un meilleur contenu phénolique total par rapport à la macération conventionnelle ([Bittencourt Fagundes et al., 2020](#)).

d. Exemple

150 g de feuilles d'olivier séchées et broyées ont été ajoutées à 1 L d'huile d'olive comme solvant dans l'appareil à ultrasons (**Figure 20**) pendant 45 minutes. Une pale rotative (50 mm de diamètre) a permis l'homogénéisation du mélange à 225 rpm pendant toutes les expériences. Le mélange a ensuite été filtré à travers un filtre à café afin d'éliminer les traces de feuilles avant les analyses ([Achat et al., 2012](#)).

Partie II :

Matériel et Méthodes



Chapitre 1 : Matière végétale et méthodologie de travail

La vocation du présent chapitre est de décrire la problématique et l'objectif du travail d'une part, et de citer les différentes étapes de préparation des échantillons d'une autre part.

En effet, ce projet est constitué d'une étude qui vise à valoriser les plantes aromatiques et médicinales et à valoriser l'huile d'argane.

L'ensemble des étapes qui construisent ce projet sont schématisées dans la figure suivante :

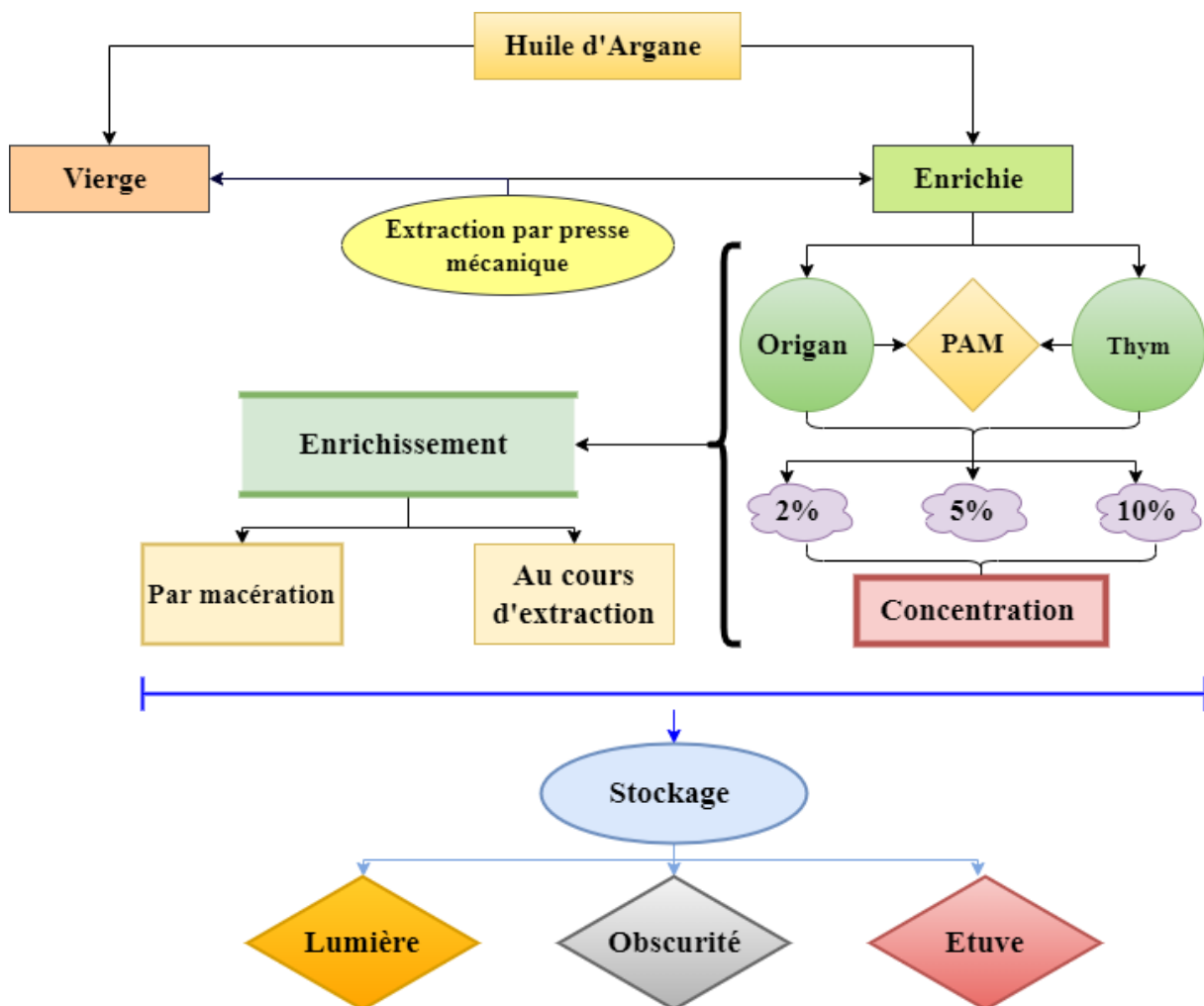


Figure 21: Méthodologie du travail

I. Source de la matière végétale

1. Huile d'argane

Cette étude a été réalisée sur l'huile d'argane alimentaire qui est préparée dans la coopérative **TIGHANIMINE**.



Figure 22: Stockage des amandons.

2. Origan et Thym

La matière végétale étudiée correspond à des plantes aromatiques et médicinales (Origan et Thym) qui sont fournis par la coopérative **TARGANINE**.

II. Préparation des échantillons

Dans cette étude on s'intéresse à étudier l'effet de l'enrichissement par des plantes aromatiques et médicinales sur les caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'argane alimentaire, pour cette raison nous avons suivi les étapes suivantes pour extraire les trois types de l'huile.

1. Préparation de l'huile d'argane

1.1. Huile non enrichie et Huile enrichie au cours d'extraction

On a préparé deux types de l'huile d'argane (**Figure 23**), une huile vierge qui sera enrichie par la suite par l'origan ou le thym à l'aide de la méthode de macération et l'autre une huile enrichie au cours d'extraction en origan et en thym (2%, 5% et 10%).

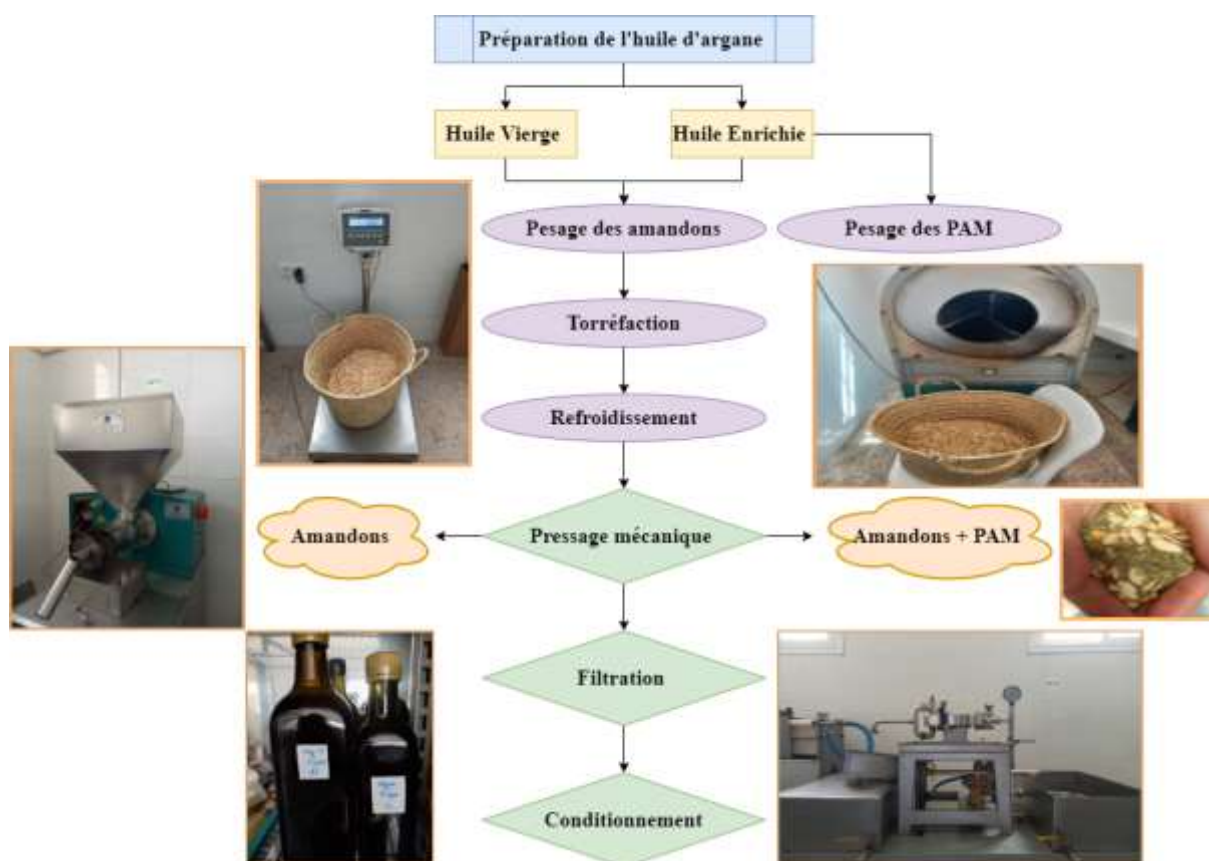


Figure 23: Préparation de l'huile d'argane enrichie.

1.2. Huile enrichie par macération

Premièrement, deux concentrations pour chaque plante sont utilisées de l'ordre de 5 % et 10%. Le suivi de l'enrichissement de l'huile d'argane par l'origan ou le thym se fait dans 3 conditions différents : à l'abri de la lumière, la lumière à 25 °C et l'étuve 60 °C. Après broyage des PAMs, ce dernier est macéré dans l'huile, en maintenant la conservation à 4 °C pendant 25j.

L'huile enrichie est récupérée et transvasée dans les flacons d'échantillon de 30 mL (Figure 24), et stockée selon les conditions précisées.



Figure 24: Échantillons de l'enrichissement par macération.

Dans le présent travail, l'effet de l'enrichissement sur l'huile d'argane alimentaire par l'origan et le thym a été évalué sur les propriétés physicochimiques afin d'évaluer l'influence de ces deux plantes sur l'état d'oxydation de cette huile.

Pour l'enrichissement par macération, on a 5 échantillons : échantillon vierge, deux concentrations d'origan 5% et 10% et deux concentrations du thym 5% et 10%. Comme nous avons déjà mentionnée on a trois conditions de stockage : l'étuve à 60 °C, la lumière et l'abri de lumière.

-En ce qui concerne l'étude de stabilité à 60 °C (**Figure 25**), Les 5 échantillons ont été conditionnées dans des bouteilles transparentes de 30 mL (95 échantillons) puis stockés pendant 4 mois. Les échantillons ont été analysés avec une fréquence d'une seule fois au bout de chaque 15 jour afin d'évaluer l'état d'oxydation.



Figure 25: Stockage dans l'Etuve.

- À température ambiante 25 °C à la lumière du jour les échantillons ont été conservés dans des bouteilles transparentes de 30 mL (160 échantillons) pendant une année (**Figure 26**). Les échantillons ont été analysés avec une fréquence d'une seule fois au bout de chaque mois.



Figure 26: Exposition à la lumière.

- À l'obscurité les échantillons ont été conditionnées dans des bouteilles brune de 30 mL (75 échantillons) pendant une année (**Figure 27**). Les échantillons ont été analysés avec une fréquence d'une seule fois au bout de chaque deux mois.



Figure 27: Stockage à l'abri de la lumière.

Pour l'enrichissement au cours d'extraction, on a 7 échantillons : huile non enrichie, huile enrichie en origan avec 3 concentrations 2%, 5% et 10% et huile enrichie en thym avec les mêmes concentrations (**Figure 28**). Dans cette méthode d'enrichissement, on a stocké les échantillons (168 flacons) seulement dans l'étuve.



Figure 28: Échantillons de l'enrichissement au cours d'extraction.

2. Préparation d'origan et de thym

Il s'agit du pesage d'une quantité de 275 g d'origan et la même quantité de thym, suivi par un broyage jusqu'à l'obtention d'une poudre pour chaque plante afin de faciliter leur dissolution dans la matière grasse.

Chapitre 2 : Méthodes d'analyses

I. Analyses physico-chimiques des PAMs

1. Détermination des éléments minéraux par l'ICP-OES (ISO 11885, 2007)

Cette étude a été basée sur une analyse chimique, quantitative et qualitative élémentaire de deux plantes aromatiques et médicinales (l'origan et le thym), pour déterminer les éléments minéraux (**Tableau 16**) tels que le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na), le bore (B), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn) par la méthode spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif ICP-OES (**Figure 29**).

L'analyse de métaux par ICP-OES repose sur la spectrométrie d'émission atomique. Il est nécessaire de connaître le principe de l'émission atomique pour comprendre son fonctionnement.

a. Principe

Cette méthode analytique consiste à mesurer les intensités des raies d'émission des éléments atomisés et excités sous l'effet thermique du plasma. L'échantillon en solution est dispersé en très fines gouttelettes à l'aide d'un nébuliseur, ces gouttelettes sont ensuite séchées puis dirigées vers un plasma dont la température atteint plus de 8000 K où tous les éléments présents sont atomisés puis excités.

Un spectromètre UV-Visible mesure simultanément l'ensemble des photons émis aux différentes longueurs d'onde par retour des éléments excités à l'état fondamental. Chaque longueur d'onde est caractéristique d'un élément donné et l'intensité d'émission est proportionnelle à la quantité de cet élément présent dans l'échantillon ce qui permet de déterminer l'analyse qualitative et quantitative de l'élément.



Figure 29: Spectroscopie d'émission atomique par plasma à couplage inductif.

Un spectromètre ICP peut être divisé en quatre parties :

1. Système d'introduction de l'échantillon ;
2. Système d'atomisation et d'excitation ;
3. Système optique ;
4. Système de détection.

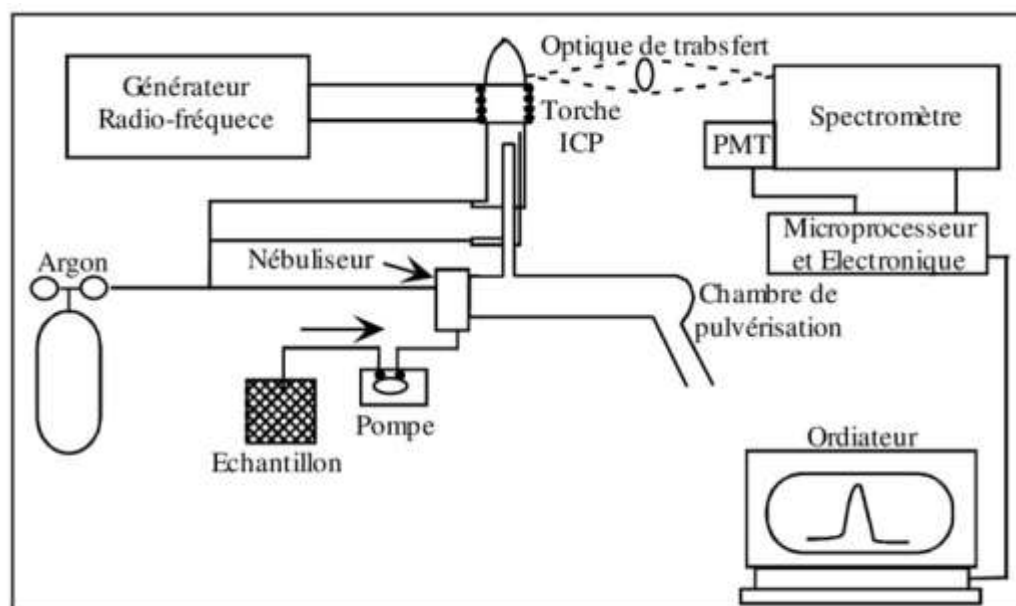


Figure 30: Schéma de l'appareillage d'un spectromètre ICP-AES.

L'ordinateur calcule ensuite la concentration des éléments en fonction de leurs longueurs d'ondes considérés grâce à une droite d'étalonnage préalablement établie (dosage à partir de solutions mono-élémentaires commercialisés) et le logiciel (Syngistix-ICP) fournit les résultats.

b. Mode opératoire

Tableau 15: Etapes de la préparation des échantillons pour déterminer des éléments minéraux par l'ICP-AES.

Les étapes de la préparation des échantillons	Description
❖ Lavage	Après la codification, lavage de chaque échantillon au moins 3 fois par l'eau ultra pure pour éliminer les contaminants.
❖ Séchage	Les échantillons sont séchés à l'étuve à 80 °C pendant 3h.
❖ Broyage	Les échantillons secs sont broyés à un diamètre < 250 µm qui permet la libération de la totalité des éléments.
❖ Minéralisation	La destruction de la MO par l'incinération dans un four à moufle et la digestion subséquente des cendres avec HNO ₃ (à 480 °C pendant 4h), Après la calcination, les cendres obtenues sont ensuite digérées dans une hotte à l'aide de l'acide nitrique, environ 2 mL d'acide concentré est ajouté dans chaque creuset. Le contenu du creuset est transféré dans une fiole de 100 mL et complété jusqu'au trait de jauge.
❖ Décantation	L'échantillon est laissé décanter avant injection dans l'appareil.

Tableau 16: Éléments minéraux analysés en ICP-OES

Paramètre	Symbole	Longueurs d'ondes (nm)
Potassium	K	766,490
Calcium	Ca	317,933
Sodium	Na	589,592
Magnésium	Mg	285,213
Cuivre	Cu	324,752
Bore	B	249,772
Fer	Fe	239,562
Zinc	Zn	213,860
Manganèse	Mn	257,610

c. Expression des résultats

Les résultats des différents éléments minéraux sont exprimés en mg/kg.

2. Détermination de la teneur totale en azote par la méthode de Dumas (ISO 16634-2, 2016)

La méthode de combustion de Dumas est une méthode absolue de détermination de la teneur totale en azote dans une matrice organique courante.

a. Principe

La combustion de l'échantillon s'effectue sous oxygène et à température élevée. Puis, par l'intermédiaire de tubes d'oxydation et de réduction, l'azote est quantitativement converti en N₂. Les autres produits volatils issus de la combustion sont soit piégés soit isolés. Un détecteur à conductivité thermique mesure l'azote gazeux.

Les étapes de la méthode Dumas comprennent :

❖ Combustion

L'échantillon est pesé et purifié de tout gaz atmosphérique, chauffé dans un four à haute température et brûlé rapidement en présence d'oxygène pur à environ 1000 °C. Cela amène la libération de substances telles que le dioxyde de carbone, l'eau, le dioxyde d'azote et, surtout, l'azote sous forme d'oxydes différents (N_yO_x).



❖ Réduction et séparation

Les gaz de combustion sont collectés et passés dans un four à haute température et traversent du cuivre chaud pour éliminer l'oxygène et convertir les oxydes d'azote en azote moléculaire. Les pièges dédiés éliminent l'eau et le dioxyde de carbone.



❖ Détection

Le signal mesuré par le détecteur de conductivité thermique est converti en teneur totale en azote. L'EDTA, l'acide aspartique, l'acétanilide, l'urée, l'atropine et d'autres réactifs peuvent être utilisés pour créer des courbes d'étalonnage dans le logiciel DUMASoft™ afin de traduire le signal reçu par le TCD en mgN.

b. Expression des résultats

Les résultats sont communiqués en % ou en mg d'azote, une valeur pouvant être convertie en protéines en utilisant des facteurs de conversion (6,25 pour la matière végétale).

$$\% P = \% N \times 6,25$$

6,25	Facteur de conversion
% N	Pourcentage d'azote
% P	Pourcentage de protéine totale

3. Détermination de la teneur de la matière minérale (AOAC International, 1990)

a. Principe

La teneur en matière minérale est déterminée selon la méthode no. 923.03.1990, recommandée par A.O.A.C (AOAC International, 1990). Cette méthode consiste à calciner l'échantillon à 550 °C dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant. 2 g d'échantillon sont pesés dans des creusets et sont ensuite placés dans un four à moufle réglé à 550 °C pendant 5 heures, jusqu'à l'obtention des cendres blanchâtres.

Les creusets sont pesés après refroidissement dans un dessiccateur. La matière organique est calculée selon la formule suivante :

$$M (\%) = \frac{M_i - M_f}{PE} \times 100$$

M %	Teneur en matière minérale totale
M_i	Masse initiale (masse du creuset contenant l'échantillon en g)
M_f	Masse finale (masse de creuset et des cendres en g)
PE	Masse de prise d'essai

4. Détermination de la teneur en eau et matière volatiles (ISO 662, 2016)

a. Définition

La teneur en eau et en matières volatiles est la perte de masse subie par le produit après chauffage à 103 °C ± 2 °C dans les conditions opératoires. Elle est exprimée en pourcentage en masse (g/100g).

b. Principe

Chauffage d'une prise d'essai à l'étuve à 103 °C ± 2 °C jusqu'à élimination complète de l'eau et des matières volatiles et détermination de la perte de masse.

c. Mode opératoire

- ✓ Dans une capsule séchée et tarée. Peser une quantité de l'huile à analyser.
- ✓ Éliminer l'eau par chauffage à l'étuve réglée à $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Après une heure de séchage, effectuer un refroidissement dans un dessiccateur et peser.
- ✓ Répéter le chauffage et la pesée dans les mêmes conditions en laissant l'échantillon dans l'étuve pendant 30 minutes jusqu'à ce que la perte de poids entre deux essais ne dépasse pas 0,002 g.

d. Expression des résultats

Le résultat est exprimé en pourcentage de matière sèche :

$$\% \text{ Humidité} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

m₀	Masse, en g, de la capsule vide
m₁	Masse, en g, de la capsule et de la prise d'essai avant le chauffage à l'étuve
m₂	Masse, en g, de la capsule et du résidu après chauffage à l'étuve.

II. Analyses des antioxydants

1. Préparation des échantillons

a. Échantillons pour les PAMs

On laisse la poudre de la plante en contact prolongé avec un solvant afin d'extraire les principes actifs. C'est une extraction qui se fait à température ambiante et qui a l'avantage de préserver les substances thermosensibles. Cette extraction se déroule en deux étapes :

- ❖ Préparation du filtrat hydro-méthanolique : Une quantité de 1 g de la poudre de plante est macérée dans 10 ml de méthanol 70 % pendant 24 heures sous agitation.
- ❖ Le filtrat hydrométhanolique obtenu est filtré sur papier filtre.

b. Échantillons pour l'huile

0,5 g d'huile d'argane (à 0,01 g près) et 2,5 mL de solution méthanol 80 % plus 2,5 mL d'hexane sont placés dans un tube. On agite pendant 10 minutes au Vortex, la phase organique est récupérée et transférée dans une fiole jaugée de 50 mL. L'opération est reconduite 2 fois et on complète au trait de jauge avec la solution méthanol 80 % (Toukali & Benouelha, 2020).

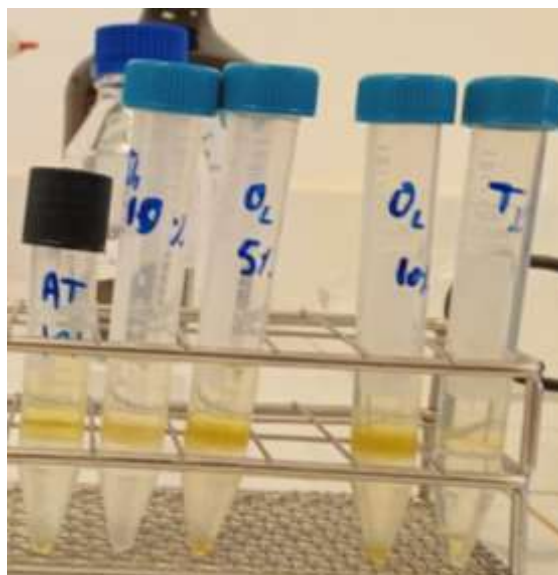


Figure 31: Préparation des échantillons.

2. Dosage des polyphénols (Das *et al.*, 2012)

a. Définition

Les polyphénols sont des composés naturels synthétisés exclusivement par les plantes avec des caractéristiques chimiques liées aux substances phénoliques et provoquant de fortes propriétés antioxydantes.

b. Principe

Les polyphénols totaux ont été déterminés par spectrophotométrie en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu.

Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolibdique de couleur jaune. Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène. La coloration produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les plantes et l'huile d'argane.

c. Mode opératoire

- ✓ Mélanger 0.25 mL de l'extrait + 1,25 mL de réactif folin ciocalteu (1/10) dans l'eau distillée + 2 mL de carbonate de sodium (7,5 %) ;
- ✓ Agiter et laisser dans un bain marie (45 °C) pendant 30 min ;
- ✓ Mesurer l'absorbance à 765 nm.

d. Expression des résultats

La teneur en polyphénols d'un extrait est déterminée en mg EAG/g de poudre ou mg EAG/g d'huile.

Avec :

EAG : Equivalent en Acide Gallique.

3. Dosage des flavonoïdes (Karanja *et al.*, 2022)

a. Définition

Les flavonoïdes : sont des pigments végétaux de la famille des polyphénols qui sont responsables de la coloration des fleurs et des fruits.

b. Principe

Le chlorure d'aluminium forme des complexes acides stables avec le groupe cétonique C4 et avec le groupe d'hydroxyle de carbone C-3 ou C-5 de flavones et de flavonols. En outre, le chlorure d'aluminium forme des complexes acides labiles avec les groupes orthodihydroxyl dans le cycle A ou B de flavonoïdes.

c. Mode opératoire

On introduit 1 mL d'extrait dans une fiole 10 mL, puis compléter avec 4 mL de l'eau distillée par la suite l'ajout de 0,3 mL NaNO₂ (5%), après 5 min, ajouter 0,3 mL de AlCl₃ (10%) et laisser reposer 6 min puis, ajouter 1 mL NaOH (2M), jauger par l'eau distillée puis agiter et laisser incuber 30 min à température ambiante, finalement, on mesure l'absorbance à 415 nm.

d. Expression des résultats

La teneur en flavonoïdes d'un extrait est déterminée en ER/ g de poudre ou en EQ/ g de poudre.

Avec :

ER : Equivalent à la Rutine.

EQ : Equivalent Quercétine.

4. Activité antioxydante par DPPH (Xiao *et al.*, 2014)

a. Définition

Les antioxydants sont des substances qui prolongent la durée de conservation des denrées alimentaires en les protégeant des altérations provoquées par l'oxydation, telles que le rancissement des matières grasses et les modifications de couleur.

Le test DPPH permet de mesurer le pouvoir anti-radicalaire de molécules pures ou d'extraits végétaux dans un système modèle (solvant organique, température ambiante). Il mesure la capacité d'un antioxydant (AH, composés phénoliques généralement) à réduire le radical chimique DPPH° (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) par transfert d'un hydrogène. Le DPPH°, initialement violet, se transforme en DPPHH, jaune pâle.

b. Principe

La méthode du DPPH° introduite par Blois est basée sur la réduction d'une solution alcoolique de l'espèce radicalaire stable DPPH° en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH), qui aboutit à la formation d'une forme non-radicalaire, le DPPHH.

c. Mode opératoire

- ✓ Mélanger 4 mL de l'extrait dilué avec 0,8 mL d'une solution méthanolique ou éthanolique de DPPH (0,2 mM) ;
- ✓ Incuber à température ambiante à l'abri de la lumière pendant 30 min ;
- ✓ Mesurer l'absorbance à 517 nm ;
- ✓ Un contrôle est préparé par 0,8 mL de DPPH + 4 mL éthanol ou méthanol.

d. Expression des résultats

Le pourcentage d'inhibition de DPPH par l'acide ascorbique est calculé par la relation :

$$\text{Pourcentage d'inhibition(\%)} = \frac{A_c - A_E}{A_c} \times 100$$

Avec :

A_c : Absorbance du contrôle après 30 min.

A_E : Absorbance d'échantillon après 30 min.

Le résultat d'un extrait peut être exprimé en mg d'AA /g d'extrait, ou bien par détermination de l'IC₅₀, la concentration qui permet de réduire 50 % des radicaux DPPH, pour cela une série de concentrations de l'extrait est préparée comme pour l'acide ascorbique.

5. Activité antioxydante par ABTS (Maldini *et al.*, 2016)

a. Définition

ABTS est un cation de couleur bleue, avec un pic d'absorption à 734 nm. Le radical cationique ABTS réagit avec la plupart des antioxydants, notamment les phénols, les thiols et la vitamine C. Au cours de ces réactions, il perd sa couleur bleue et retrouve son état neutre, incolore. Ces réactions peuvent être suivies par spectrophotométrie. Cette mesure est souvent appelée capacité antioxydante en équivalent Trolox.

b. Principe

La méthode de radicale ABTS est l'un des tests les plus utilisés pour la détermination de la concentration des radicaux libres. Il est basé sur la neutralisation d'un radical – cation résultant de la mono électronique oxydation du chromophore synthétique 2,2'- azino-bis (3 - éthylbenzothiazoline -6- sulfonique acide).

c. Mode opératoire

L'ABTS a été dissous dans l'eau distillée à une concentration de 2 mM.

- ✓ La solution du radical cation ABTS⁺ a été obtenue en incubant pendant 12 à 16 h à l'obscurité et à la température ambiante un mélange à volumes égaux de la solution mère d'ABTS avec une solution de persulfate de potassium à 70 mM.
- ✓ La solution ABTS⁺ a été diluée avec de l'éthanol jusqu'à une absorbance de $0,70 \pm 0,02$ à 734 nm avant l'utilisation.
- ✓ Ensuite, 2 mL de la solution d'ABTS⁺ a été mélangé avec 200 µL d'extrait.

- ✓ Les absorbances sont mesurées à 734 nm après une incubation de 10 minutes à l'obscurité et à la température ambiante.
- ✓ Trois essais ont été effectués pour chaque concentration de produit testé et les résultats exprimés en Pourcentage d'Inhibition (PI) et en IC₅₀ comme précédemment décrits pour le test DPPH.

d. Expression des résultats

La capacité d'inhibition du radical ABTS d'un extrait est déterminée en ET/ g de poudre ou l'huile.

Avec :

ET : Equivalent en trolox.

6. Activité antioxydante par FRAP (Windmi *et al.*, 2021)

a. Définition

Le test FRAP est basé sur la réduction de fer ferrique en sel de fer par les antioxydants qui donnent la couleur bleue.

b. Principe

Le pouvoir réducteur du fer (Fe³⁺) dans les extraits est déterminé selon la méthode décrite par OYAIZ.

c. Mode opératoire

- ✓ 0,5 mL de l'extrait à différentes concentrations (de 0,007 à 2,5 mg/mL) est mélangé avec 1,25 mL d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 1,25 mL d'une solution de ferricyanure de potassium K₃Fe (CN)₆ à 1%.
- ✓ L'ensemble est incubé au bain-marie à 50 °C pendant 20 min ensuite, 1,25 mL d'acide trichloracétique (TCA) à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction.
- ✓ Les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10 min.
- ✓ Un aliquote (1,25 mL) de surnageant est combinée avec 1,25 mL d'eau distillée et 0,25 mL d'une solution aqueuse de FeCl₃ (Chlorure ferrique) à 0,1%.
- ✓ La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (spectrophotomètre UV-VIS).

Le contrôle positif est représenté par un standard d'un antioxydant ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

d. Expression des résultats

La capacité de la réduction de fer d'un extrait est déterminée en EAA/ g de poudre ou de l'huile.

Avec : **EAA** : Équivalent en Acide Ascorbique.

III. Analyses physico-chimiques de l'huile d'argane

1. Détermination de l'acidité

L'acidité libre de l'huile d'argane a été déterminée selon la norme **(ISO 660,2020)**.

a. Définition

L'acidité est un indice très important pour évaluer la qualité d'une huile, parfois elle est utilisée pour déterminer la classification des huiles.

C'est la quantité d'acides gras libres exprimée en % dans une matière grasse. Elle est mesurée par rapport à l'acide oléique (huile d'argane, l'huile d'olive, palmitique (huile de palme) ou laurique (huile de palmiste)). Elle est aussi un facteur qui renseigne sur l'altération de l'huile par hydrolyse.

b. Principe

On a introduit une prise d'essai dans un mélange adapté des solvants, puis le titrage par une solution éthanoïque ou méthanoïque d'hydroxyde de sodium (NaOH).



c. Mode opératoire

Dans un ballon rincé avec le solvant utilisé ; on prend une prise d'essai de 5 g puis l'ajout d'une quantité de 40-50 mL d'alcool éthylique à 95% préalablement neutralisé et deux à trois gouttes de phénolphthaléine comme indicateur coloré. Enfin, on agite puis on titre par la soude (0,1N) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose permanente.

d. Expression des résultats

Le résultat de l'acidité est exprimé en % d'acide oléique par la formule suivante :

$$\% \text{ Acidité} = \frac{V_{\text{eq}} \times 2,82}{PE}$$

V_{eq} : Volume d'équivalence en (mL)

PE : Prise d'essai en (g)

2. Détermination de l'indice de peroxyde (ISO 3960, 2009)

a. Définition

Par définition l'indice de peroxyde (IP) d'un corps gras est le nombre de microgrammes du peroxyde actif contenu dans un gramme de produit qui oxydent l'iodure de potassium dans les conditions spécifiées. Il est déterminé par le dosage avec une solution de thiosulfate de sodium (dosage en retour).

IP est un paramètre pour mesurer les composants primaires de l'oxydation d'une huile végétale, il s'intéresse au nombre d'oxygène actif dans les chaînes organiques d'un corps gras ou d'une résine.

b. Principe

Une prise d'essai, en solution dans un mélange d'acide acétique pour créer un milieu acide qui va favoriser la réaction et de chloroforme qui va jouer le rôle de solvant, est traitée par une solution d'iodure de potassium. L'iode libéré est titré par une solution titrée de thiosulfate de sodium (0,01 N).



c. Mode opératoire

On pèse 2,5 g de l'huile dans un ballon de 250 mL séché puis on ajoute 15 mL d'acide acétique, 10 mL de chloroforme et 1 mL de la solution de KI saturée (15 g dans 10 mL d'eau distillée). On bouche aussitôt le ballon et on l'agite. On le laisse 5 min à l'abri de la lumière. On ajoute ensuite 75 mL d'eau distillée afin de stopper la réaction et 5 mL d'empois d'amidon comme indicateur coloré. On titre, en agitant vigoureusement, l'iode libéré est dosé avec la solution de thiosulfate de sodium 0,01 N jusqu'à décoloration complète et persistance de la couleur.

d. Expression des résultats

L'indice de peroxyde (IP) est exprimé en milliéquivalent d'oxygène par Kg d'huile.

$$IP = \frac{V \times 10}{PE}$$

V : Volume versé de thiosulfate de sodium en (mL)

PE : Prise d'essai en g

3. Détermination de l'indice d'iode (ISO 3961, 2018)

Dans notre étude on se base sur la méthode théorique selon la norme AFNOR

a. Définition

L'indice d'iode (II) permet d'évaluer le degré d'insaturation, Il est la masse d'iode (exprimée en grammes) capable de se fixer sur les insaturations des acides gras contenus dans cent grammes de l'huile.

b. Expression de résultats

$$II = (\%C16:1 \times 1.001) + (\%C18:1 \times 0.899) + (\%C20:1 \times 0.817) + (\%C18:2 \times 1.814) + (\%C18:3 \times 2.737)$$

- C16 : 1 - Acide palmitoléique
- C18 : 1 - Acide oléique
- C20 : 1 - Acide éicosénoïque
- C18 : 2 - Acide linoléique
- C18 : 3 - Acide linoléique

IV. Analyses par spectroscopie UV

1. Détermination de l'absorbance E₂₃₂ et E₂₇₀

Les diènes conjugués possèdent une forte bande d'absorption dans l'ultraviolet au voisinage de 232 nm. Les triènes conjugués possèdent une bande triple au voisinage de 270 nm.

Les produits d'oxydation des acides gras insaturés, lorsqu'ils ont une structure diénique conjuguée (par exemple, l'hydroperoxyde linoléique) absorbent au voisinage de 232 nm.

Les produits secondaires d'oxydation absorbant au voisinage de 270 nm. Par conséquent, la détermination de l'absorbance au voisinage de 232 nm ou au voisinage de 270 nm permet la détection et l'évaluation des produits d'oxydation primaire et secondaire.



Figure 32: Spectroscopie UV-Visible

a. Principe

On procède au mesurage spectrométrique, dans un domaine spécifié de longueur d'onde dans l'ultraviolet de l'absorbance d'un échantillon en solution. On calcule l'absorbance à une concentration de 1 gramme pour 100 mL dans une cuve de 1 cm d'épaisseur.

b. Mode opératoire

On pèse 0,20 g de l'échantillon ainsi préparé dans une fiole jaugée de 20 mL. Ensuite on dissout la prise d'essai avec quelques millilitres du solvant (heptane) à une température ambiante et on complète au trait repère avec le même solvant. On mélange soigneusement et on rince une cuve en quartz trois fois avec la solution d'essai. La cuve ainsi remplie avec la solution d'essai et à l'aide du spectromètre (**Figure 32**), on mesure les absorbances, en utilisant comme référence le solvant utilisé pour la dilution, aux longueurs d'onde comprise entre 220 nm et 320 nm.

2. Détermination de l'indice de para-anisidine : (ISO 6885, 2016)

a. Principe

L'indice de para-anisidine (IpA), ou indice d'anisidine permet de mesure les composants secondaires de l'oxydation d'une huile végétale. Les peroxydes dans les huiles oxydées sont des produits intermédiaires instables, qui se décomposent en produits d'oxydation secondaires.

L'indice d'anisidine est calculé et indiqué sur la base de 1g d'échantillon pour essai dans 100 mL d'un mélange de solvant et de réactif. La procédure analytique consiste à traiter le corps gras dans une solution d'isooctane, avec le réactif para-anisidine, et la quantité de produits de réaction est déterminée par spectrophotométrie à 350 nm dans une cuve de 1 cm.

b. Mode opératoire

D'abord l'huile doit être bien filtrée. Peser 0,500g à 4,000g $\pm$ 0,001g d'huile dans une fiole de 25 mL, et diluer l'échantillon avec 25 mL d'isooctane (Solution A). Mesurer l'absorbance (A_b) de la solution A à 350 nm, le blanc est l'isooctane. Ensuite à l'aide d'une pipette prélever 5 mL de la solution de matière grasse (solution A) dans un premier tube, et pipeter exactement 5 mL du solvant isooctane dans un deuxième tube, ajouter dans les deux tubes 1 mL de la solution para-anisidine, après 10 minutes mesurer l'absorbance (A_s) à 350 nm, le blanc est le deuxième tube qui contient l'isooctane et le para-anisidine.

c. Expression des résultats

L'indice de para-anisidine est donné par la formule suivante :

$$IpA = \frac{25 \times (1, 2A_s - A_b)}{PE}$$

$$Totox = (2 \times IP) + IpA$$

IpA : Indice de para-anisidine.

As : Absorbance de la solution d'huile après réaction avec le para-anisidine.

Ab : Absorbance de la solution d'huile (solution A).

Totox (indice Totox) : Mesure de l'ensemble des formes d'oxydation des acides gras.

PE : Masse de la prise d'essai en g.

IP : Indice de peroxyde.

3. Détermination de la teneur en pigments (caroténoïdes et chlorophylles) : (Mazaheri et al., 2019)

a. Définition

Il faut contrôler la variation de la teneur des huiles en chlorophylle et en caroténoïde, car la photo-oxydation des pigments chromophores (groupement d'atome comportant une ou plusieurs doubles liaisons, et formant avec le reste de la molécule une séquence de doubles liaisons conjuguées) en particulier les pigments (chlorophylle et caroténoïde) entraîne une altération des huiles, sont excités par des réactions lumineuses, conduisent à la formation de radicaux libres à partir des chaînes grasses insaturées. La chlorophylle se trouve ainsi directement impliquée dans les phénomènes oxydatifs.

b. Principe

Le principe de cette analyse c'est de lire la densité optique (absorbance) de l'échantillon de l'huile d'argane à l'aide d'un spectrophotomètre.

c. Mode opératoire

Peser 6g de l'échantillon ainsi préparé dans une fiole jaugée de 20 mL. Dissoudre la prise d'essai avec quelques millilitres du solvant (cyclohexane) à la température ambiante et compléter au trait repère avec le même solvant. Mélanger soigneusement. Rincer une cuve en quartz trois fois avec la solution d'essai. Remplir la cuve avec la solution d'essai et à l'aide du spectromètre, mesurer les absorbances, en utilisant comme référence le solvant utilisé pour la dilution, aux longueurs d'onde 670 et 470 nm.

d. Expression des résultats

$$\text{Caroténoïdes (mg/Kg)} = \frac{A_{470} \times 10^6}{2000 \times 100 \times l}$$

$$\text{Chlorophylles (mg/Kg)} = \frac{A_{670} \times 10^6}{613 \times 100 \times l}$$

A_{470} : Absorbance ultra-violet à 470 nm.

A_{670} : Absorbance ultra-violet à 670 nm.

l : longueur du chemin optique de la cuve (1 cm).

V. Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) (**Figure 33**) utilisé dans cette étude est de type Agilent technologies 6890 N Network GC Système, l'injection manuellement, une colonne capillaire (spécification de la colonne) et un détecteur FID.



Figure 33: Chromatographie en phase gazeuse

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique de séparation d'un mélange de molécules volatiles. Elle repose sur l'équilibre des composés volatils entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. La séparation des composés repose sur la différence d'affinité de ces composés pour la phase mobile et la phase stationnaire. Le mélange à analyser est vaporisé puis transporté à travers une colonne capillaire de silice fondue renfermant un film d'une substance liquide. L'ensemble constitue la phase stationnaire. Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte, appelé « gaz vecteur », qui constitue la phase mobile.

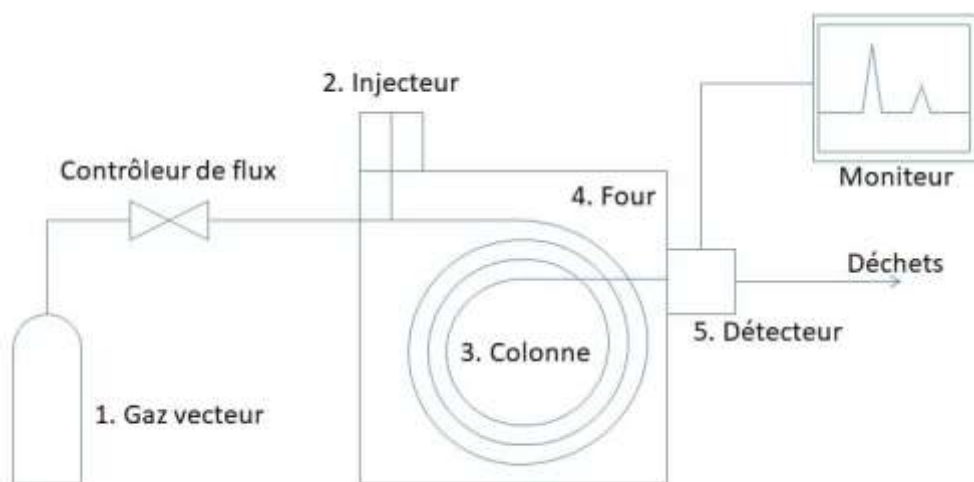


Figure 34: Schéma de la chromatographie en phase gazeuse.

1. Détermination de la composition en acides gras (ISO 12966-2,2017)

a. Définition

Les huiles contiennent une fraction glycéridique, saponifiable, et une fraction insaponifiable.

La fraction glucéridique est constituée des esters du glycérol et d'acides gras. La chaîne carbonée de ces derniers peut être saturée, renfermé une double liaison ou plusieurs doubles liaisons. On les appellera respectivement des acides gras saturés (AGS), monoinsaturés (AGMI) ou polyinsaturés (AGPI).

b. Principe

On dissout l'huile dans l'isooctane afin de transformer les acides gras à des esters méthyliques par trans estérification en présence de KOH pour réaliser les conditions de saponification et on extrait par la suite la phase organique. On élimine les traces de l'eau que sont formés à la fin de la réaction par l'hydrogéo-sulfate de sodium anhydre.

c. Mode opératoire

- Peser une masse de 0,1 g de l'huile dans un tube d'essai par la suite on ajoute 2 mL d'isooctane et agiter.
- Ajouter 0,1 mL de solution méthanolique d'hydroxyde de potassium (2N) et agiter vigoureusement (1 min).
- Laisser la solution reposer pendant 2 min.
- Ajouter environ de 2 mL de chlorure de sodium (40 g dans 100 mL d'eau distillée) et agiter brièvement.
- Prélever la phase organique et la transférer dans un tube.
- Ajouter environ 1 g d'hydrogénosulfate de sodium anhydre.
- Injecter 1 μ L dans CPG.

d. Analyse des esters méthyliques par CPG

Conditions chromatographiques
1. Température de l'injecteur : 220 °C
2. Température du four pour colonne : 175 °C
3. Température du détecteur FID : 220 °C
4. Colonne capillaire : BPX70

e. Expression des Résultats

✓ Identification des acides gras :

Avant toute analyse, il est nécessaire d'identifier les esters méthyliques des acides gras on peut le faire de deux manières :

- Injection des standards correspondants à ces esters méthyliques.
- Injection de l'échantillon d'huile si possible ayant les mêmes caractéristiques que l'huile à analyser.

✓ Calcul des pourcentages des acides gras :

Le pourcentage des acides gras est donné par le rapport suivant :

$$\% \text{ AG} = \frac{S_i}{\sum S_i} \times 100$$

Avec :

Si : la surface de l'acide gras.

$\sum S_i$: la somme des surfaces des différents acides gras.

VI. Analyse sensorielle de l'huile d'argane (Gharby, 2012)

Le but de l'analyse sensorielle de l'huile d'argane est la recherche et l'évaluation de toutes les propriétés de finesse, de richesse, d'équilibre et de typicité qui distinguent une huile commune d'une huile de qualité.

L'analyse d'un échantillon se base sur trois phases :

1. **Examen visuel** : aspect et couleur
2. **Examen olfactif-gustatif** : composition, qualité et intensité des saveurs
3. **Examen tactile** : onctuosité.

Avant de commencer la dégustation, on verse une petite quantité d'huile dans un verre, préférablement transparent.

N.B : le dégustateur peut manger un petit morceau de chocolat ,boire du café ou de l'eau entre l'évaluation de deux huiles pour dégraisser et nettoyer la bouche.

1. Vue

L'aspect d'une huile peut être :

- **Limpide** : l'huile a été filtrée ou a subi un processus naturel de décantation. Cet aspect n'est pas nécessairement un signe de qualité, mais peut contribuer à l'évaluation globale et suggérer des interprétations pendant le reste de l'évaluation.
- **Voilé** : l'huile n'a pas été filtrée.
- **Trouble** : l'huile contient des impuretés en suspension. Cet aspect est un défaut qui indique un manque de propreté de l'huile.
- **Couleur** : l'échantillon peut présenter différentes nuances de jaune, qui vont du jaune paille au doré ou ambré. Cet aspect dépend du degré de torréfaction des amandons. Si

la couleur vire à l'orange, il est très probable que l'oxydation de l'huile ait déjà commencé.

La présence d'un aspect trouble et d'une couleur orange ne peut que comporter une évaluation négative de l'échantillon.

2. Odorat

Après l'examen visuel, le verre contenant l'huile est porté vers le nez. Les sensations olfactives sont analysées à travers de brèves et intenses inhalations répétées. Ce procédé ne doit pas dépasser 30 secondes. Si cette période de temps n'a pas été suffisante pour juger de la qualité de l'huile, le spécialiste doit reposer son odorat avant de répéter l'exercice. Une huile, dans des conditions optimales de dégustation, ne devrait pas être inodore. Son parfum peut être plus ou moins intense, simple ou complexe. Pour définir l'intensité, le dégustateur peut faire référence à une échelle de valeurs croissantes, qui va de : à peine perceptible à légère, moyenne, intense, jusqu'à très intense.

Concernant, la composition, il s'agit de déterminer les différents parfums perçus par le nez. Ils se présentent parfois comme parfums individuels avec un ou plusieurs éléments dominants, mais peuvent également se fondre en un bouquet plus ou moins harmonieux. L'ensemble des sensations olfactives peut également apparaître en termes de qualité : plus ou moins fine, fraîche, élégante ou, au contraire, piquante, lourde, grossière. (Il n'est pas rare de trouver en commerce des bouteilles d'huile, lesquelles, suite à une mauvaise conservation - exposition à la lumière et à la chaleur, subissent de graves altérations oxydatives compromettant ainsi les qualités organoleptiques.).



Figure 35: Technique de l'odorat.

À ce point, après avoir porté le verre aux lèvres, on laisse tomber une petite quantité d'huile sur la langue (une petite cuillère environ) que l'on retient dans la bouche. L'huile atteint à la température de la muqueuse orale (28 °C environ), dégage ainsi encore plus facilement les molécules odorantes qui satureront l'air qui se trouve dans la cavité orale-pharyngale. En inspirant l'air entre les dents et l'expirant du nez, on peut apprécier complètement, par voie rétro-nasale, tous les parfums de l'échantillon. Une fois terminé l'examen olfactif, on continue avec l'évaluation des sensations ressenties dans la bouche. Il s'agit de sensations qui concernent le goût, le toucher et la sensibilité chimique, dont les récepteurs spécifiques se trouvent sur la langue et sur des zones précises de la muqueuse des joues et de la partie postérieure de la cavité orale. L'huile qui maintenant se trouve sur la langue doit enduire chaque coin de la bouche et de la gorge. Il est très important de répandre l'huile dans toute la cavité orale, puisque la perception des saveurs fondamentales (sucrée, amère, acide, salée) change d'intensité dans les différentes zones de la langue et du palais.

Des inspirations brèves et successives, en introduisant l'air par la bouche, favorisent l'opération. En examinant avec attention toutes les sensations, on peut enregistrer les caractéristiques de l'échantillon de la façon suivante : Le goût amer est dû à la torréfaction des amandons. La sensation sucrée n'est pas due à la présence de sucres et donc n'est pas perçue

comme un goût, mais elle est le résultat d'une complexe Interaction entre des stimulations gustatives, tactiles, et chimiques. Le sucré n'est pas simplement. Perçu comme absence de l'amer : en effet, souvent on sent les deux sensations ensemble (sucré et amer).

3. Toucher

Sachant que l'huile d'argane exprime nécessairement une sensation onctueuse, l'attribut fluide (ou coulant) ne doit pas être interprété comme absence totale d'onctuosité, mais plutôt comme une perception réduite, due à la manifestation d'autres caractères comme l'astringence par exemple. Le corps d'une huile peut être : vide, pauvre, mince ou plein. Il s'agit d'une synthèse de toutes les sensations en bouche. Aussi, ne dépend-t-il pas d'un élément unique, mais plutôt d'une combinaison équilibrée de plusieurs facteurs.

4. Goût

Après avoir noté les sensations tactiles, on passe à l'examen des sensations dégoût-odorat, donc la saveur de l'huile. On utilise la section de la fiche prévue à cet effet et on note nos impressions en termes de :

- **Composition** : noisette, cacahouète, épice.

- **Qualité** : fin, grossier.



Figure 36: Dégustation de l'huile.

VI. Étude statistique

1. Traitement des résultats des analyses chimiques

Les résultats présentés sont les moyennes d'analyses réalisées en double et en triple exemplaire. Ces résultats sont présentés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type. Les écarts types de nos résultats sont calculés par le logiciel EXCEL 2016.

Partie III :

Résultats et Discussion



Chapitre 1 : Caractérisation physicochimiques des plantes aromatiques et médicinales

L'objectif de ce chapitre est d'identifier et de caractériser les propriétés physicochimiques, le profil protéique, le profil minéral et le profil antioxydant de différents types de plantes, à savoir le thym et l'origan.

I. Composition minérale des PAMs

Les résultats de l'analyse ICP-OES des plantes aromatiques et médicinales donnent la possibilité de quantifier la teneur en éléments minéraux, afin de faire la différence entre l'origan et le thym. Le **Tableau 17** présente les teneurs en éléments minéraux exprimés en mg/kg.

1. Teneur en Zinc

Le zinc (Zn) est reconnu comme l'un des éléments les plus essentiels du corps humain ([Abendrot & Kalinowska-Lis, 2018](#)). La carence en zinc est un problème de santé mondial qui affecte la croissance et le développement des enfants ([Prasad, 2020](#)).

Nos résultats montrent que la teneur en zinc la plus élevée en cet élément se trouve principalement dans l'origan ($40,2 \pm 3,2$ mg/kg), puis dans le thym ($15,1 \pm 1,2$ mg/kg).

2. Teneur en Fer

Le fer (Fe) est l'un des micronutriments les plus importants pour les plantes car il intervient dans de nombreuses fonctions cellulaires (par exemple, la photosynthèse et la respiration) ([Gao et al., 2019](#)). Un corps Humain adulte contient entre 2,5 et 4 g de fer. Pour être plus précis, le corps adulte d'une femme contient environ 35 à 50 mg de fer par kilogramme et celui d'un homme 40 à 50 mg/kg ([Cayot, 2022](#)).

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une grande différence au niveau de la teneur en Fe, dont on trouve que la teneur la plus élevée de cet élément se trouve dans l'origan (1204.8 ± 97.5 mg/kg) puis dans le thym (507 ± 41 mg/kg).

3. Teneurs en Bore

Le bore (B) est un élément chimique de numéro atomique 5 et considéré comme un nutriment essentiel pour la croissance des plantes, il est également utilisé comme fertilisant dans l'agriculture, cependant il a été montré qu'il n'existait qu'une petite fenêtre de concentration entre la carence et la toxicité ([Van, 2018](#)).

À partir de nos résultats, la différence au niveau de la teneur en Bore est presque négligeable, l'origan présente $37,5 \pm 3,0$ mg/kg tandis que le thym a enregistré une teneur de

39,6 ± 3,2 mg/kg.

4. Teneur en Manganèse

Le manganèse (Mn) est un micronutriment essentiel pour tous les organismes vivants, étant donné son rôle dans de nombreux processus métaboliques. Chez les végétaux, il participe à la structure des protéines et des enzymes photosynthétiques, à la respiration et l'assimilation de l'azote, il peut devenir toxique pour la croissance et le développement des plantes. Ainsi, le manganèse a des rôles antagonistes pour les végétaux. Il joue le rôle de micronutriment à de faibles concentrations et d'élément toxique quand il est en excès dans le sol (Nzengue *et al.*, 2019).

La teneur du Mn est de **143,2 ± 11,6 mg/kg** dans l'origan et **37,5 ± 3,0 mg/kg** dans le thym.

5. Teneur en Magnésium

Le magnésium (Mg) est un macronutriment essentiel à la croissance et au développement des plantes (Kan *et al.*, 2022). C'est le deuxième cation le plus abondant dans les cellules des mammifères, et il est essentiel pour de nombreux processus cellulaires, notamment les réactions enzymatiques, les fonctions des canaux ioniques, les cycles métaboliques, la signalisation cellulaire et la stabilité de l'ADN/ARN (Yamanaka *et al.*, 2019). Cet élément est crucial pour la santé des os. De faibles concentrations de Mg inhibent l'activité des ostéoblastes et favorisent celle des ostéoclastes (Mammoli *et al.*, 2019).

Nos résultats démontrent que la teneur élevée en Mg est observée dans l'origan (**3864,4 ± 313,0 mg/kg**). Cependant, la teneur la plus faible a été trouvée dans le thym (**2419,9 ± 196,0 mg/kg**).

6. Teneur en Calcium

Le calcium (Ca) comme le magnésium est un élément essentiel nécessaire à la croissance et au développement des plantes, qu'elles soient soumises à des conditions de stress ou non. Il remplit ainsi une double fonction, étant non seulement un facteur important pour la stabilité de la paroi cellulaire et de la membrane (Thor, 2019).

Le calcium est un élément essentiel qui joue de nombreuses fonctions biologiques dans le corps humain, dont l'une des plus importantes est la minéralisation du squelette. L'os est un tissu conjonctif minéralisé dont le calcium représente le principal composant, conférant à l'os sa solidité et sa structure. Un apport alimentaire adéquat en calcium est important pour le

développement et le métabolisme des os, et ses besoins peuvent varier tout au long de la vie (Vannucci *et al.*, 2018).

Nos résultats des éléments minéraux, présentent des différences plus importantes entre les plantes analysées. En effet le taux élevé de Ca est détectée dans l'origan avec une teneur de $(22888,6 \pm 1853,9 \text{ mg/kg})$, Alors que le thym a révélé un taux de $(6857,8 \pm 555,4 \text{ mg/kg})$.

7. Teneur en Sodium

Le sodium (Na) est un minéral et un nutriment essentiel utilisé dans les pratiques alimentaires à travers le monde. Il est important pour maintenir un volume sanguin et une pression sanguine corrects (Patel & Joseph, 2020).

Le **Tableau 17** indique que la quantité élevée en (Na) a été trouvée dans le thym $(4045,9 \pm 327,7 \text{ mg/kg})$, cependant l'origan a une teneur faible $(1258,6 \pm 101,9 \text{ mg/kg})$.

8. Teneurs en potassium

Le potassium (K) est un élément nutritif essentiel pour les plantes qui joue un rôle central dans les processus physiologiques et métaboliques des plantes, et assure la résistance aux stress biotiques et abiotiques (Sattar *et al.*, 2019).

D'après le **Tableau 17** nous avons constaté que le potassium (K) a des valeurs quantitativement plus élevées et plus importante par rapport au sodium (Na). Il est présent dans les plantes à des niveaux élevés allant de $19154,2 \pm 1551,4 \text{ mg/kg}$, pour l'origan, à $8722,1 \pm 706,5 \text{ mg/kg}$ pour le thym.

Tableau 17: Teneurs en éléments minéraux des deux plantes aromatiques et médicinales exprimées en mg/kg

	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Origanum vulgare</i>
Mg	2419,9 ± 196,0	3864,4 ± 313,0
Ca	6857,8 ± 555,4	22888,6 ± 1853,9
K	8722,1 ± 706,5	19154,2 ± 1551,4
Na	4045,9 ± 327,7	1258,6 ± 101,9
Zn	15,1 ± 1,2	40,2 ± 3,2
Fe	507,0 ± 41,0	1204,8 ± 97,5
B	39,6 ± 3,2	37,5 ± 3,0
Mn	37,5 ± 3,0	143,2 ± 11,6
Cu	10,4 ± 0,8	10,4 ± 0,8

Les résultats expérimentaux montrent que les plantes analysées représentent une bonne source de Ca, K, Mg et Na. Toutefois, ils sont déficients en ; B, Cu, Mn Zn, Fe. De plus, des différences significatives dans le profil minéral analysé entre les plantes sont obtenues. Ces différences sont probablement liées à la variété, à l'environnement et aux conditions climatiques dans lesquelles les cultures sont pratiquées, ainsi que l'agro-technologie.

II. Caractérisation physico-chimique des PAMs

En plus de leur richesse en éléments minéraux. Les plantes se caractérisent également par une multitude des éléments naturels, ce qui les rend une source précieuse pour les consommateurs.

La teneur en matière sèche, en matière minérale, teneur en eau, teneur en protéines, des plantes aromatiques et médicinales sont indiquées dans le **Tableau 18**.

Tableau 18: Composition physicochimique des PAMs.

	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Origanum vulgare</i>
Matière sèche (g/100g)	91,27	90,45
Teneur en eau (g/100g)	8,73	9,55
Matière minérale (g/100g)	7,82	10,27
Nitrogène (g/100g)	2,00 ± 0,01	1,69 ± 0,01
Protéine (g/100g)	12,5 ± 0,3	10,5 ± 0,3

1. Teneur en eau des PAMs

La présence d'eau est susceptible de favoriser la contamination par les micro-organismes. Ces derniers libèrent des enzymes qui peuvent entraîner l'hydrolyse des triglycérides et par conséquent la libération des acides gras (Harhar *et al.*, 2011).

D'après nos résultats, des différences sont observées dans les deux types de plantes. En effet, la faible teneur enregistrée est de **8,73 g/100g** trouvée dans le thym (**Tableau 18**). Tandis que l'origan a enregistré une valeur plus élevée, soit **9,55 g/100g**.

Cette variation dans la teneur en eau pourrait être attribuable aux variations dans le patrimoine génétique, de la température, de la zone de culture et de plusieurs autres facteurs intervenants entre les plantes (Arrutia *et al.*, 2020).

2. Matière minérale totale

La matière minérale est le reste inorganique qui subsiste après l'élimination de l'eau et de la matière organique obtenue par chauffage en milieu oxydant (Xu *et al.*, 2020). Elle représente la quantité totale de sels minéraux dans un aliment (Mansouri *et al.*, 2018).

D'après nos résultats (**Tableau 18**), la teneur en matière minérale est détectée dans le thym (**7,82 g/100g**). Alors que l'origan a enregistré une valeur de **10,27 g/100g**.

3. Teneur en protéines totales

Les protéines végétales sont apportées principalement par des aliments traditionnels comme les légumes secs et les produits céréaliers, et de manière plus marginale par les légumes et les fruits (Guéguen *et al.*, 2016).

Comme le montre le **Tableau 18**, l'origan présente une teneur en protéines de $10,5 \pm 0,3$ g/100g. Cependant, le thym affiche une teneur légèrement supérieure en protéines ($12,5 \pm 0,3$ g/100g), avec une différence moins marquée.

III. Activité antioxydante

1. Teneur en flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes sont des composés phénoliques de faible poids moléculaire dont la structure chimique dépend d'un squelette à 15 atomes de carbone, contenant deux cycles aromatiques liés par un cycle pyranne hétérocyclique (C6-C3-C6) ([Abdelali et al., 2021](#)).

La teneur totale en flavonoïdes de l'origan était de $93,410 \pm 0,01$ mg EQ/g et du thym était de $97,520 \pm 0,01$ mg EQ/g (**Tableau 19**).

2. Teneur en polyphénols totaux

Les polyphénols sont une famille de molécules complexes que les plantes produisent naturellement pour se défendre contre diverses agressions ([Larbat, 2020](#)). Plusieurs milliers de polyphénols ont été identifiés dans le monde végétal et plusieurs centaines se trouvent dans les plantes comestibles ([Achat, 2013](#)). Ils sont caractérisés, comme l'indique le nom, par la présence d'au moins deux phénols associés en structures plus ou moins complexes.

Nous trouvons la teneur en polyphénols de l'origan ($46,84 \pm 0,01$ mg EAG/g) et du thym ($54,380 \pm 0,01$ mg EAG/g) (**Tableau 19**).

3. Activité antioxydante par test DPPH

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. De nombreuses méthodes sont utilisées actuellement pour évaluer cette activité. Le radical DPPH a été largement utilisé pour l'étude de l'activité anti radicalaire des différents extraits végétaux. Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle fut l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier la relation structure-activité antioxydant des composés phénoliques. Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote ([Himeur, 2021](#)).

L'activité antioxydante pour la plante de thym a enregistré une valeur de **94%**. Tandis que l'origan a enregistré **92%** (**Tableau 19**).

4. Activité antioxydante par test FRAP

Le test FRAP a été utilisé pour valider l'activité antioxydante des échantillons de thym et d'origan. Ce test est recommandé comme outil rapide, simple, bon marché et reproductible pour mesurer l'activité antioxydante des plantes aromatiques et médicinales (Polumackanycz et al., 2021).

À partir des résultats obtenus (Tableau 19), il apparaît clairement qu'elle y'a une petite différence entre l'activité antioxydante du thym et de l'origan, soit, $49,81 \pm 0,01$ EAA/ g et $41,43 \pm 0,01$ mg EAA/ g respectivement. En effet, le thym a enregistré une valeur un peu élevée par rapport à l'origan.

Tableau 19: Teneur en polyphénols, flavonoïdes totaux et activité antioxydante.

	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Origanum vulgare</i>
TPT (mg EAG / g)	$54,38 \pm 0,01$	$46,84 \pm 0,01$
TFT (mg EQ / g)	$97,52 \pm 0,01$	$93,41 \pm 0,01$
DPPH %	94	92
FRAP (mg EAA / g)	$49,81 \pm 0,01$	$41,43 \pm 0,01$

Chapitre 2 : Caractérisation physico-chimiques de l'huile d'argane enrichie par des PAMs

L'enrichissement de l'huile d'argane par des plantes aromatiques et médicinales est une pratique traditionnelle de la gastronomie.

En effet, plusieurs travaux ont montrés l'effet positif d'enrichissement des huiles par des plantes aromatiques et médicinales sur ses caractéristiques physico-chimiques ([Madani et al., 2017](#); [Valle-Prieto et al., 2017](#)).

En guise d'exemple, l'étude de ([Miguel et al., 2014](#)) a montré que l'enrichissement de l'huile d'olive par le Thym (*thymbra capitata*) améliore sa stabilité oxydative. Autres études signalent également que l'enrichissement de l'huile d'olive vierge par les feuilles d'origan, augmente sa capacité antioxydante ainsi la teneur en antioxydants naturels ([Madani et al., 2017](#)).

Les méthodes d'enrichissement comprennent la macération traditionnelle, la macération avec application d'ultrason ou de micro-ondes ([Assami et al., 2016](#); [Benmoussa et al., 2016](#)), l'extraction de différents composés (par extraction solide-liquide, liquide-liquide ou supercritique) de la matière et incorporation de l'extrait dans l'huile, et, enfin, co-traitement lors du broyage ou de la malaxation ([Abenoza & Sánchez-Gimeno, 2021](#)).

Nous avons décidé dans cette étude à enrichir l'huile d'argane alimentaire avec des concentrations différents d'origan et de thym en utilisant deux méthodes d'enrichissement : l'enrichissement par macération et l'enrichissement au cours d'extraction.

L'objectif de ce travail était de comparer l'influence de deux techniques d'enrichissement différentes (par macération contre au cours d'extraction de l'huile) sur la qualité chimique et sensorielle d'huile d'argane enrichie en origan et en thym. En particulier, la stabilité oxydative par des analyses de routine et non conventionnelles (Acidité, Indice de peroxyde, Extinction spécifique, Indice de para-anisidine, Indice de l'oxydation totale), les analyses de la pureté (Acides gras par CPG), les activités antioxydants et les propriétés sensorielles de l'huile ont été évaluées.

I. Enrichissement de l'huile d'argane par macération

La macération de plantes aromatiques et médicinales dans l'huile a été utilisée comme méthode pour obtenir des huiles aromatisées.

1. Acidité

La valeur de l'acide gras libre dans les huiles végétales est l'un des paramètres importants pour décrire la qualité des huiles végétales comme l'huile d'argan et l'huile d'olive ([Gharby et al., 2020](#)).

a. Évolution de l'acidité à 60 °C

L'acidité de l'huile d'argane extra vierge ne dépasse pas 0.8 g/100g ([Gharby et al., 2011](#)). Les échantillons d'huile d'argane pendant 4 mois de stockage à 60 °C leur acidité diminue de 0.274 ± 0.008 à 0.250 ± 0.002 g/100g dans l'échantillon non enrichie (HANE) (**Figure 37**). Tandis que dans l'huile d'argane enrichie à 5 g d'origan/100g de l'huile (HAEO), la valeur d'acidité après 4 mois de stockage est égale à 0.330 ± 0.003 g/100g. L'huile enrichie par 10g/100g, présente une acidité de l'ordre de 0.36 ± 0.02 g/100g. En ce qui concerne l'huile d'argane enrichie avec le thym (HAET) 5g/100g a enregistré une valeur d'acidité égale à 0.36 ± 0.01 . Alors que, l'huile enrichie en thym 10g/100g a enregistré une valeur de 0.41 ± 0.01 .

À partir de nos résultats, l'origan à 5% a enregistré la faible valeur par rapport aux autres échantillons.

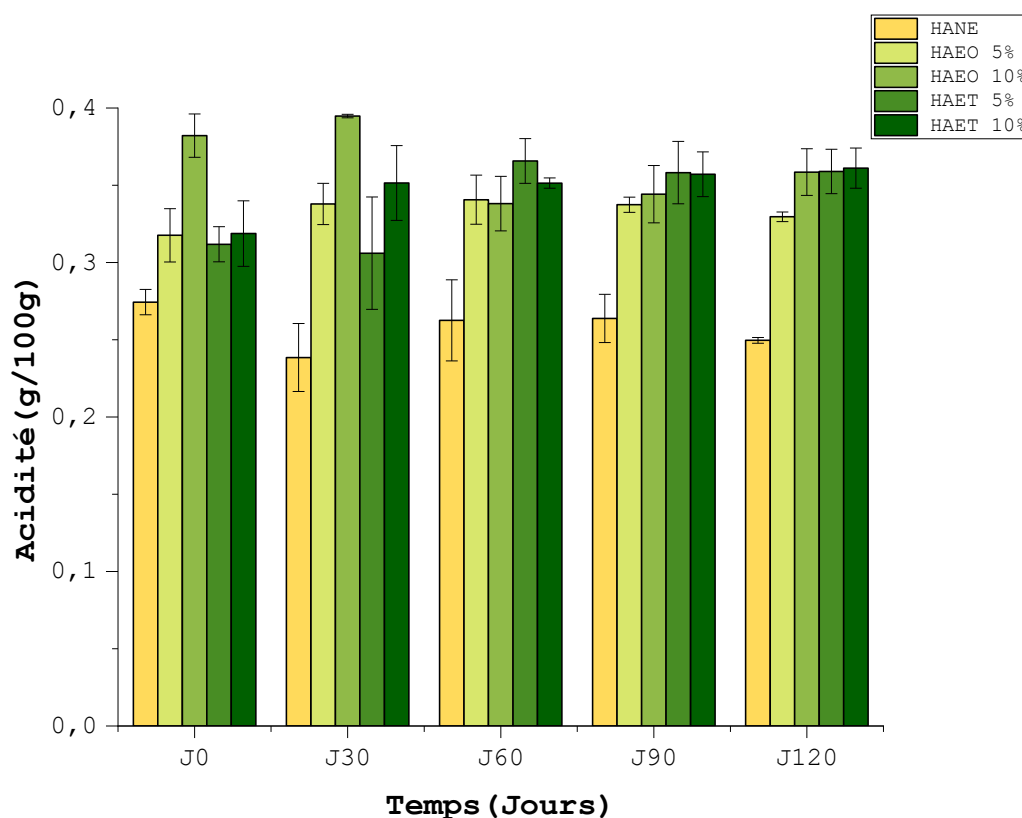


Figure 37: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

b. Évolution de l'acidité à température ambiante sous l'effet de la lumière

La **Figure 38** illustre les résultats de l'évolution de l'acidité mensuelle pendant 4 mois des huiles d'argane enrichies en origan (5% et 10%) et en thym (5% et 10%) stockées à la lumière.

Généralement tous les échantillons enrichis et non enrichis d'argane ont connu une augmentation durant le premier mois de stockage. En effet, le taux d'acidité pour l'huile d'argane non enrichie a diminué pour atteindre 0.206 ± 0.002 g/100g. Alors qu'en ce qui concerne l'huile enrichie avec de 5g/100g d'origan, une diminution de 0.252 ± 0.002 g/100g a été observée. En revanche, l'acidité de l'huile enrichie en origan 10g/100g a diminuée pour atteindre 0.250 ± 0.004 g/100g. Tandis que l'huile enrichie en thym, 0.244 ± 0.007 g/100g dans l'échantillon qui contient la concentration de 5g/100g et 0.248 ± 0.007 dans huile enrichie à 10g/100g de thym. À partir de nos résultats, le thym à 5% a enregistré la faible valeur par rapport aux autres échantillons.

Nous remarquons que le taux d'acidité des huiles enrichies plus élevé que celle de l'huile non enrichie, cette variation due à la présence des acides gras libres dans les plantes utilisées.

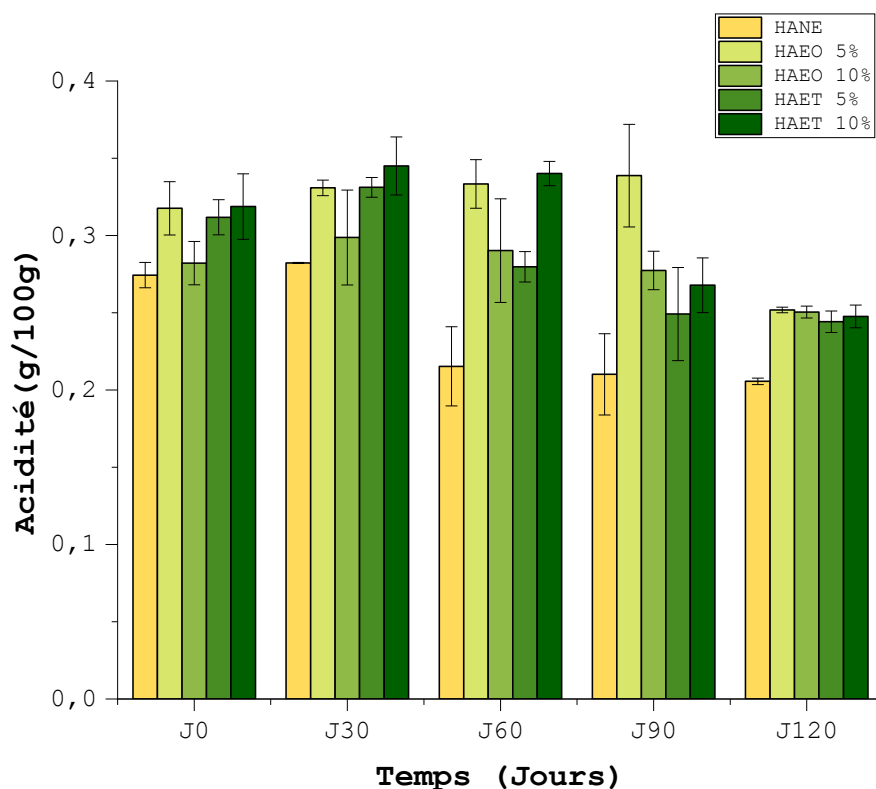


Figure 38: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

c. Évolution de l'acidité à l'abri de la lumière

Les échantillons d'huile d'argane placés à l'abris de la lumière présentent des valeurs d'acidité inférieures à celles de l'huile enrichie par le thym et par l'origan après quatre mois de stockage, dont l'huile d'argane non enrichie a enregistré une valeur de **0.201 ± 0.002** g/100g.

L'huile enrichie en origan à 5g/100g présente une valeur d'acidité de **0.270 ± 0.006** g/100g. Quant à l'échantillon d'huile enrichie par 10g/100g présente une valeur de **0.278 ± 0.005** g/100g. L'échantillon contenant du thym à 10g /100 a noté une valeur de **0.288 ± 0.002** g/100g. Cependant, la valeur en acidité la plus faible, **0.258 ± 0.004** g/100g, a enregistré dans l'échantillon enrichie par 5g/100g de thym.

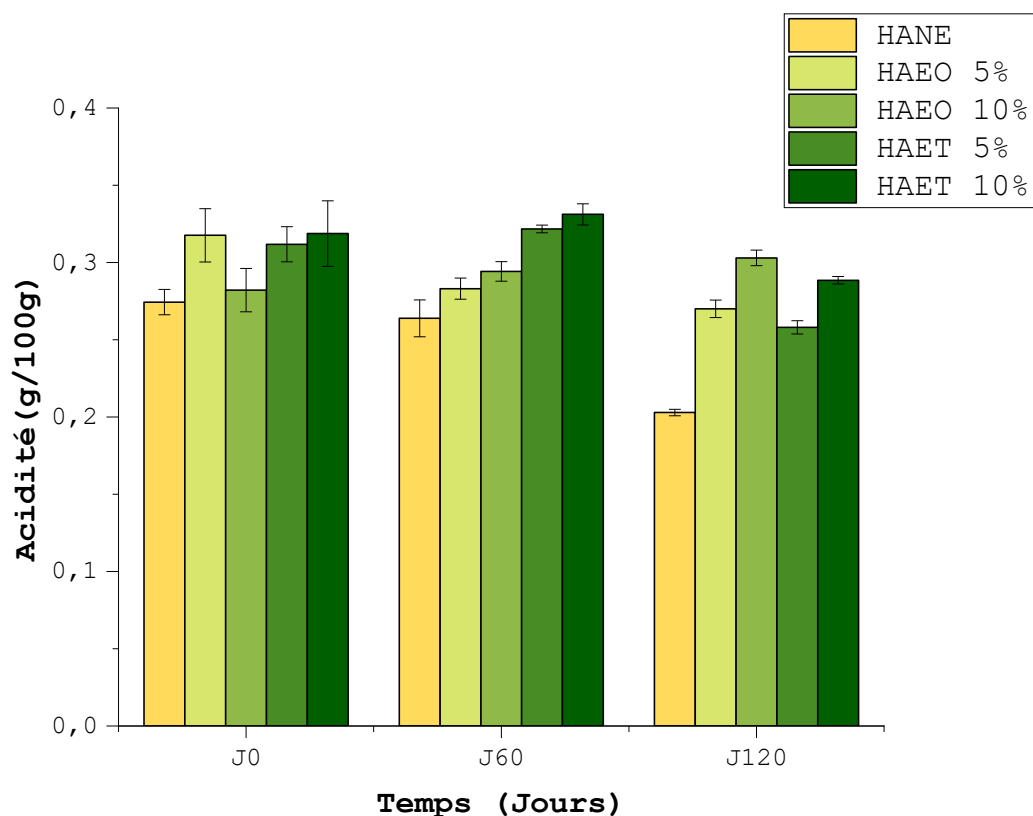


Figure 39: Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de lumière pendant 4 mois de stockage.

L'ajout des PAMs augmente de manière significative les valeurs d'acidité de l'huile par rapport au témoin. Le site d'augmentation enregistré dans les valeurs d'acidité dans notre étude pourrait être liée à l'augmentation de l'activité enzymatique qui favorise les réactions lipolytiques dans l'huile d'argane.

Les résultats de [\(Ayadi et al., 2009\)](#) montrent que l'ajout des plantes aromatiques entraîne une légère augmentation de l'acidité libre des huiles enrichies. [\(Sousa et al., 2015\)](#) ont également vérifié que les valeurs d'acidité augmentaient lors de l'aromatisation de l'huile d'olive. Alors que, l'étude de [\(Abenoza & Sánchez-Gimeno, 2021\)](#) montre que l'aromatisation de l'huile d'olive par l'ail n'a aucun effet sur les valeurs de l'acidité par contre l'aromatisation de cette huile par le romarin augmente l'acidité.

2. Produits primaires d'oxydation

2.1 Indice de peroxyde

L'IP est un paramètre couramment utilisé pour évaluer l'état d'oxydation primaire des huiles végétales au cours des traitements technologiques et du stockage (Cuvelier & Maillard, 2012). Il reflète la teneur d'hydroperoxydes formés par l'oxydation (Rahma *et al.*, 2018).

L'indice de peroxyde est une mesure de la quantité d'oxygène chimiquement liée à une huile ou un corps gras sous forme de peroxydes, en particulier d'hydroperoxydes (Pandia *et al.*, 2019). Il convient de noter que l'indice de peroxyde est un paramètre dynamique dont la valeur dépend de l'historique de l'échantillon (ISO 3960:2017). D'ailleurs, le vieillissement accéléré est considéré comme un bon moyen pour évaluer la peroxydation lipidique (Gharby *et al.*, 2021).

C'est un critère qualitatif, utile d'une sensibilité satisfaisante pour apprécier les premières étapes d'une détérioration oxydative exprimé en milliéquivalents d'oxygène par kg (Naseri *et al.*, 2018).

a. Évolution de l'indice de peroxyde à 60 °C

Les valeurs de l'indice de peroxyde des différents échantillons d'huile d'argane ayant fait l'objet de notre étude sont reportées sur la **Figure 40**. À 60 °C les échantillons d'huile d'argane ont subi une évolution croissante de l'IP durant toute la période de stockage. L'évolution de cet indice presque dans la plupart des huiles a passé par deux phases, la première où nous avons remarqué une augmentation de l'indice de peroxyde entre 15 jours et un mois. La deuxième phase où, nous avons constaté une diminution de cet indice à partir du 30 jour de stockage.

Nos résultats montrent que la première phase correspond à une formation d'hydroperoxydes, (Almeida *et al.*, 2019). L'évolution la plus intense a été enregistré dans l'huile enrichie entre 30 jours et 45 jours. Nous trouvons que l'huile enrichie par l'origan 5g/100g a enregistré l'augmentation de l'indice de peroxyde la plus forte par rapport aux autres huiles enrichies soient 14.75 ± 0.10 mEqO₂/kg après 4 mois de stockage.

Les autres huiles ont enregistré des valeurs de 13.33 ± 0.09 mEqO₂/kg pour l'huile enrichie par 10% d'origan, 3.16 ± 0.10 mEqO₂/kg et 3.33 ± 0.10 mEqO₂/kg dans les échantillons enrichis par 5g/100g, 10g/100g, de thym respectivement après 4 mois de stockage.

En guise de conclusion on peut dire qu'après 4 mois de stockage les valeurs de l'indice de peroxyde pour les huiles enrichies sont acceptable et la meilleure stabilité oxydative

correspond à une concentration de 5% de thym. Ce qui montre l'effet positif de l'enrichissement de l'huile par le thym.

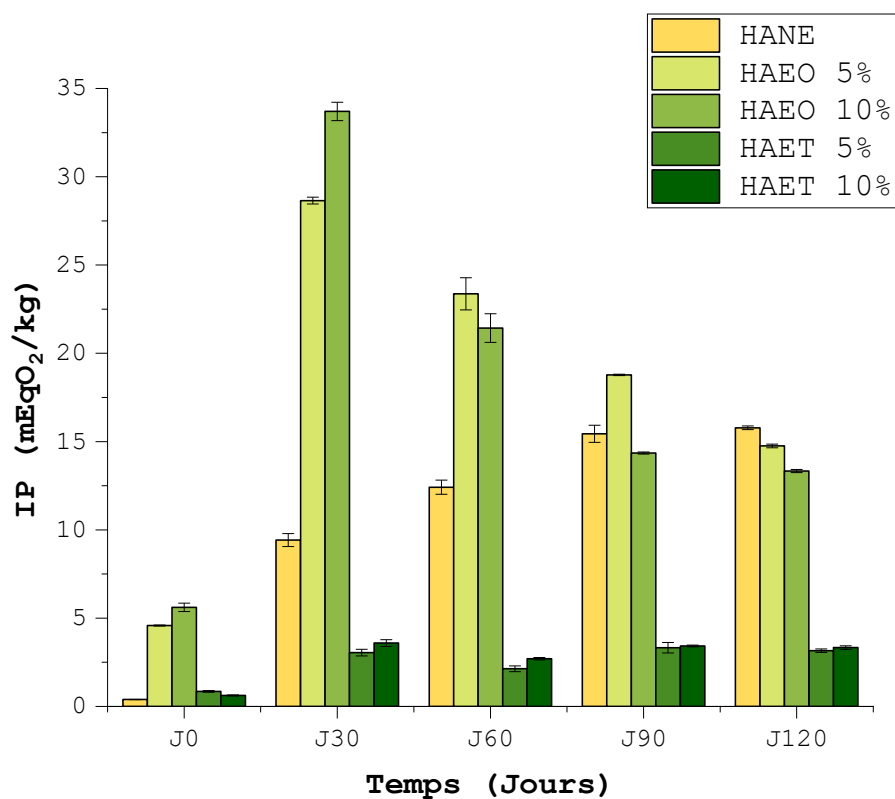


Figure 40: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C.

b. Évolution de l'indice de peroxyde à température ambiante sous l'effet de la lumière

L'analyse des résultats de la **Figure 41** montre une évolution de l'indice de peroxyde de toutes les huiles d'argane enrichie ainsi que celui du témoin en fonction de la durée de stockage. La valeur initiale de l'indice de peroxyde de nos échantillons est inférieure à celle fixée par **SNIMA 2003** (15 mEqO₂/kg).

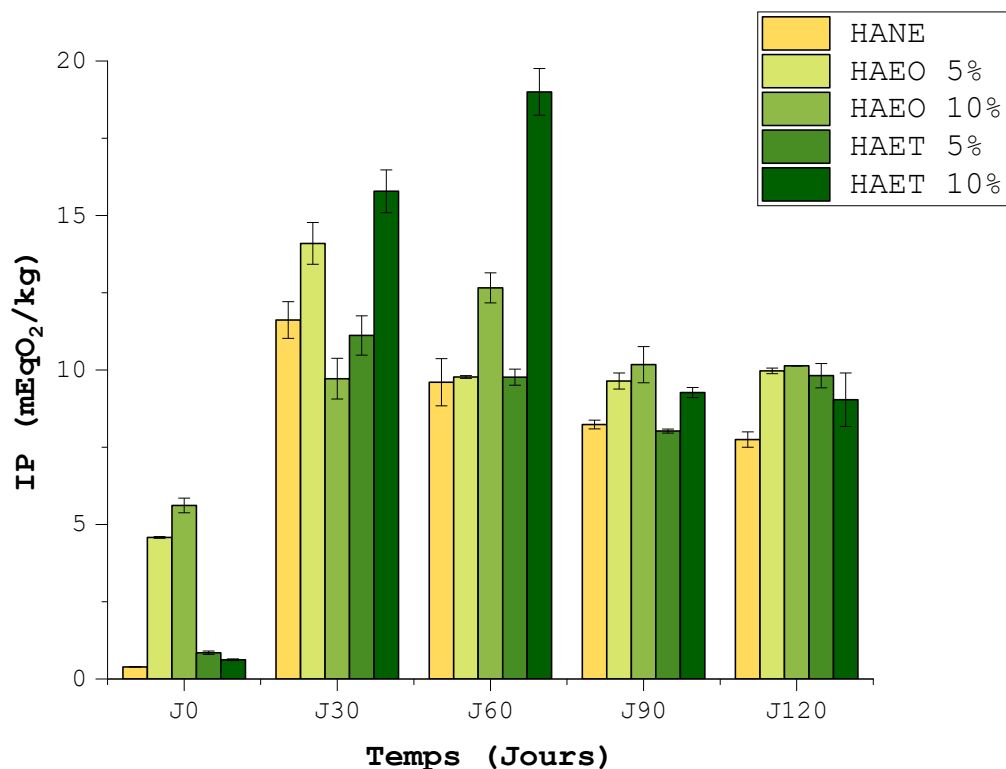


Figure 41: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

Pour l'huile vierge d'argane, l'IP a enregistré une augmentation qui arrive à une valeur de 11.62 ± 0.59 mEqO₂/kg après 30 jours de stockage à la lumière. Ensuite, cette huile a subi une chute accélérée jusqu'à atteinte 7.75 ± 0.25 mEqO₂/kg. Cette diminution peut être expliquée par le début de la décomposition des hydroperoxydes en produits secondaires d'oxydation (Tavakoli *et al.*, 2019).

Pour les huiles enrichies par origan et thym, nos résultats montrent une augmentation plus importante que celle de l'huile non enrichie. En effet, les huiles ont enregistré des valeurs de 9.97 ± 0.09 mEqO₂/kg ; 10.14 ± 0.01 mEqO₂/kg ; 9.82 ± 0.39 mEqO₂/kg ; 9.04 ± 0.87 mEqO₂/kg dans les échantillons d'huile d'argane enrichis d'origan 5g/100g ; 10g/100g et de thym 5g/100g ; 10g/100g respectivement. Toutes les valeurs après 4 mois de stockage sont inférieures à la valeur fixée par la norme (15 mEqO₂/kg).

En guise de conclusion la meilleure huile en termes de stabilité oxydative est l'huile enrichie de thym (10%) car elle a noté une faible concentration que les autres échantillons.

c. Évolution de l'indice de peroxyde à l'abri de la lumière

Les valeurs de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane ont augmenté de 0.392 ± 0.002 mEqO₂/kg dans l'huile non enrichie à 1.68 ± 0.6 mEqO₂/kg, de 4.58 ± 0.03 mEqO₂/kg à 7.26 ± 0.68 mEqO₂/kg, de 5.61 ± 0.24 mEqO₂/kg à 7.75 ± 0.24 mEqO₂/kg, de 0.85 ± 0.05 mEqO₂/kg à 2.77 ± 0.37 mEqO₂/kg, de 0.62 ± 0.03 mEqO₂/kg à 4.06 ± 0.44 mEqO₂/kg dans les huiles enrichies de 5g/100g et 10g/100g d'origan et 5g/100g et 10g/100g de thym respectivement après 4 mois de stockage à l'obscurité.

Nous concluons que la meilleure huile en termes de stabilité oxydative est l'huile enrichie de thym (5%) car elle a noté une faible concentration que les autres échantillons.

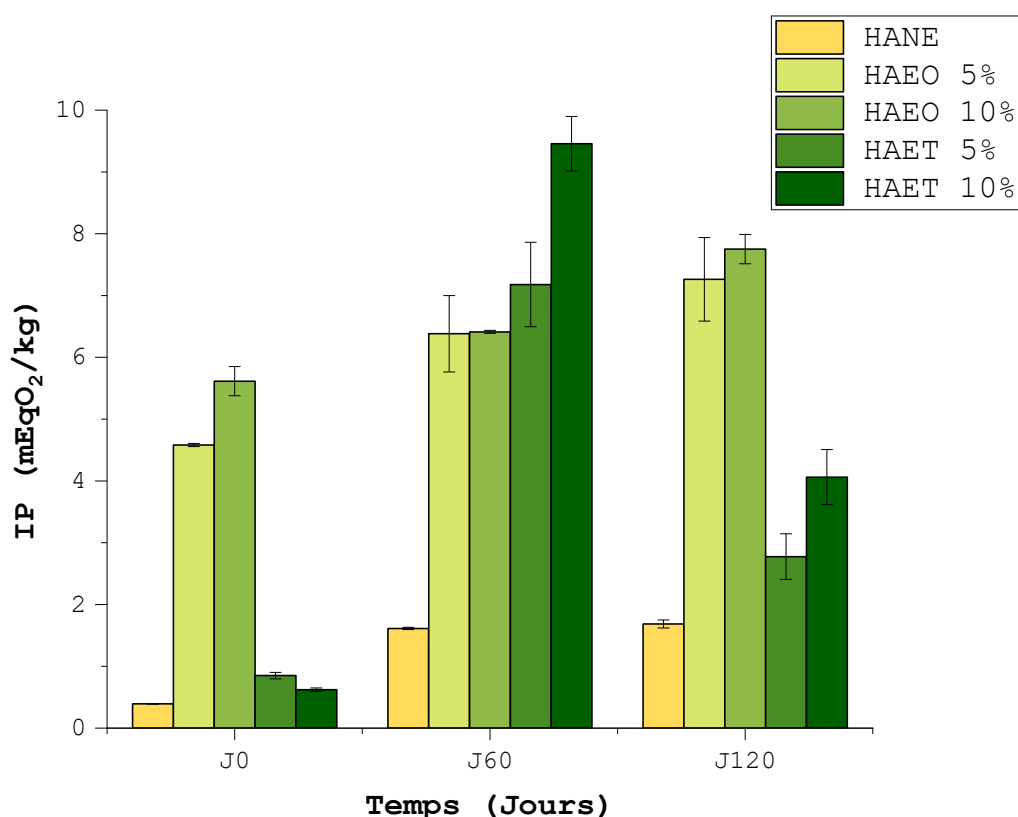


Figure 42: Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de la lumière pendant 4 mois de stockage.

L'enrichissement de l'huile d'argane conduisant à une légère augmentation de l'indice de peroxyde. Ce résultat était inattendu car le contenu en antioxydants de thym et l'origan devait protéger l'huile de la peroxydation. L'étude de (Soares *et al.*, 2020a) est constaté que cela se produisait en raison de la présence d'oxygène en contact avec les échantillons lors de l'enrichissement. Ces résultats sont en désaccord avec l'étude de (Abenoza & Sánchez-Gimeno, 2021) qui a révélé une diminution de l'indice de peroxyde de l'huile d'olive

aromatisée par l'ail.

Nous avons en effet travaillé en présence d'oxygène, ce qui a entraîné l'oxydation de nos échantillons. En résumé, il est recommandé de travailler en absence d'oxygène pour obtenir de faibles valeurs de peroxydes et de diènes conjugués lors de l'enrichissement

Finalement, on peut dire que l'enrichissement de l'huile d'argane alimentaire avec une le thym reste le meilleure pour garder les propriétés physicochimiques de l'huile et empêcher son oxydation ainsi que son altération.

2.2 Coefficient d'extinction E_{232}

L'examen spectrophotométrique dans l'ultraviolet fournit des informations supplémentaires sur la qualité d'une huile (Amereih *et al.*, 2014). L'Extinction spécifique E_{232} est une mesure des produits d'oxydation primaires. (Harhar *et al.*, 2011, 2018).

a. Évolution de l'extinction E_{232} à 60 °C

L'examen de la **Figure 43** montre que l'extinction spécifique E_{232} a enregistré une augmentation linéaire presque pendant 2 mois de stockage dans toutes les huiles analysées. Cette augmentation des absorbances peut être due à la formation des peroxydes et à la présence des acides gras oxydés, c'est la phase d'oxydation initiale (Gharby, 2012).

En effet, l'huile d'argane non enrichie est enregistrée des valeurs de l'absorbance au voisinage du E_{232} qu'augmente de 1.101 ± 0.006 à 2.221 ± 0.018 durant toute la période de stockage. Cependant, les huiles enrichies en origan 5% et 10% et en thym 5 et 10 % ont connu une évolution plus intense à celle de témoin. En effet, c'est l'huile enrichie par 5% d'origan qui a enregistré la valeur la plus élevée par rapport aux autres échantillons étudiés. Or, l'extinction E_{232} de cette huile est passée de 1.39 ± 0.04 à 2.68 ± 0.14 . Ce résultat probablement dû à une protection induite par les antioxydants naturels de la concentration faible d'origan.

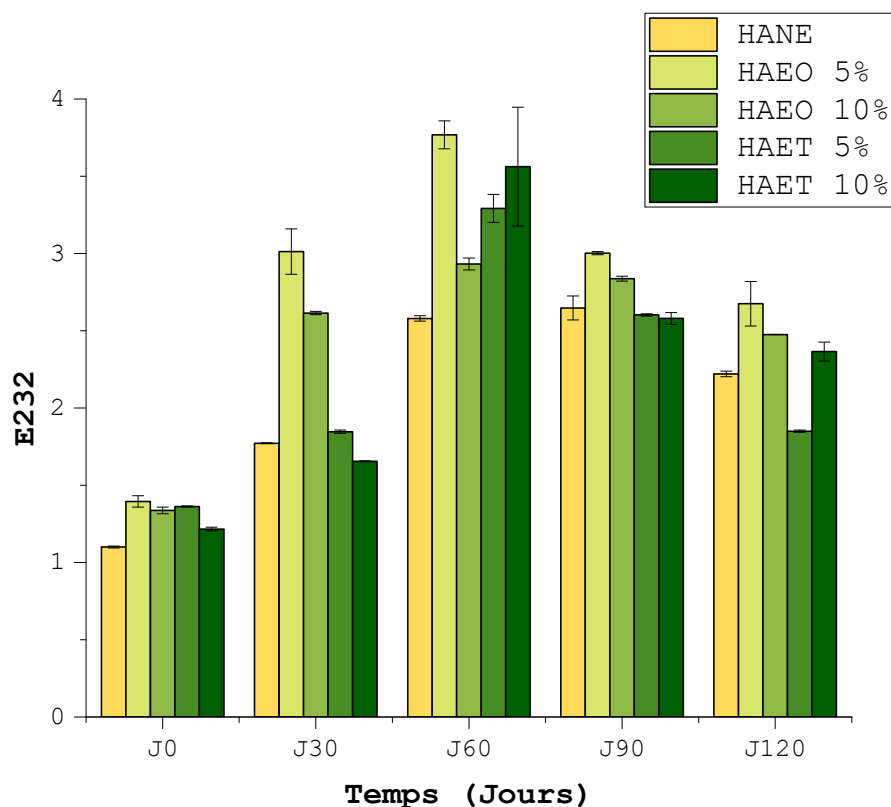


Figure 43: Évolution de l'absorption E₂₃₂ des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois de stockage.

b. Évolution de E₂₃₂ à température ambiante sous l'effet de la lumière

La **Figure 44** présente l'évolution de E₂₃₂ pour les huiles d'argane, pendant 4 mois de stockage. L'huile non enrichie a enregistré une forte augmentation des absorbances après un mois de stockage qui varie de 1.101 ± 0.006 à 1.816 ± 0.012 . Cette augmentation peut être expliquée par la formation des produits primaires d'oxydation. À la fin de stockage la valeur de l'absorbance au voisinage de E₂₃₂ diminue pour atteindre 1.59 ± 0.02 . Ce qui indique que l'huile a déjà passé à la 2^{ème} phase d'oxydation. Par ailleurs, nous avons observé que les l'absorptions E₂₃₂ des huiles enrichies en origan sont évoluées de la même manière que les huiles enrichies en thym. En effet, l'huile enrichie avec les faibles concentrations de l'origan et de thym qui a noté les valeurs les moins élevées après 4 mois de stockage, dont 1.16 ± 0.02 pour l'origan et 1.23 ± 0.02 .

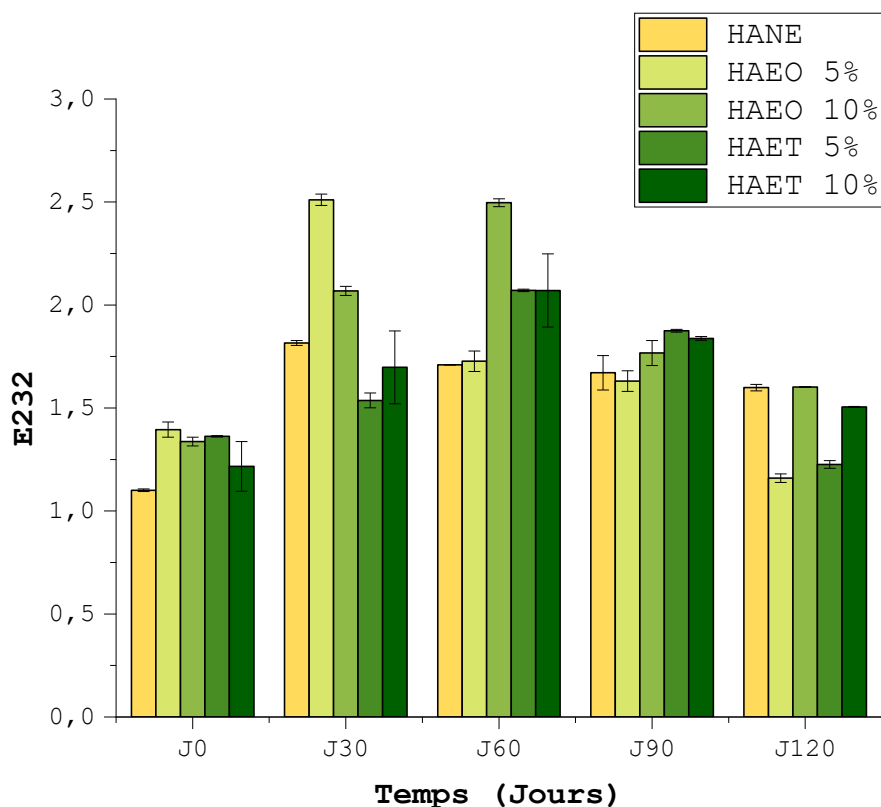


Figure 44: Évolution de l'absorption E₂₃₂ des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

c. Évolution de E₂₃₂ à l'abris de la lumière

L'évolution de E₂₃₂ pour les huiles d'argane, pendant 4 mois de stockage. L'huile vierge a enregistré une augmentation des absorbances après 2 mois de stockage qui varie de 1.101 ± 0.006 à 1.41 ± 0.01 . À la fin de stockage la valeur de l'absorbance au voisinage de E₂₃₂ diminue pour atteindre 1.23 ± 0.002 . Par ailleurs, nous avons observé que les absorptions E₂₃₂ des huiles enrichies en origan sont évoluées de la même manière avec celles des huiles enrichies en thym. En effet, l'huile enrichie avec les faibles concentrations de l'origan et de thym a noté des valeurs moins élevées après 4 mois de stockage, dont 1.56 ± 0.02 pour l'origan et 1.34 ± 0.02 pour le thym.

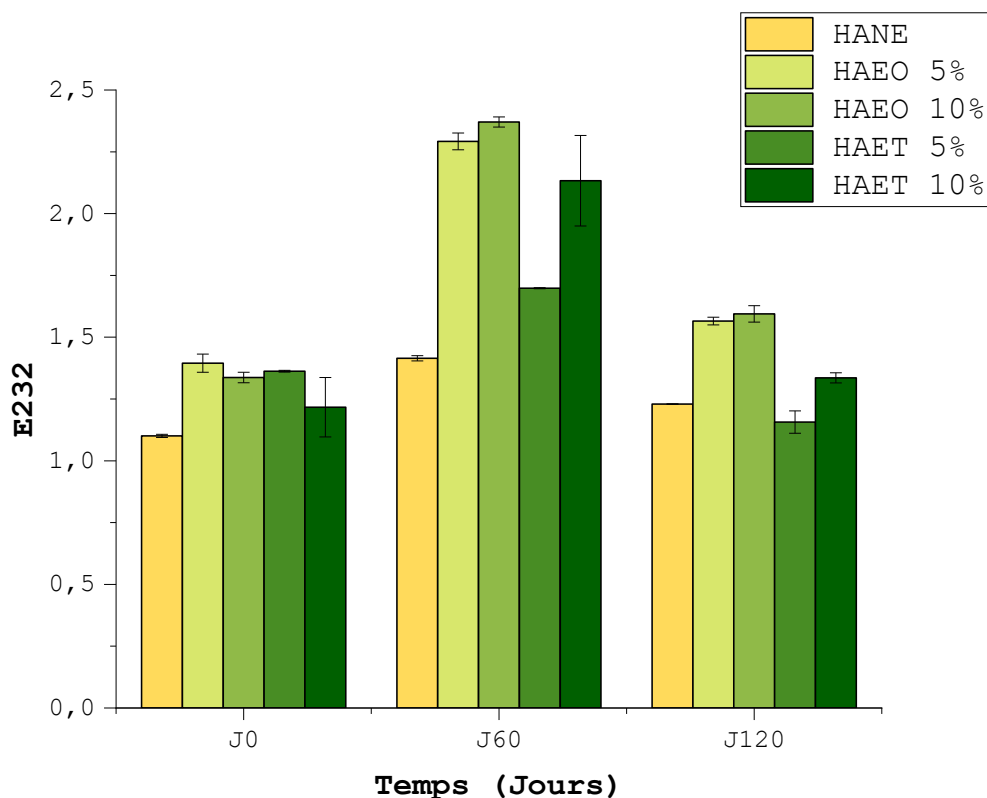


Figure 45: Évolution de l'absorption E₂₃₂ des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de la lumière pendant 4 mois.

3. Produits secondaires d'oxydation

3.1 Indice de para anisidine

L'indice de para anisidine est un paramètre utilisé pour évaluer les produits d'oxydation secondaires dans les huiles en utilisant la spectroscopie UV-visible. C'est une deuxième confirmation de l'extinction E₂₇₀. Cet indice est corrélé avec la présence d'aldéhydes et de cétones responsables de l'odeur et du goût typiques du rancissement ([Belcadi-Haloui et al., 2018](#); [Gharby, et al., 2021](#)).

a. Évolution de l'indice de para anisidine à 60 °C

D'après les valeurs illustrées dans **la Figure 46**, les valeurs de l'indice de para-anisidine de tous les échantillons ont subi une augmentation linéaire pendant trois mois de stockage après ils ont subi une légère diminution dans le dernier mois de stockage. L'indice de para-anisidine celles-ci oscille entre 3.15 ± 0.07 et 7.5 ± 0.05 pour l'huile d'argane non enrichie et entre 2.12 ± 0.02 et 6.87 ± 0.02 pour celle de l'huile enrichie avec origan 5%. Pour les autres huiles enrichies, les valeurs varient de 2.7 ± 0.01 à 7.61 ± 0.01 , 1.31 ± 0.1 à 5.41 ± 0.28 et 1.32 ± 0.02 à 3.56 ± 0.14 respectivement pour les concentrations suivantes : 10% d'origan puis 5% et 10%

de thym.

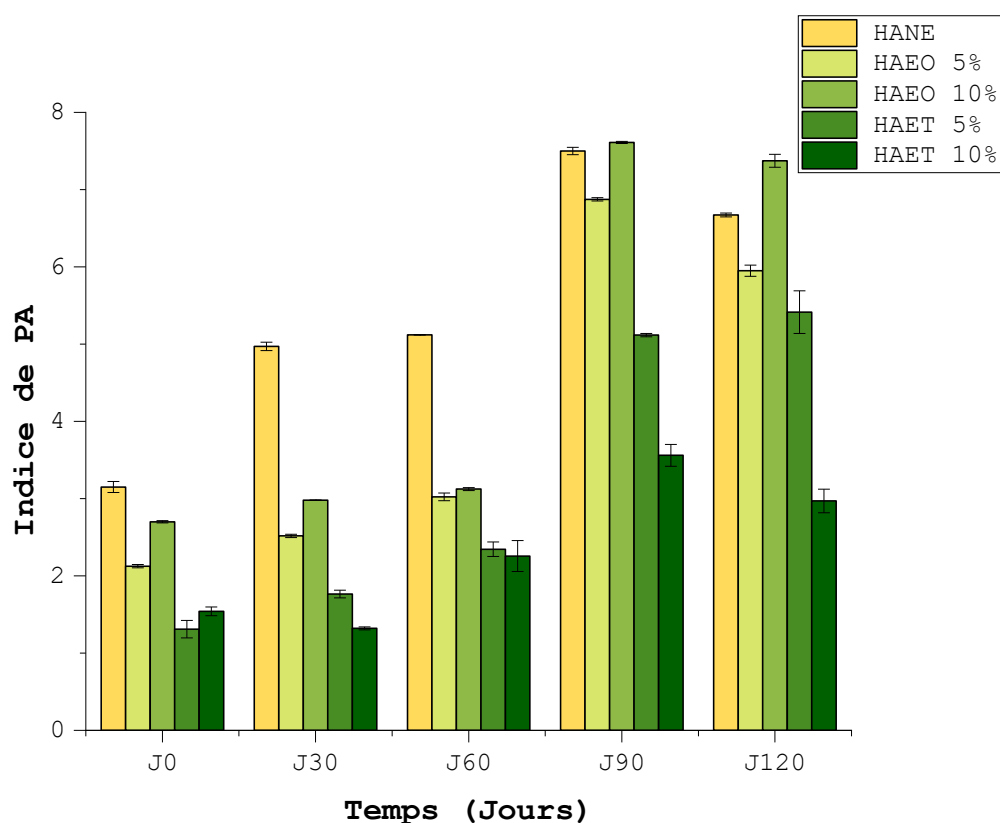


Figure 46: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois de stockage.

b. Évolution de l'indice de para anisidine à température ambiante sous l'effet de la lumière

Concernant les échantillons stockés dans la lumière, l'indice de para-anisidine varie de 2.12 ± 0.02 à 5.96 ± 0.01 et de 2.7 ± 0.01 à 6.75 ± 0.16 respectivement pour l'huile enrichie avec 5% et 10% d'origan. Tandis que ceux des échantillons enrichis par le thym, l'IPA varie de 1.31 ± 0.11 à 4.93 ± 0.07 et 1.54 ± 0.06 à 6.16 ± 0.11 respectivement pour les concentrations suivantes : 5% et 10%.

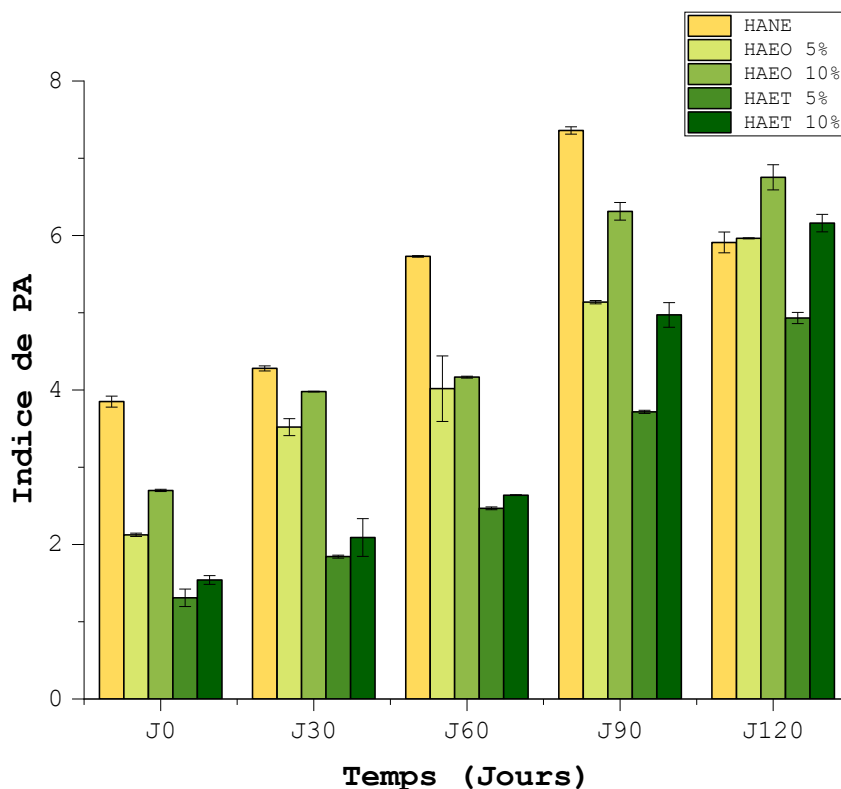


Figure 47: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois de stockage.

c. Évolution de l'indice de para anisidine à l'abris de la lumière

Les valeurs initiales de l'indice de para-anisidine restent faibles. Ses valeurs sont 3.15 ± 0.07 pour l'huile non enrichie, 2.21 ± 0.02 ; 2.70 ± 0.01 ; 1.31 ± 0.11 et 1.54 ± 0.06 respectivement pour l'huile enrichie par l'origan (5% et 10%) et enrichie par le thym (5% et 10%) (**Figure 48**). La valeur maximale a été enregistrée dans l'huile enrichie par l'origan 5%, ce qui explique que le début de la formation des produits secondaires d'oxydation est déjà commencé dans cette huile. L'évolution des produits secondaires d'oxydation des huiles étudiées à l'abris de la lumière pendant 4 mois de stockage.

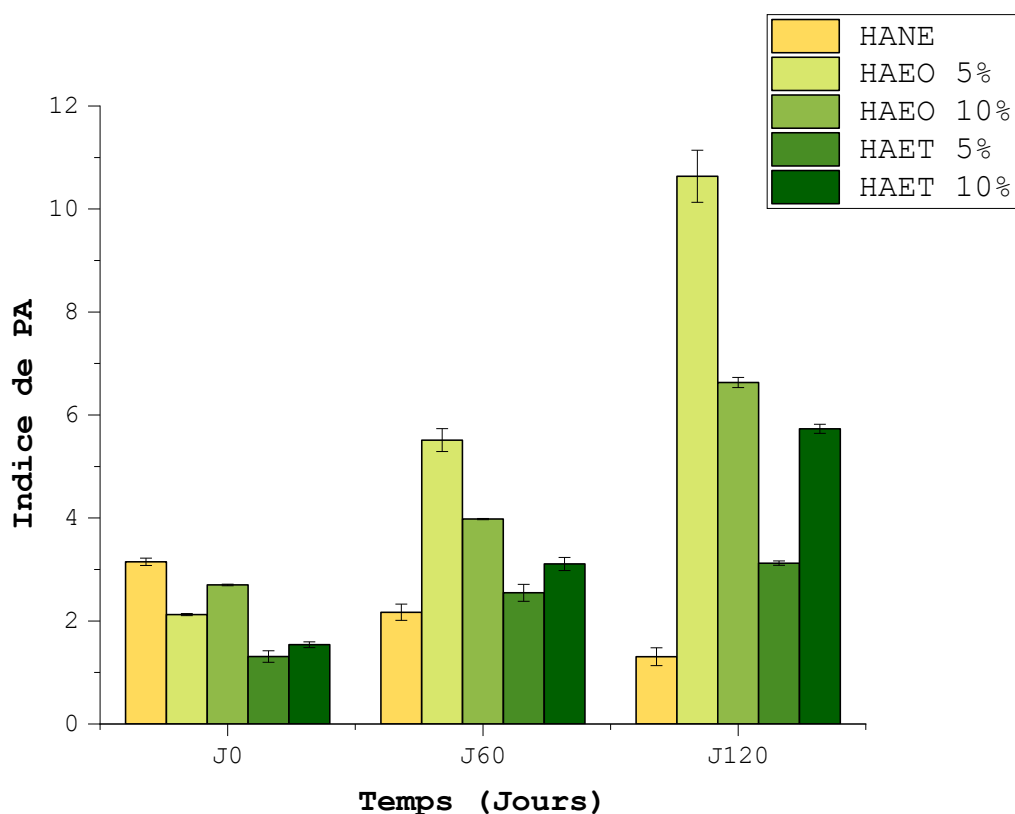


Figure 48: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abris de la lumière pendant 4 mois de stockage.

2.4 Coefficient d'extinction E_{270}

E_{232} et E_{270} sont des paramètres simples et utiles pour évaluer l'état d'oxydation de l'huile. L'Extinction spécifique E_{232} est une mesure des produits d'oxydation primaires. Tandis que l'extinction spécifique E_{270} est une mesure des produits secondaires d'oxydation, tels que les aldéhydes et les cétones (Harhar *et al.*, 2011, 2018).

a. Évolution de l'extinction E_{270} à 60 °C

Dans la présente étude, nous avons également suivi l'évolution de la formation des produits secondaires d'oxydation dans différentes conditions de stockage par la mesure de l'absorption à 270 nm dans l'ultraviolet. La **Figure 49** illustrent l'évolution des produits secondaires d'oxydation de l'huile d'argane à 60 °C.

L'extinction spécifique E_{270} initiale de toutes les huiles d'argane aromatisées étudiées est faible. Les valeurs après 4 mois de stockage sont de 0.716 ± 0.004 , 0.901 ± 0.003 , 0.646 ± 0.001 et 0.470 ± 0.007 respectivement pour les concentrations 5g/100g, 10g/100g d'origan et 5g/100g, 10g/100g de thym.

Nous remarquons que les produits secondaires d'oxydation se trouvent avec une valeur minimale dans l'huile enrichie de thym à 5%.

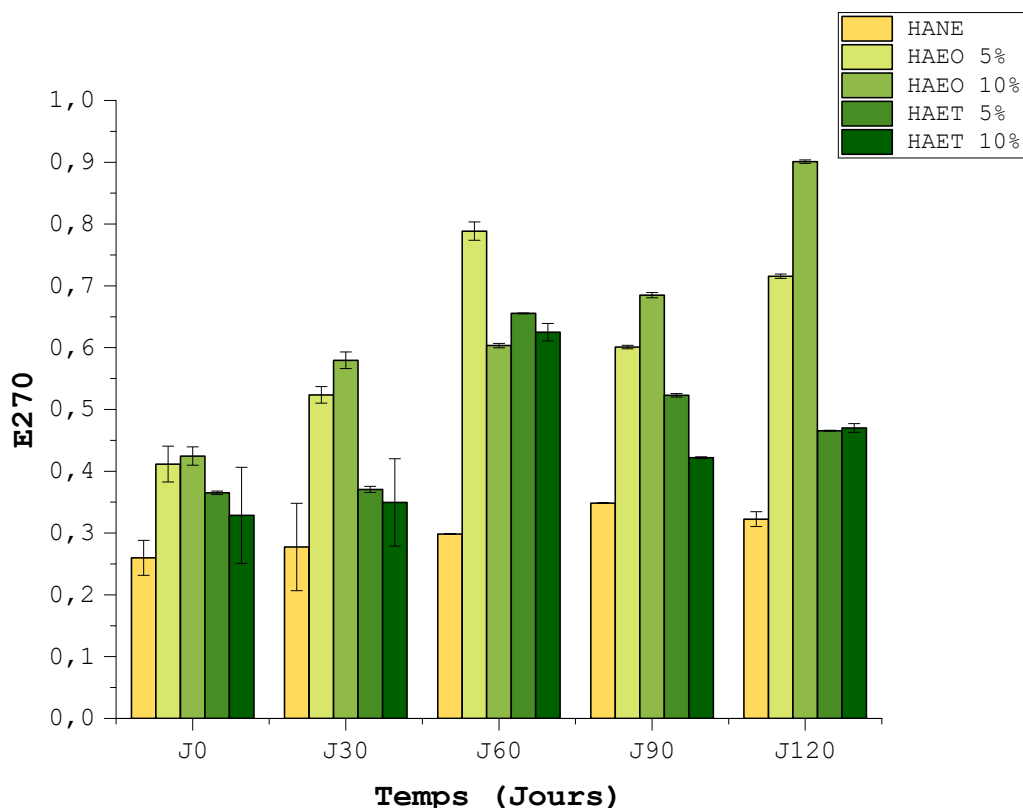


Figure 49 : Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois de stockage.

b. Évolution de E_{270} à température ambiante sous l'effet de la lumière

Les valeurs de E_{270} des huiles enrichies après 4 mois de stockage à la lumière sont 0.48 ± 0.01 dans l'huile enrichie en origan 5%, 0.53 ± 0.01 pour l'huile enrichie en origan 10%, 0.325 ± 0.004 et 0.412 ± 0.003 respectivement dans l'huile enrichie avec une concentration de 5% et 10% du thym. Dans notre cas, la valeur la plus faible est celle rencontrée dans l'échantillons enrichie de 5% de thym. Quant à la valeur la plus élevée, elle est enregistrée dans l'huile enrichie en origan 10%.

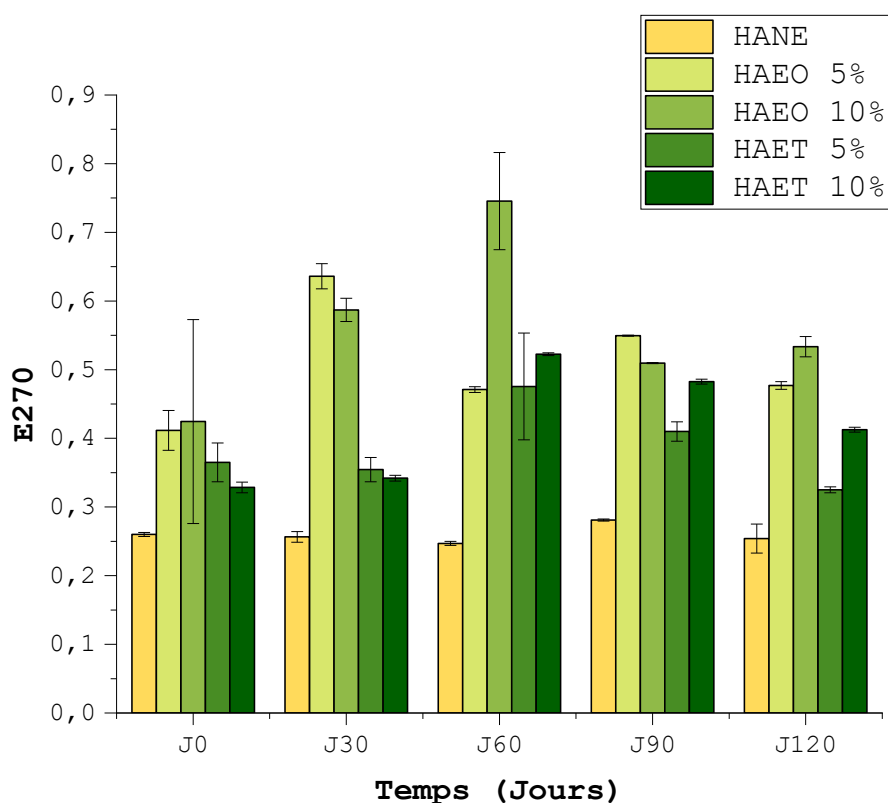


Figure 50: Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

c. Évolution de E_{270} à l'abris de la lumière

Les valeurs de E_{270} des huiles enrichies après 4 mois de stockage à la lumière sont 0.45 ± 0.01 dans l'huile enrichie en origan 5%, 0.48 ± 0.01 pour l'huile enrichie en origan 10%, 0.32 ± 0.01 et 0.40 ± 0.02 respectivement dans l'huile enrichie avec une concentration de 5% et 10% du thym. Dans notre cas, la valeur la plus faible est celle rencontrée dans l'échantillons enrichie de 5% de thym. Quant à la valeur la plus élevée, elle est enregistrée dans l'huile enrichie en origan 10%.

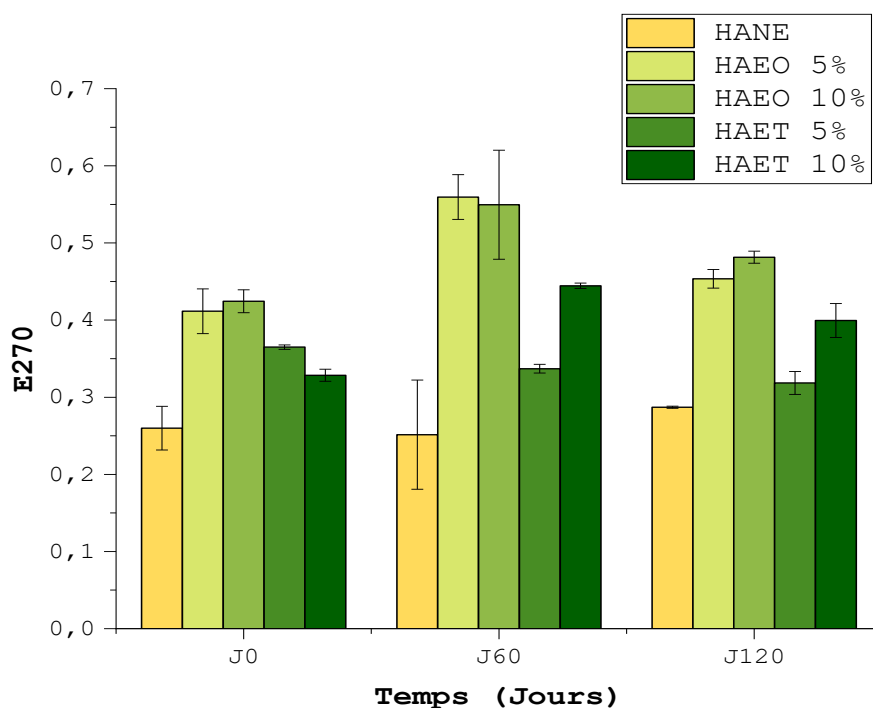


Figure 51: Évolution de l'absorption E₂₇₀ des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de la lumière pendant 4 mois.

4. Composition en acides gras

Les huiles végétales sont les principales sources d'acides gras pour l'organisme. Ce sont des molécules organiques comprenant une longue chaîne carbonée terminée par un groupement acide carboxylique et chaque huile est caractérisée par une composition spécifique en acides gras qui la différencie des autres huiles (Bijla *et al.*, 2022; Narayanankutty *et al.*, 2018). Ce sont également des molécules qui représentent une source d'énergie pour l'homme (Metayer-Coustard *et al.*, 2019).

Pour déterminer l'effet de l'enrichissement sur l'huile d'argane ; l'évaluation du profil des acides gras demeure indispensable. Cette famille de composés est un indicateur essentiel de ses valeurs nutritionnelles et cosmétiques, principalement les acides gras insaturés. De plus, les acides gras sont des composants importants de la fraction saponifiable des huiles végétales (Harhar *et al.*, 2011).

Le **Tableau 20** montre le profil des acides gras des huiles enrichies en origan et en thym stockés à 60 °C, à température ambiante sous l'effet de la lumière et à l'obscurité. Les principaux acides gras de l'huile d'argane étaient premièrement l'acide oléique (C18:1), deuxièmement l'acide linoléique (C18:2), troisièmement l'acide palmitique (C16:0) et finalement l'acide stéarique (C18:0).

Tableau 20: Composition en acide gras d'huile d'argane stockées dans trois conditions.

à 60°C										
	HANE		HAEO [5%]		HAEO [10%]		HAET [5%]		HAET [10%]	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
C16:0	14,21	15,31	16,16	14,74	15,28	15,12	14,44	14,75	15,81	15,12
C18:0	5,31	5,46	5,03	5,37	5,09	5,27	5,31	5,36	5,37	5,24
C18:1	46,8	46,91	45,53	44,85	46,11	46,38	46,53	45,86	45,82	46,23
C18:2	33,44	34,26	32,65	34,24	33,02	34,19	33,70	34,09	32,99	33,14

à température ambiante sous l'effet de la lumière										
	HANE		HAEO [5%]		HAEO [10%]		HAET [5%]		HAET [10%]	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
C16:0	14,21	14,85	16,16	15,77	15,28	14,91	14,44	14,65	15,81	15,35
C18:0	5,31	5,41	5,03	5,17	5,09	5,47	5,31	5,24	5,37	5,19
C18:1	46,80	46,66	45,53	45,42	46,11	46,76	46,53	46,29	45,82	46,13
C18:2	33,44	33,16	32,65	32,36	33,02	33,09	33,70	33,12	32,99	33,52

à l'abris de la lumière										
	HANE		HAEO [5%]		HAEO [10%]		HAET [5%]		HAET [10%]	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
C16:0	14,21	14,84	16,16	16,05	15,28	14,93	14,44	14,84	15,81	15,20
C18:0	5,31	5,47	5,03	5,11	5,09	5,36	5,31	5,04	5,37	4,97
C18:1	46,80	45,68	45,53	45,64	46,11	46,91	46,53	46,67	45,82	46,39
C18:2	33,44	33,27	32,65	32,71	33,02	33,37	33,70	33,43	32,99	33,17

* Résultats exprimés par la moyenne de deux essais (n=2) $\pm$ **0.01**

En guise de conclusion, aucune variation significative n'a été remarqué concernant la composition en acides gras pour les deux types des huiles enrichies par rapport à l'huile vierge, ce qui confirment la bonne stabilité des triacylglycérides de l'huile d'argan à 60 °C et à température ambiante sous l'effet de la lumière.

Ces résultats sont en désaccord avec l'étude de (Sousa *et al.*, 2015), qui a trouvé que l'enrichissement a un effet significatif sur la composition en acide gras.

5. Teneur en caroténoïdes et en chlorophylles

Les pigments caroténoïdes et chlorophylliens sont des composants naturels présents dans les plantes aromatiques et médicinales (Hanh, 2014). Les pigments sont considérés comme des facteurs importants car ils peuvent conférer une couleur aux PAMs ou retarder l'oxydation en présence de lumière (Hashemi *et al.*, 2017). Les caroténoïdes et les chlorophylles sont des substances liposolubles (liées aux plantes), (Lapčiková *et al.*, 2018). En plus, les chlorophylles et les caroténoïdes jouent un rôle très important dans la stabilité oxydative des huiles en raison de leurs propriétés antioxydantes (Ayadi *et al.*, 2009).

Les caroténoïdes participent activement à la protection d'une huile riche en acide oléique dans des conditions d'auto oxydation et de photo oxydation (Gharby *et al.*, 2011b). Pour cette raison nous avons décidé de suivre la teneur des caroténoïdes pendant la période du stockage. Pendant deux mois de stockage à trois conditions.

a. Évolution de caroténoïdes et de chlorophylles à 60 °C

Après le dosage des teneurs des caroténoïdes dans nos échantillons d'huile d'argane (Figure 52). Nos résultats montrent que la teneur des caroténoïdes est proportionnelle à la concentration d'enrichissement par l'origan et par le thym. En effet, la teneur en caroténoïdes avant et après 4 mois de stockage passe de 5.142 ± 0.001 ppm à 2.035 ± 0.007 ppm dans l'huile enrichie à 5g/100g d'origan, de 5.94 ± 0.06 ppm à 2.12 ± 0.01 ppm pour 10g/100g, de 1.73 ± 0.09 ppm à 0.67 ± 0.02 ppm pour 5g/100g de thym et 2.46 ± 0.02 ppm à 0.90 ± 0.02 ppm dans l'huile enrichie par le thym 10g/100g. Cependant, pour l'huile non enrichie nous avons observé une certaine stabilité de la teneur en caroténoïde durant la période de stockage.

À partir de nos résultats, nous observons une diminution de la teneur en caroténoïdes en fonction de la durée de stockage, ça due à la consommation de ce pigment comme un antioxydant.

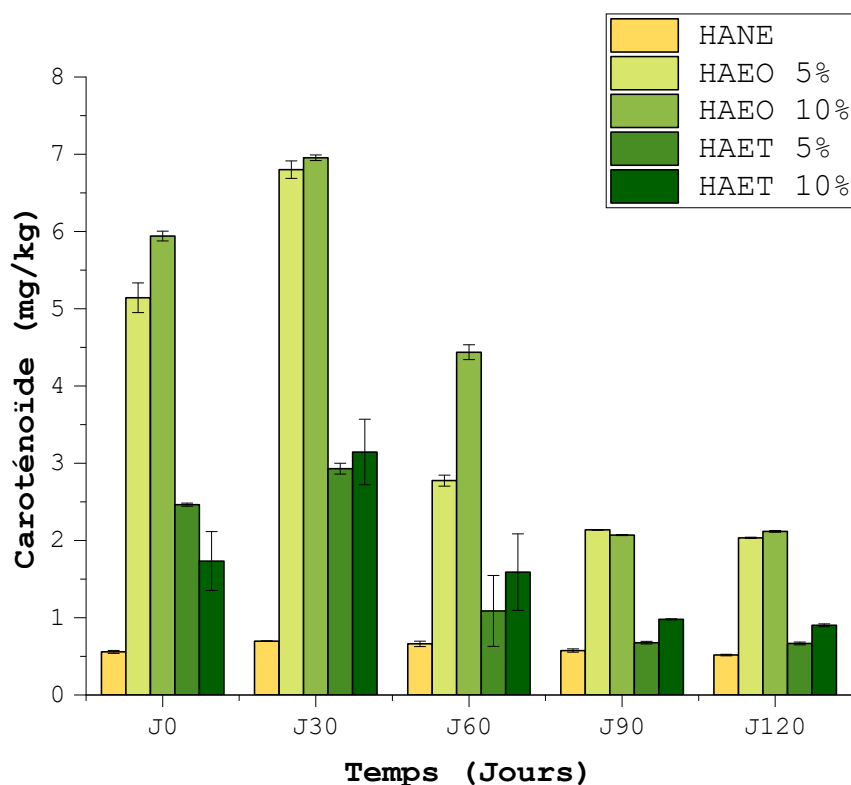


Figure 52 : Évolution de la teneur en caroténoïde pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois de stockage.

La teneur en chlorophylle est un paramètre important, il est considéré comme un attribut de base pour évaluer la qualité de l'huile ([Bedjaoui et al, 2012](#)). La fraction chlorophyllienne est responsable de la couleur verte de l'huile, englobe la chlorophylle a, b et les phéophytines ([Bedjaoui et al, 2012](#)). La **Figure 53** montre la variation de la teneur en chlorophylle pour les échantillons d'argane. En effet, la teneur en chlorophylle des huiles enrichies a subi une légère diminution après 4 mois de stockage. Tandis que l'huile témoin est presque stable tout au long de la période de stockage.

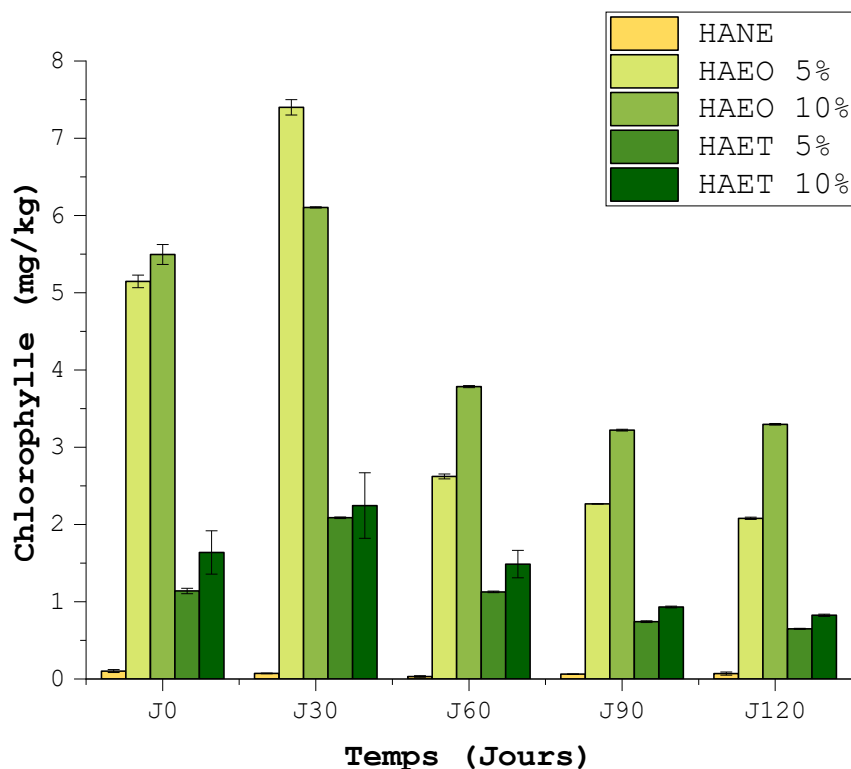


Figure 53: Évolution de la teneur en chlorophylle pour les huiles d'argane pendant 4 mois de stockage à 60 °C.

b. Évolution de caroténoïdes et de chlorophylles à température ambiante sous l'effet de la lumière

Les résultats de la teneur en caroténoïdes dans les échantillons enrichis de l'huile d'argane a montré une diminution au cours de stockage à la lumière tout au long de 4 mois. Cependant, celles de témoin sont restées pratiquement stables.

On commence par les échantillons d'huile enrichie en origan (**Figure 54**). La teneur en caroténoïdes pour 5% d'origan passe de 5.142 ± 0.001 ppm à 2.188 ± 0.025 ppm, 5.94 ± 0.06 ppm à 2.22 ± 0.02 ppm pour 10% d'origan. Dans le cas d'une huile contenant 5% de thym la teneur passe de 1.73 ± 0.09 ppm à 1.02 ± 0.01 ppm, 2.46 ± 0.02 ppm à 1.43 ± 0.01 ppm pour 10% de thym. La teneur en caroténoïde la plus faible est enregistrée dans l'huile enrichie à 10% de thym.

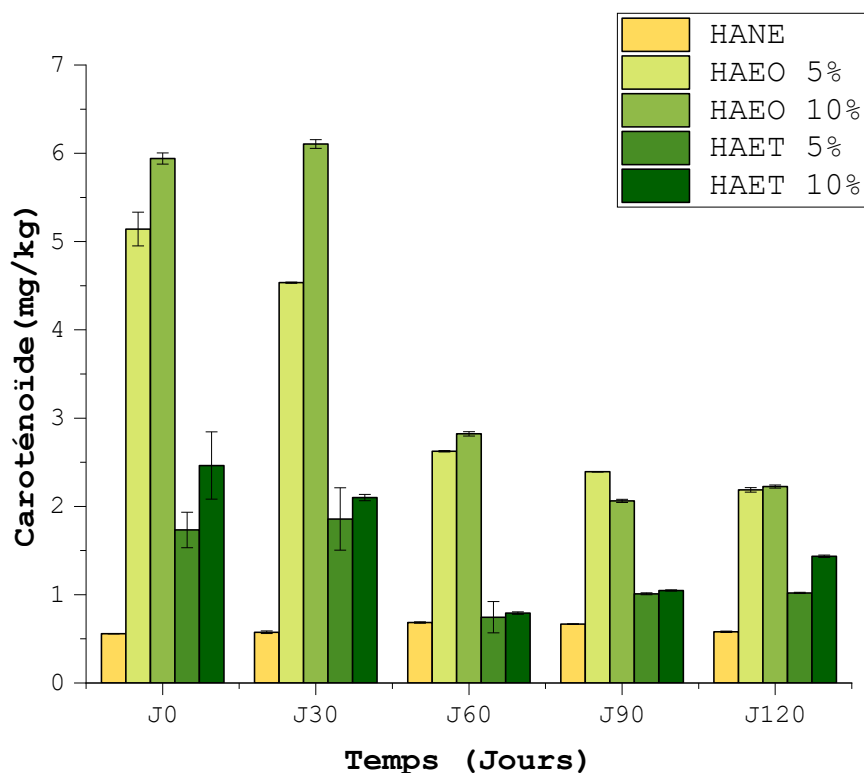


Figure 54: Évolution de la teneur en caroténoïde des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

La **Figure 55** montre l'évolution de la teneur en chlorophylles pour les huiles enrichies pendant 4 mois de stockage. L'évolution de la teneur en chlorophylle de nos échantillons est presque semblable à l'évolution de la teneur en caroténoïdes.

Pour l'huile vierge reste stable durant la période de stockage, dont la teneur en chlorophylle atteint la valeur de 0.11 ± 0.02 ppm. Quant aux huiles enrichies en origan, leur teneur diminue pour atteindre 0.77 ± 0.01 et 1.91 ± 0.02 ppm respectivement pour les concentrations 5g/100g et 10g/100g. De même l'huile enrichie de 5g/100g et 10g/100g de thym, leur teneur respectivement étaient 0.27 ± 0.02 et 0.41 ± 0.01 ppm.

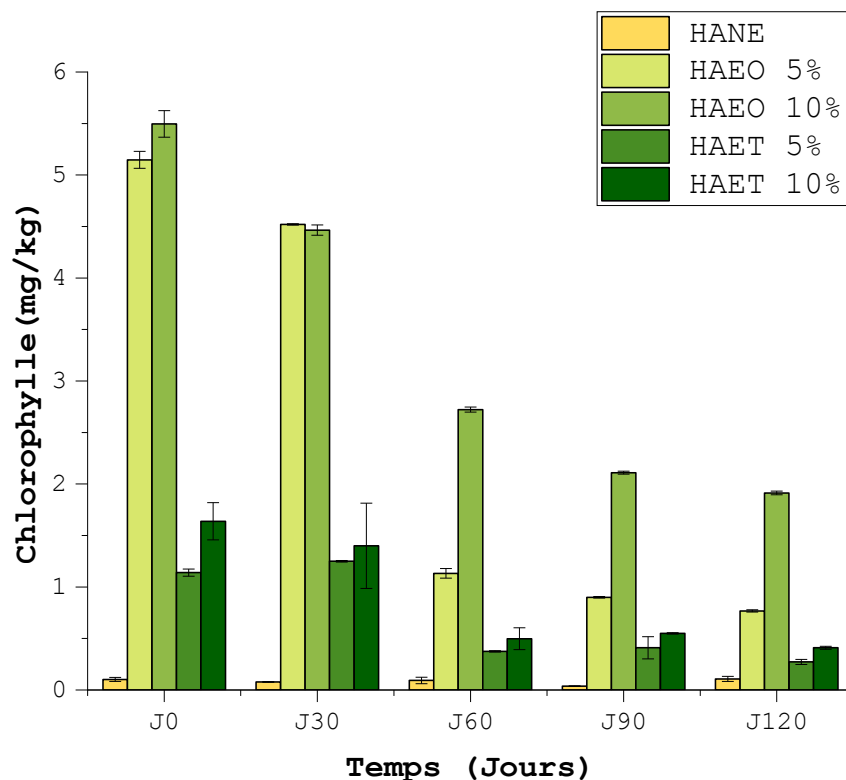


Figure 55: Évolution de la teneur en chlorophylles des échantillons d'huile d'argane stockés à température ambiante sous l'effet de la lumière pendant 4 mois.

c. Évolution de caroténoïdes et de chlorophylles à l'abri de la lumière

À la suite des résultats de l'analyse des caroténoïdes à l'abri de lumière (**Figure 56**), le niveau le plus élevé de caroténoïde est observé dans l'huile enrichie par 10% d'origan, les huiles enrichies de 5% et 10%, respectivement, diminuent après 4 mois de stockage de 5.142 ± 0.001 ppm à 2.250 ± 0.007 ppm, 5.94 ± 0.06 ppm à 2.77 ± 0.01 ppm. Tandis que, les échantillons contenant 5% et 10% de thym ont révélés respectivement une teneur de l'ordre de 1.73 ± 0.09 ppm à 1.67 ± 0.02 ppm, 2.46 ± 0.02 ppm à 1.71 ± 0.01 ppm. En revanche, la valeur la plus faible est observée dans l'huile vierge qui passe de 0.557 ± 0.002 ppm à 0.630 ± 0.001 ppm.

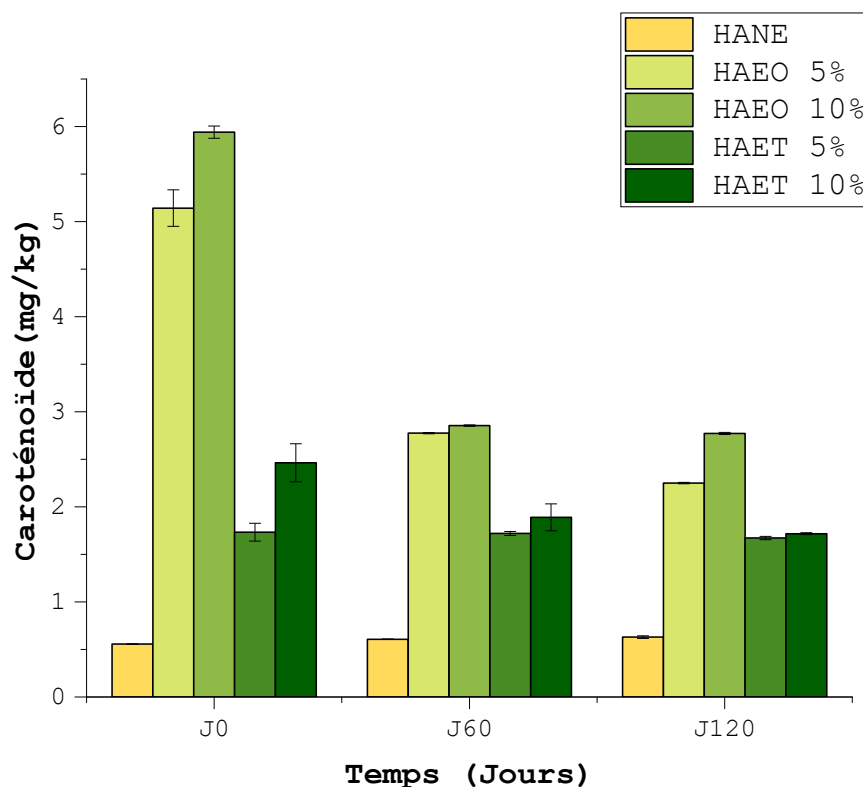


Figure 56: Évolution de la teneur en caroténoïde des échantillons d'huile d'argane stockés à l'abri de lumière pendant 4 mois.

La teneur en chlorophylle de l'huile non enrichie est stable tandis que la teneur d'huiles enrichies a connu une diminution pendant 4 mois de stockage, comme le montre la **Figure 57**. Cependant, lors de l'enrichissement avec 5g/100g, 10g/100g d'origan et 5g/100g, 10g/100g de thym, la teneur en chlorophylle prend la valeur de 1.86 ± 0.02 ppm, 4.24 ± 0.02 ppm, 0.75 ± 0.02 ppm et 0.87 ± 0.007 ppm, respectivement.

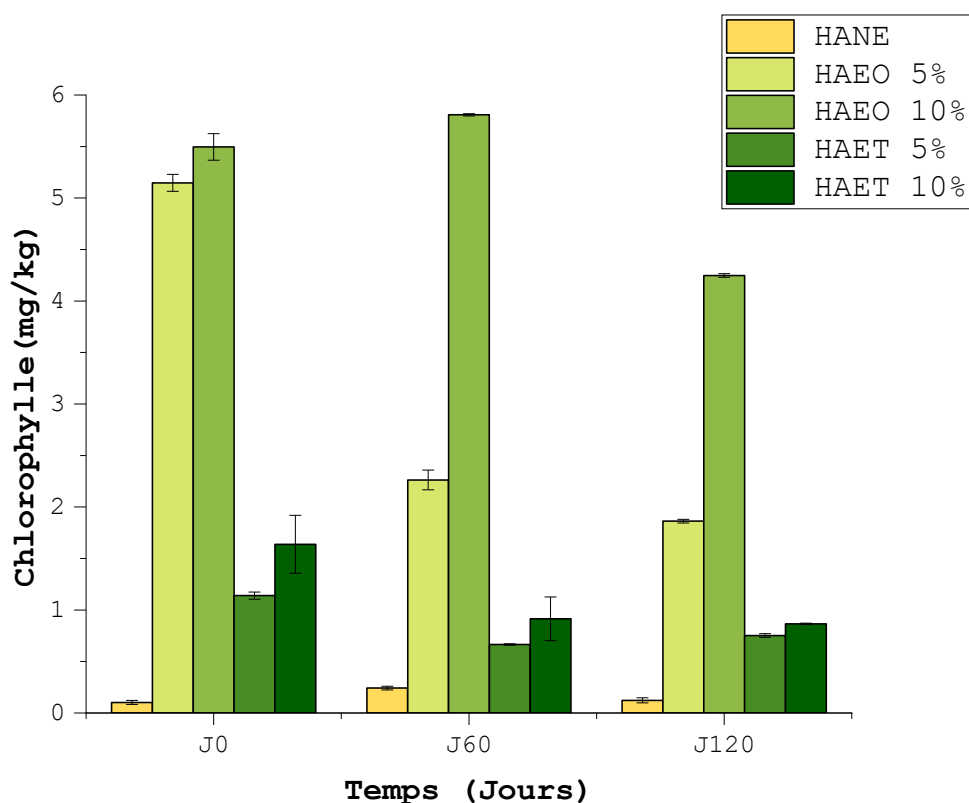


Figure 57: Évolution de la teneur en chlorophylles des échantillons d’huile d’argane stockés à l’abri de lumière pendant 4 mois.

En conclusion, on peut déduire que les indices de qualité (acidité, indice de peroxyde, E_{230} , E_{270}) ont enregistré de faibles teneurs dans les huiles d’argane enrichies avec 5% et 10% de thym ainsi que stockés à la lumière. Bien que l’enrichissement avec le thym et l’origan n’ait pas affecté le profil des acides gras, après avoir été enrichie et évaluée analytiquement, l’huile enrichie pourrait être un nouveau produit commercial pour l’industrie des huiles.

II. Enrichissement de l’huile d’argane au cours d’extraction

1. Acidité

L’acidité de l’huile d’argane non enrichie ne dépasse pas 0.48 ± 0.04 g/100g. Après enrichissement et stockage des échantillons durant 4 mois à 60 °C, l’acidité passe, à 0.321 ± 0.005 g/100g dans l’huile non enrichie. L’acidité atteint 0.55 ± 0.01 g/100g, 0.35 ± 0.04 g/100g et 0.513 ± 0.001 g/100g dans les échantillons d’huile d’argane enrichie respectivement à 2%, 5% et 10% d’origan. Quant à l’huile d’argane enrichie à 2%, 5% et 10% de thym leur valeur d’acidité atteignent respectivement 0.32 ± 0.01 g/100g, 0.46 ± 0.05 g/100g et 0.58 ± 0.01 g/100g. les échantillons ont une valeur d’acidité inférieure à celle fixé par la norme (0.8 g/100g) (SNIMA 2003).

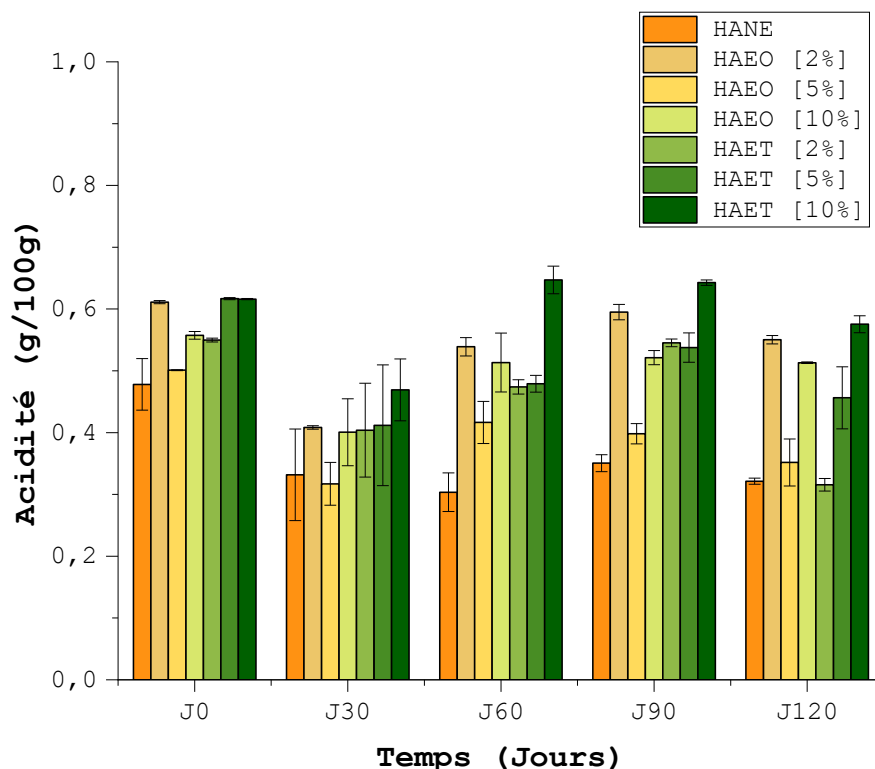


Figure 58 : Évolution de l'acidité des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

Nos résultats sont en contradiction avec ceux trouvés par [\(Veillet *et al.*, 2010\)](#) qui a annoncé que l'enrichissement de l'huile d'olive par des plantes aromatiques n'influence pas l'acidité libre de l'huile. Tandis que, l'étude de [\(Aydeniz & Yilmaz, 2012\)](#) montre que l'enrichissement des huiles par certains extraits de plantes ont provoqué une légère augmentation de l'acidité.

En guise de conclusion, cette étude d'acidité à 60 °C a montré que les meilleurs résultats de stabilité ont été obtenus lors de l'enrichissement de l'huile par 2% de thym.

2. Produits primaires d'oxydation

2.1 Indice de peroxyde

À 60 °C tous les échantillons de l'huile enrichie en origan ont subi une évolution importante et plus intense que l'huile enrichie en thym. En effet l'huile a enregistré une valeur de 5.11 ± 0.21 mEqO₂/Kg, 7.13 ± 0.18 mEqO₂/Kg, et 30.09 ± 1.17 mEqO₂/Kg dans les échantillons enrichis en origan 2%, 5% et 10% respectivement. Quant à l'huile enrichie à 2%, 5% et 10% de thym a enregistré une valeur de 2.01 ± 0.03 mEqO₂/Kg, 2.11 ± 0.03 mEqO₂/Kg, et 2.07 ± 0.03 mEqO₂/Kg respectivement. La valeur la plus élevée de l'indice de peroxyde est enregistré dans l'échantillon enrichie en origan 10%.

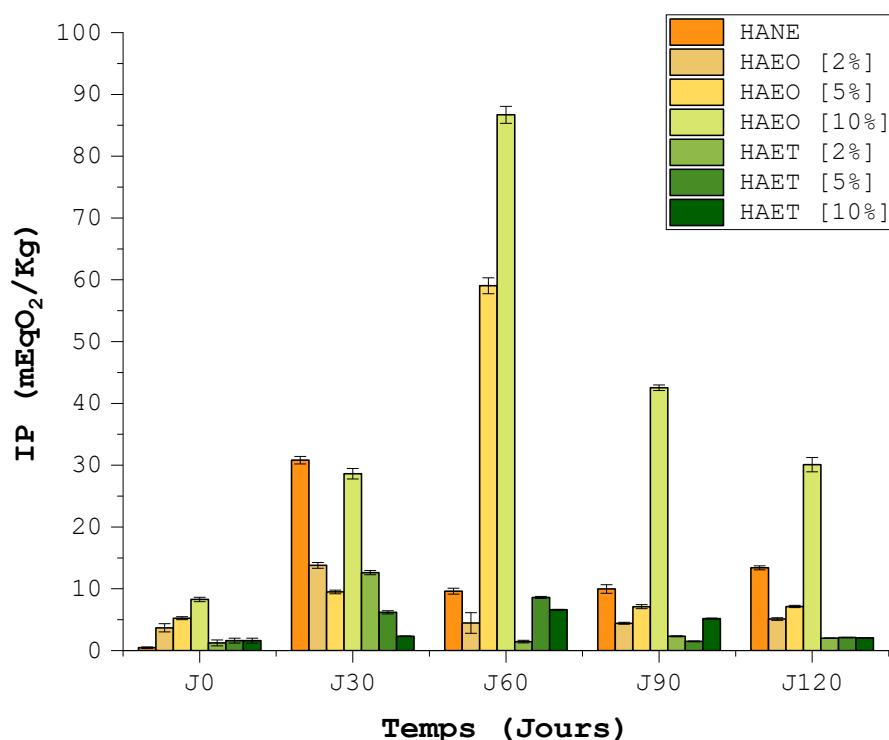


Figure 59 : Évolution de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

Nous remarquons que pendant toute la phase de stockage, la formation des hydro peroxydes est plus rapide dans l'huile enrichie en origan.

Des résultats similaires ont ainsi révélé l'augmentation de l'indice de peroxyde ([Abenzoza & Sánchez-Gimeno, 2021](#)) qui sont travaillé sur l'augmentation de stabilité de l'huile d'olive par l'enrichissement avec le romarin.

Finalement, on peut dire que l'enrichissement de l'huile d'argane par une concentration de 2% du thym reste la meilleure pour garder les propriétés physicochimiques de l'huile d'argane et empêcher son oxydation.

2.2 Coefficient d'extinction E_{232}

Durant la durée de stockage (**Figure 60**), on remarque que l'extinction E_{232} des échantillons a passé de 1.22 ± 0.01 , dans l'huile non enrichie, à 2.37 ± 0.21 , tandis que dans les échantillons enrichis en origan 2%, 5% et 10% ont enregistré la valeur de 2.89 ± 0.16 ; 2.68 ± 0.06 et 3.276 ± 0.001 respectivement. L'extinction E_{232} a pris la valeur de 2.40 ± 0.01 ; 2.33 ± 0.21 et 2.638 ± 0.002 pour les échantillons de l'huile enrichie en thym 2%, 5% et 10% respectivement.

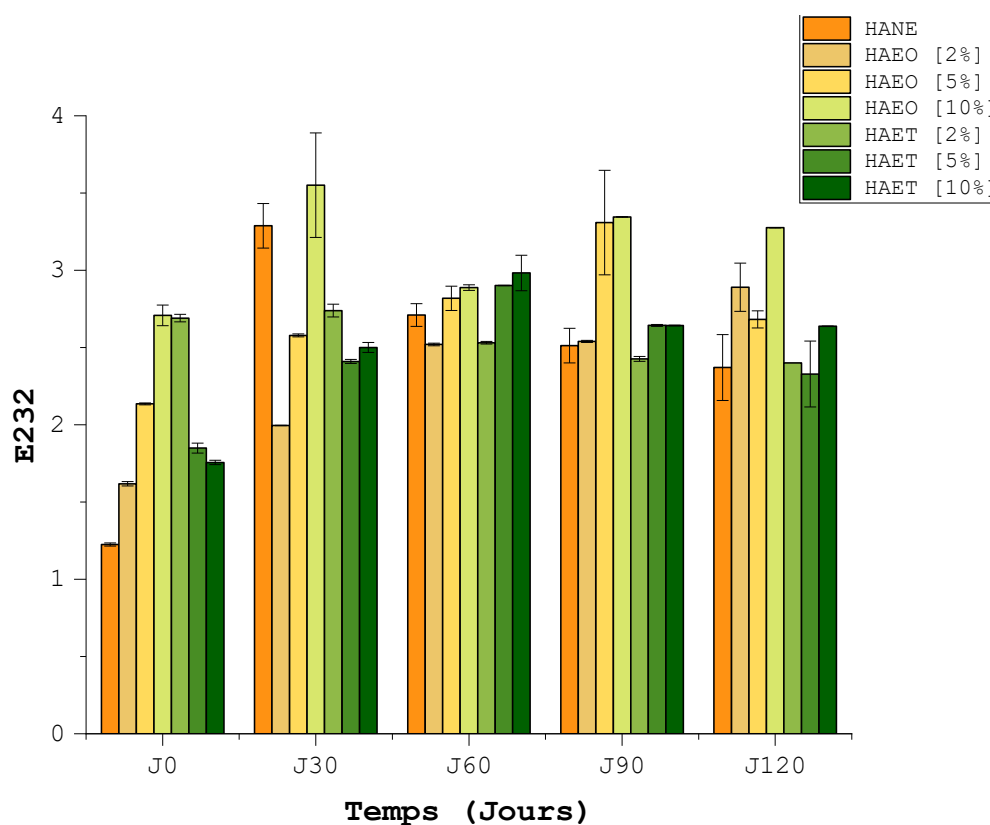


Figure 60: Évolution de l'extinction E_{232} des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

3. Produits secondaires d'oxydation

3.1 Indice de para anisidine

La Figure 61 ci-après donne une illustration de la tendance de para anisidine pour les huiles non enrichie et enrichie par le thym et l'origan à 60 °C pendant 4 mois de stockage. Selon les résultats de cette figure, on constate que la valeur de l'indice de para anisidine de l'huile non enrichie a augmenté de 6.77 ± 0.25 à 10.7 ± 0.08 dans les deux premiers mois de stockage, après la valeur de l'IPA diminue jusqu'à 3.71 ± 0.01 à la fin de stockage. Cependant les valeurs des huiles enrichies enregistrent des valeurs de l'ordre de 4.56 ± 0.03 , 7.03 ± 0.18 , 10.77 ± 0.28 , 12.18 ± 0.48 , 12.89 ± 0.97 et 18.20 ± 0.22 , respectivement pour les huiles enrichies 2%, 5% et 10% en origan et 2%, 5% et 10% en thym à la fin de durée de stockage.

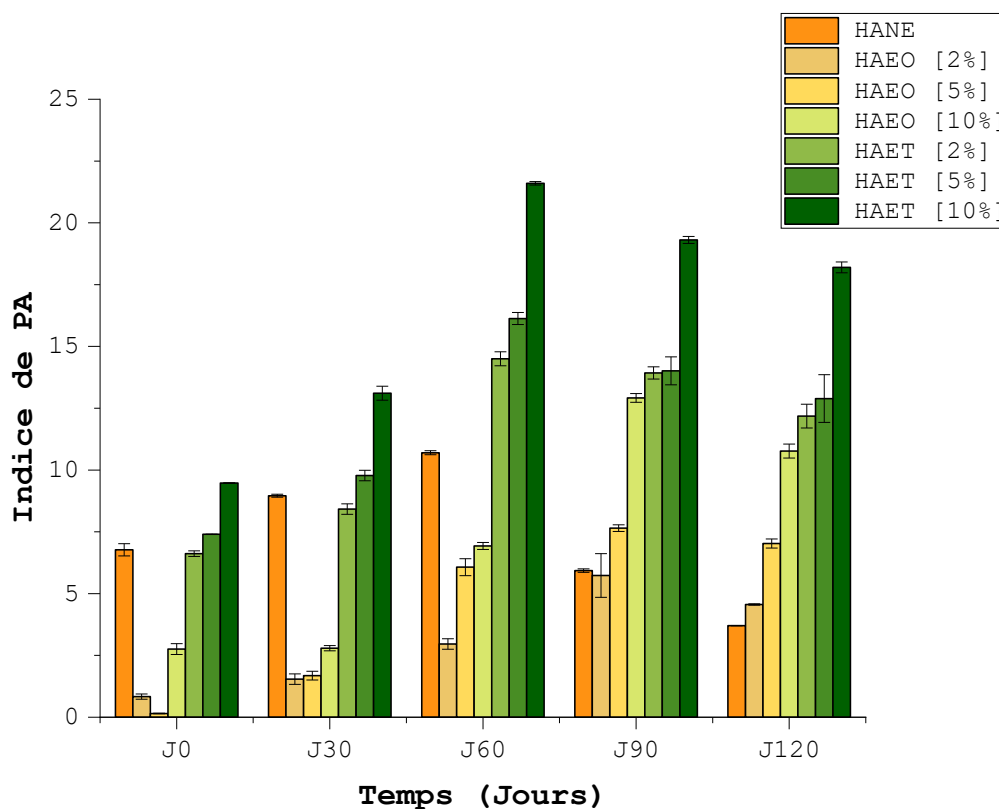


Figure 61: Évolution de l'indice de para anisidine des échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

3.1 Coefficient d'extinction E_{270}

La valeur de l'extinction E_{270} est presque stable dans tous les échantillons étudiés pendant le premier mois de stockage. Après, les échantillons ont connu une augmentation pour atteindre des valeurs d'extinction E_{270} de 1.34 ± 0.01 ; 1.86 ± 0.03 et 1.941 ± 0.003 dans l'huile d'argane enrichie en origan 2%,5% et 10% et des valeurs de 0.720 ± 0.01 ; 1.31 ± 0.01 et 1.22 ± 0.01 en thym aussi 2%,5% et 10%.

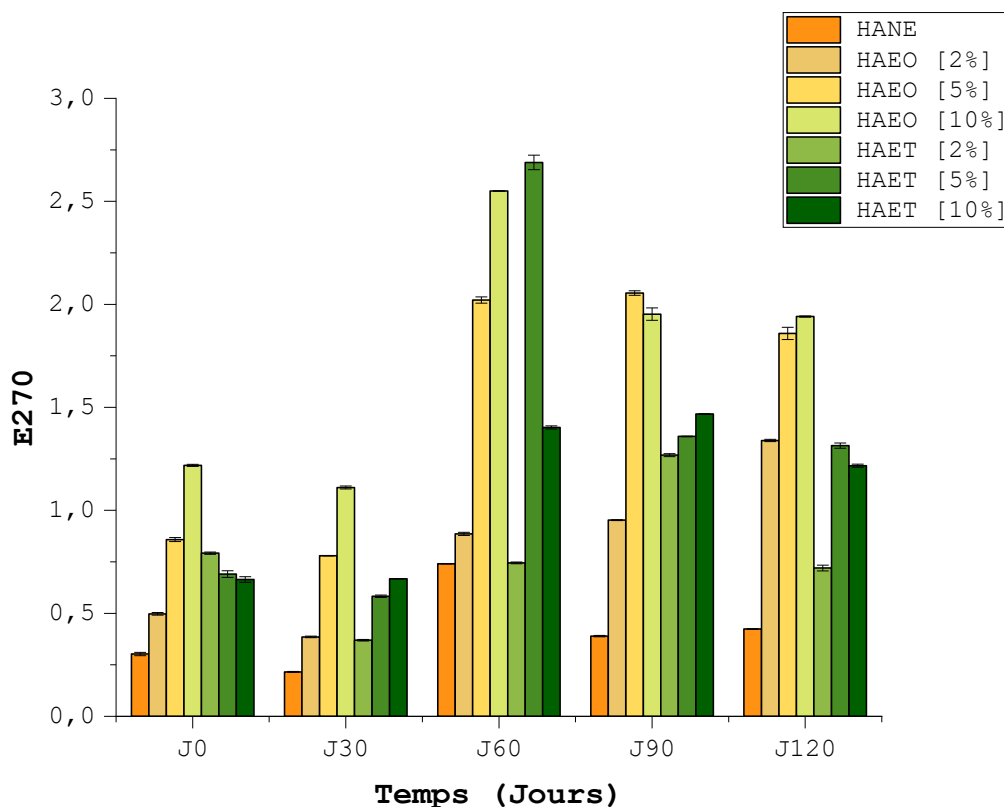


Figure 62 : Évolution de l'absorption E_{270} des échantillons d'huile d'argane stockés à 60 °C pendant 4 mois.

D'après ses résultats on peut conclure que l'augmentation des valeurs de l'absorbance aux voisinages de E_{270} nm dans nos échantillons montre qu'il y a des produits d'oxydation secondaires (Gharby et al., 2012).

En guise de conclusion, l'évolution de ces paramètres E_{232} et E_{270} au cours du stockage à 60 °C a permis de montrer qu'ils deviennent plus élevés à cause de la chaleur qui catalyse la dégradation des peroxydes et la formation des produits secondaires d'oxydation (Gharby et al., 2012). Dans les huiles enrichies avec le thym, tous les paramètres ont significativement diminué au cours du stockage, ce qui montre l'effet positif de l'ajout du thym dans l'huile d'argane. Cet effet peut être produit par les propriétés antioxydantes présentes dans cette

plante. L'effet de l'enrichissement des huiles par des plantes aromatiques, ainsi que l'effet du stockage des huiles dans des conditions différentes, ont été rapporté par plusieurs auteurs ([Armellini et al., 2018](#) ; [Bajerska et al., 2013](#) ; [Veillet, 2010](#) ; [Gharby, 2012](#) ; [Cuvellier et maillard, 2012](#)).

4. Composition en acides gras

Les acides gras dans l'huile d'argane sont majoritairement insaturés représentés par l'acide oléique, l'acide linoléique et une faible concentration de l'acide linolénique, quant aux acides gras saturés, ils sont minoritairement représentés par l'acide palmitique et l'acide stéarique ([Elhaidag, 2020](#)).

Le **Tableau 21**, représente les profils d'acides gras des huiles non enrichies et enrichies avec d'origan et du thym 2%, 5% et 10%, avant et après leurs stockages durant 4 mois.

En général, l'enrichissement de l'huile d'argane n'a pas affecté la composition en acides gras. En effet, l'acide gras majoritaire dans nos échantillons est l'acide oléique (C18:1) avec des teneurs entre **43.21** g/100g, et de **47.04** g/100g dans les huiles étudiées avant et après stockage.

L'acide gras minoritaire dans nos échantillons est l'acide gras stéarique (C18:0). Il varie de **4.74** g/100g à **5.90** g/100g dans les huiles enrichies et non enrichies.

Tableau 21 : Composition en acides gras d'huile d'argane stockées à 60 °C.

	HANE		HAEO [2%]		HAEO [5%]		HAEO [10%]		HAET [2%]		HAET [5%]		HAET [10%]	
	EI	EF	EI	EF	EI	EF	EI	EF	EI	EF	EI	EF	EI	EF
C16:0	15,40	13,53	14,01	14,48	13,24	13,20	17,16	13,70	13,25	14,28	17,16	14,18	13,70	13,77
C18:0	4,81	5,20	5,16	5,66	5,10	5,45	4,74	5,90	5,25	5,32	4,74	5,15	5,42	5,68
C18:1	47,04	45,09	43,21	45,20	43,57	46,33	43,69	45,90	45,62	45,90	43,69	46,27	45,27	45,68
C18:2	32,52	36,19	37,62	34,62	38,09	35,03	34,41	34,50	34,79	34,50	34,41	34,38	34,67	34,79

* EI / État initiale ; EF/ État finale

** Résultats exprimés par la moyenne de deux essais (n=2) $\pm$ **0.01**

La composition en acides gras de toutes les huiles est conforme à la norme ([SNIMA 2003](#)).

Des résultats similaires ont été rapportés dans l'étude de (Aydeniz & Yilmaz, 2012). Il n'y a pas eu d'autres changements significatifs dans la composition en acides gras.

5. Teneur en caroténoïdes et en chlorophylles

L'huile enrichie par la forte concentration d'origan 10g/100g est celle qui a enregistré la plus forte teneur en caroténoïdes. Elle a enregistré une valeur de 0.79 ± 0.11 ppm suivie par l'huile enrichie en thym 10g/100g prend une valeur de 0.77 ± 0.02 ppm.

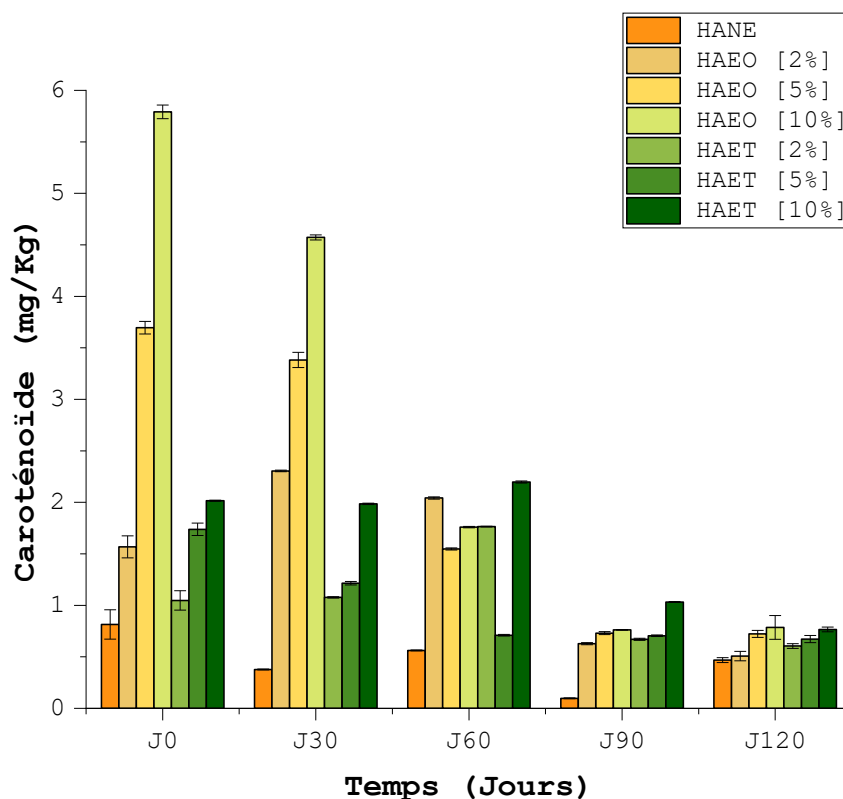


Figure 63 : Évolution de la teneur en caroténoïdes pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois

La diminution de la teneur en caroténoïdes pour les deux types d'huiles enrichies correspond au rôle principal des caroténoïdes comme agent antioxydant.

La teneur en chlorophylle des huiles enrichies a légèrement diminué durant la période de stockage. Or, pour un enrichissement par 2g/100g, 5g/100g, 10g/100g d'origan et de même concentration de thym, la teneur en chlorophylle a enregistré une valeur de 3.76 ± 0.08 4.45 ± 0.05 ppm ; 5.50 ± 0.02 ppm; 2.01 ± 0.06 ppm ; 1.03 ± 0.07 ppm et 3.22 ± 0.06 ppm respectivement. Alors que l'huile non enrichie a enregistré une teneur en chlorophylle moins intense (0.42 ± 0.07 ppm).

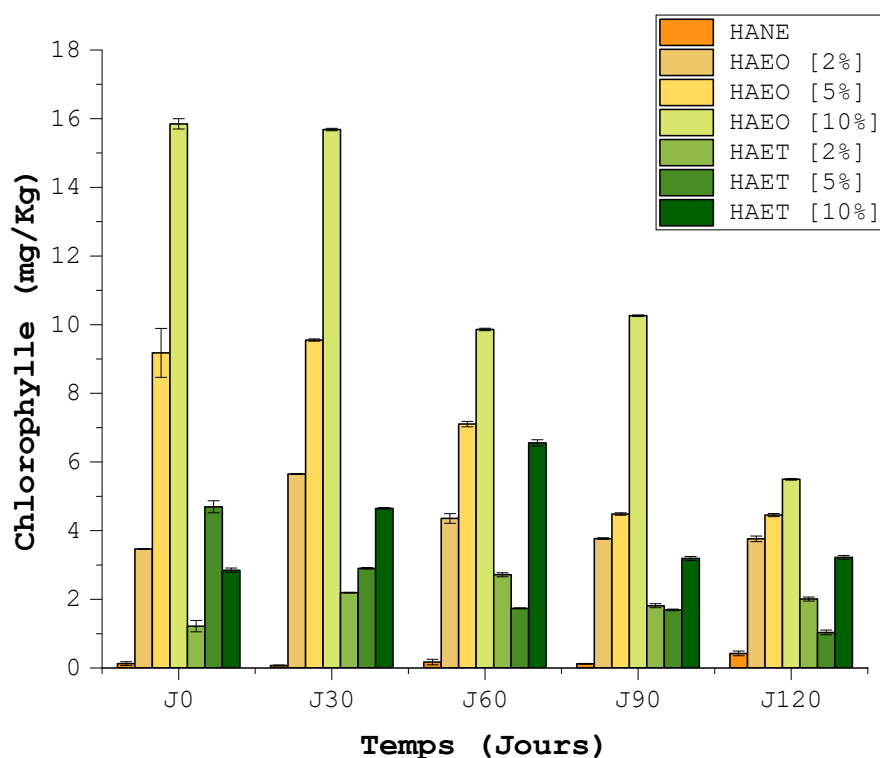


Figure 64: Évolution de la teneur en chlorophylles pour les échantillons d'huile d'argane à 60 °C pendant 4 mois.

Finalement, on peut déduire que les indices de qualité (acidité, indice de peroxyde, E_{232}/E_{270}) ont enregistré de faibles teneurs dans les huiles d'argane enrichies par le thym. Tandis que, la composition en acides gras n'a été pas affectée par l'enrichissement par les deux plantes.

Après l'évaluation analytique, on peut dire que l'huile enrichie peut être considérée comme un nouveau produit alimentaire dans le marché national et international, et également un ingrédient intéressant dans la préparation des produits cosmétiques.

Conclusion générale

L'équipe de recherche Biotechnologie, Sciences Analytiques et Contrôle Qualité, de la Faculté Polydisciplinaire de Taroudant relevant de l'Université Ibn Zohr Agadir a mené, depuis 2017, des recherches fondamentales et appliquées pour valoriser l'arganier, un arbre endémique au Maroc où il constitue une réserve mondiale. C'est dans ce sens que la présente étude a été entreprise dans le cadre d'un projet de fin d'études de master.

L'huile d'argane est un produit marocain par excellence et pour le valoriser nous avons pensé à combiner les propriétés des plantes les plus connues dans la région de Souss Massa, avec celles de l'huile d'argane alimentaire pour examiner leurs interactions et pouvoir créer un nouveau produit avec des caractéristiques fortement intéressantes et prometteuses.

En générale l'enrichissement a un effet significatif sur l'évolution de certains paramètres, à savoir : l'acidité, l'indice de peroxyde, et les extinctions E_{270} et E_{232} . Ces paramètres ont diminué après l'enrichissement de l'huile d'argane par le thym. Cependant, la composition en acides gras n'est influencée, ni par l'enrichissement, ni par la période et les conditions du stockage. Après le dosage des caroténoïdes, on a remarqué que les huiles enrichies à différentes concentrations, ont enregistré une amélioration de la couleur, passant de la couleur jaune de l'huile d'argane à une huile avec une coloration plus ou moins foncée. Ce changement est probablement provoqué par la solubilisation des pigments végétaux dans l'huile.

En tenant compte des résultats prometteurs obtenus dans la présente étude ; l'effort de la valorisation de cette huile doit être poursuivi car il peut, par ses retombés scientifiques, participer de façon déterminante au développement du secteur de l'arganier et également des plantes aromatiques et médicinales. C'est pour cette raison, différentes études de recherche peuvent être recommandées et entreprises dans le but d' :

- ➔ Élargissement de la gamme de l'huile d'argane en utilisant les différentes techniques d'enrichissement par d'autres plantes aromatiques et médicinales.
- ➔ Identification des composés volatils des composés responsables du goût et de l'odeur typique de l'huile d'argane alimentaire avant et après l'enrichissement par les plantes.

Références Bibliographiques

- Abdelali, H., Sifour, N., Taleb, S., & Djabali, S. (Encadreur). (2021). Impact de cuisson à l'eau sur la teneur et l'activité antioxydant des composés phénoliques de pois chiche [Thèse, Université de Jijel]. <http://dspace.univ.jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/10850>
- Abdenour, B., Bouziane, N., Mounia, H., Asma, B., Bentounes, M., Bentounes, H., Benhabib, A., Sabeur, F., & Ali, B. (2017). Caractérisation physico-chimique de l'huile d'argan préparée à partir des fruits d'argania Spinoza (L.) récoltes dans la wilaya de Motaganem (Algérie). 11, 72-7972.
- Abendrot, M., & Kalinowska-Lis, U. (2018). Zinc-containing compounds for personal care applications. *International Journal of Cosmetic Science*, 40(4), 319-327. <https://doi.org/10.1111/ics.12463>
- Abenoza, M., & Sánchez-Gimeno, A. C. (2021). Increasing the stability of Empeltre olive oils by aromatization with rosemary (*Rosmarinus officinalis*) and garlic (*Allium sativum*). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100333. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100333>
- Abood, S., Eichelbaum, S., Mustafi, S., Veisaga, M.-L., López, L. A., & Barbieri, M. (2017). Biomedical Properties and Origins of Sesquiterpene Lactones, with a Focus on Dehydroleucodine. *Natural Product Communications*, 12(6), 1934578X1701200638. <https://doi.org/10.1177/1934578X1701200638>
- Achat, S. (2013). Polyphénols de l'alimentation : Extraction, pouvoir antioxydant et interactions avec des ions métalliques [Thèse de doctorat, Avignon]. <https://www.theses.fr/2013AVIG0248>
- Achat, S., Tomao, V., Madani, K., Chibane, M., Elmaataoui, M., Dangles, O., & Chemat, F. (2012). Direct enrichment of olive oil in oleuropein by ultrasound-assisted maceration at laboratory and pilot plant scale. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(4), 777-786. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.12.006>
- Agouzzal, I. (2019). Les vertus thérapeutiques de l'huile d'argan : enquête menée à la région de sous massa au Maroc. <http://ao.um5.ac.ma/xmlui/handle/123456789/17346>

- Ahlem, B. (2015). L'effet protecteur des antioxydants naturels dans l'intoxication du mercure chez le rat Albinos Wistar (Aspects biochimiques, immunologiques et histologiques). 188.
- Akbar, S. (2020). *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae). In S. Akbar (Éd.), *Handbook of 200 Medicinal Plants: A Comprehensive Review of Their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications* (p. 1795-1810). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16807-0_185
- Alami, A. E., Fattah, A., & Chait, A. (2020). Medicinal plants used for the prevention purposes during the Covid-19 pandemic in Morocco. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, 2(1), Art. 1. <https://doi.org/10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v2i1.21056>
- Al-Asmari, A. K., Athar, M. T., Al-Faraidy, A. A., & Almuhaiza, M. S. (2017). Chemical composition of essential oil of *Thymus vulgaris* collected from Saudi Arabian market. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(2), 147-150. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.11.023>
- Alejo-Armijo, A., Altarejos, J., & Salido, S. (2017). Phytochemicals and Biological Activities of Laurel Tree (*Laurus nobilis*). *Natural Product Communications*, 12(5), 1934578X1701200519. <https://doi.org/10.1177/1934578X1701200519>
- AL-Samarrai¹, O. R., Naji², N. A., Naji², N. A., & Hameed¹, R. R. (2018). Effect of Bay leaf (*Laurus nobilis* L.) and its isolated (flavonoids and glycosides) on the lipids profile in the local Iraqi female rabbits. *Tikrit Journal of Pure Science*, 22(6), Art. 6.
- Al-Snafi, A. (2016). The pharmacology of *Crocus sativus*-A review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 6, 8-38.
- Al-Snafi, A. (2018). Traditional uses of Iraqi medicinal plants. 8, 32-96.
- Alsufiani, H., & Ashour, W. (2021). Effectiveness of the Natural Antioxidant 2,4,4'-Trihydroxychalcone on the Oxidation of Sunflower Oil during Storage. *Molecules*, 26(6), Art. 6. <https://doi.org/10.3390/molecules26061630>
- Amereih, S., Barghouthi, Z., & Marowan, O. (2014). Detection and Quantification of Adulteration in Olive Oil using a UV- Spectrophotometric Method.

<https://scholar.ptuk.edu.ps/handle/123456789/110>

- Andrade, J. M., Faustino, C., Garcia, C., Ladeiras, D., Reis, C. P., & Rijo, P. (2018). *Rosmarinus officinalis* L.: An update review of its phytochemistry and biological activity. *Future Science* OA, 4(4), FSO283. <https://doi.org/10.4155/fsoa-2017-0124>
- Anwar, F., Ahmad, N., Alkharfy, K. M., & Gilani, A.-H. (2016). Mugwort (*Artemisia vulgaris*) Oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (p. 573-579). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00065-1>
- Aouchiche, N. (2017). Evaluation de l'altération de l'huile « Elio » au cours de la friture de poisson, « Anchois ». [Thèse, Université Mouloud Mammeri]. <https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/4066>
- Arrahmouni, I., Benabdellah, A., Dehhaoui, M., & Bencheekroun, F. (2018). Analyse fonctionnelle de la chaîne de valeur d'argane de la province de Tiznit : Cartographie des maillons et des acteurs. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6(4), 429-436.
- Arrutia, F., Binner, E., Williams, P., & Waldron, K. W. (2020). Oilseeds beyond oil : Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
- Asadi, M. (2022). Chemical content of the aerial parts essential oil from rosemary, *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae) samples collected from Kermanshah province in the west of Iran. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals*, 2(1), Art. 1.
- Assami, K., Chemat, S., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2016). Ultrasound-Assisted Aromatisation with Condiments as an Enabling Technique for Olive Oil Flavouring and Shelf Life Enhancement. *Food Analytical Methods*, 9(4), 982-990. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0273-9>
- Ayadi, M. A., Grati-Kamoun, N., & Attia, H. (2009). Physico-chemical change and heat stability of extra virgin olive oils flavoured by selected Tunisian aromatic plants. *Food and Chemical Toxicology*, 47(10), 2613-2619. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.07.024>
- Ayari, D. (2021). Etude des effets toxiques des huiles végétales oxydées sur la physiologie et

- le métabolisme cellulaire des lapins [Thèse]. <http://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/11051>
- Ayerdi, G. A., & Larbi, R. (2016). Access sunflower : some examples of current research turnsole : Exemples de travaux de recherche Effects of refining process on sunflower oil minor components : A review. 23(2).
- Badreddine, A. (2016). Préparation et caractérisation d'extraits d'Argania spinosa et d'huile d'argan et évaluation de leurs effets neuroprotecteurs in vivo et in vitro [Thèse de doctorat, Dijon]. <https://www.theses.fr/2016DIJOS032>
- Banovac, A. (2017). Utjecaj dodatka prirodnih antioksidanasa različite koncentracije na oksidacijsku stabilnost suncokretovog ulja [Info: eu-repo/semantics/master Thesis, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. faculty of food technology. Department of Food Technologies. Sub-department of Food Engineering]. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:526509>
- Barreca, S., La Bella, S., Maggio, A., Licata, M., Buscemi, S., Leto, C., Pace, A., & Tuttolomondo, T. (2021). Flavouring Extra-Virgin Olive Oil with Aromatic and Medicinal Plants Essential Oils Stabilizes Oleic Acid Composition during Photo-Oxidative Stress. *Agriculture*, 11(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030266>
- Batool, S., Khera, R. A., Hanif, M. A., & Ayub, M. A. (2020). Bay Leaf. In Medicinal Plants of South Asia (p. 63-74). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00005-7>
- Belhaj, S., Chaachouay, N., Zidane, L., & Garrido, G. (2021). Ethnobotanical and toxicology study of medicinal plants used for the treatment of diabetes in the High Atlas Central of Morocco. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 9, 619-662.
- Bell, L. N. (2020). Moisture Effects on Food's Chemical Stability. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Éds.), *Water Activity in Foods* (1^{re} éd., p. 227-253). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch9>
- Benmoussa, H., Elfalleh, W., Farhat, A., Servili, M., Algabr, M., & Romdhane, M. (2016). Impact of Microwave Assisted Infusion on the Quality and Volatile Composition of Olive

- Oil Aromatized with Rosemary Leaves. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93(7), 921-928. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2847-0>
- Benslimane, A. (2020). Les huiles fixes : Usages thérapeutiques et cosmétiques, production et commercialisation. 62, 214.
- Bijla, L., Aissa, R., Laknifli, A., Bouyahya, A., Harhar, H., & Gharby, S. (2022). Spent coffee grounds : A sustainable approach toward novel perspectives of valorization. *Journal of Food Biochemistry*, 46(8), e14190. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14190>
- Bistgani, Z. E., Hashemi, M., DaCosta, M., Craker, L., Maggi, F., & Morshedloo, M. R. (2019). Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 135, 311-320. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.055>
- Bittencourt Fagundes, M., Ballus, C. A., Perceval Soares, V., de Freitas Ferreira, D., Sena Vaz Leães, Y., Sasso Robalo, S., Guidetti Vendruscolo, R., Bastianello Campagnol, P. C., Smaniotto Barin, J., Cichoski, A. J., Bevilacqua Marcuzzo, S., Assumpção Bertuol, D., & Wagner, R. (2020). Characterization of olive oil flavored with Brazilian pink pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in different maceration processes. *Food Research International*, 137, 109593. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109593>
- Bonnefont-Rousselot, D. (2020). Les marqueurs de l'oxydation des lipides. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(522), 47-55. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(20\)30162-3](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(20)30162-3)
- Borel, P., Preveraud, D., & Desmarchelier, C. (2013). Bioavailability of vitamin E in humans : An update. *Nutrition Reviews*, 71(6), 319-331. <https://doi.org/10.1111/nure.12026>
- Boukouira, L., Khellafi, A., & Bekka-Hadji, F. (Encadreur). (2021). Effet de l'emballage sur les caractéristiques physico-chimiques et la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge conservée : Emballage plastique et verre [Thèse, Université de Jijel]. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/10848>
- Boukyoud, Z., Ibourki, M., Gharby, S., Sakar, E. H., Bijla, L., Atifi, H., Matthäus, B., Laknifli, A., & Charrouf, Z. (2021). Can the water quality influence the chemical composition, sensory properties, and oxidative stability of traditionally extracted argan oil?

- Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 14(4), 383-399.
<https://doi.org/10.3233/MNM-210005>
- Bourgou, S., Bettaieb Rebey, I., Mkadmini, K., Isoda, H., Ksouri, R., & Ksouri, W. M. (2017). LC-ESI-TOF-MS and GC-MS profiling of *Artemisia herba-alba* and evaluation of its bioactive properties. *Food Research International*, 99, 702-712.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.009>
- Briber, N., & Amira, W. (Encadreur). (2020). *Activité antioxydante et antibactérienne de la plante Allium cepa* [Thèse, Université de jijel]. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/7675>
- Brinza, I., Boiangiu, R. S., Hancianu, M., Cioanca, O., Erdogan Orhan, I., & Hritcu, L. (2021). Bay Leaf (*Laurus Nobilis* L.) Incense Improved Scopolamine-Induced Amnesic Rats by Restoring Cholinergic Dysfunction and Brain Antioxidant Status. *Antioxidants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/antiox10020259>
- Caponio, F., Durante, V., Varva, G., Silletti, R., Previtali, M. A., Viggiani, I., Squeo, G., Summo, C., Pasqualone, A., Gomes, T., & Baiano, A. (2016). Effect of infusion of spices into the oil vs. Combined malaxation of olive paste and spices on quality of naturally flavoured virgin olive oils. *Food Chemistry*, 202, 221-228.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.005>
- Cardenas, E., & Ghosh, R. (2013). Vitamin E: A dark horse at the crossroad of cancer management. *Biochemical Pharmacology*, 86(7), 845-852.
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.07.018>
- Cayot, P. (2022). Pourquoi le fer est indispensable à notre santé (p. 1-6). <https://hal-agrosup-dijon.archives-ouvertes.fr/hal-03694903>
- Césaire, K. S. T., Albert, D.-M. J., Sastile, M. N., Godswill, N.-N., George, N. E., & Emmanuel, M. M. (2019). Etude de l'Origine et de l'Identité de quelques Types d'Huiles Végétales Raffinées Commercialisées à Douala/Cameroun. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, 15(1), 25. <https://doi.org/10.4314/jcas.v15i1.3>
- Chabraoui, L., Talbaoui, H., & Caillaud, C. (2009). Épidémiologie des maladies de surcharge lysosomale au Maroc. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2009(416), 33-34.

[https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(09\)70278-3](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(09)70278-3)

Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2007). Huile d'argan une production devenue adulte. *Les technologies de laboratoire*, 2(6), Art. 6.
<https://revues.imist.ma/index.php/technolab/article/view/337>

Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008a). Argan oil : Occurrence, composition and impact on human health. In *European Journal of Lipid Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200700220>

Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2008b). Argan oil : Occurrence, composition and impact on human health. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 110(7), 632-636.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.200700220>

Charrouf, Z., & Guillaume, D. (2018). The argan oil project : Going from utopia to reality in 20 years. *OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 25(2), 1-5.
<https://doi.org/10.1051/ocl/2018006>

Chelouche, F., & Smail, L. (2017). Effet de la lumière sur la qualité de deux huiles commercialisées en Algérie. [Thèse, Université Mouloud Mammeri].
<https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/4118>

Cheraif, K., Bakchiche, B., Gherib, A., Bardaweel, S. K., Çol Ayvaz, M., Flamini, G., Ascrizzi, R., & Ghareeb, M. A. (2020). Chemical Composition, Antioxidant, Anti-Tyrosinase, Anti-Cholinesterase and Cytotoxic Activities of Essential Oils of Six Algerian Plants. *Molecules*, 25(7), Art. 7. <https://doi.org/10.3390/molecules25071710>

Chew, S.-C., Tan, C.-P., Long, K., & Nyam, K.-L. (2016). Effect of chemical refining on the quality of kenaf (hibiscus cannabinus) seed oil. *Industrial Crops and Products*, 89, 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.002>

Clodoveo, M. L., Dipalmo, T., Crupi, P., Durante, V., Pesce, V., Maiellaro, I., Lovece, A., Mercurio, A., Laghezza, A., Corbo, F., & Franchini, C. (2016). Comparison Between Different Flavored Olive Oil Production Techniques : Healthy Value and Process Efficiency. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(1), 81-87.
<https://doi.org/10.1007/s11130-016-0528-7>

- CODEX. (2019). Rapport de la vingt-sixième session du comité du codex sur les graisses et les huiles.
- COI. (2019). Norme commerciale applicable aux huiles d'olive et aux huiles de grignons d'olive.
- Combe, N., & Rossignol-Castera, A. (2010). Vegetable oils and frying. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(Hors série 1). <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113028957>
- Ćujić, N., Šavikin, K., Janković, T., Pljevljakušić, D., Zdunić, G., & Ibrić, S. (2016). Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. *Food Chemistry*, 194, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.008>
- Cuvelier, M.-E., & Maillard, M.-N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*, 19(2), 125-132. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0440>
- Das, A. K., Rajkumar, V., Verma, A. K., & Swarup, D. (2012). Moringa oleifera leaves extract : A natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in cooked goat meat patties: M. oleifera leaves extract as natural antioxidant. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(3), 585-591. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02881.x>
- Dauqan Eqbal M. A. & Aminah Abdullah. (2017). Medicinal and Functional Values of Thyme (Thymus vulgaris L.) Herb. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. <https://doi.org/10.7324/JABB.2017.50203>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8(10), Art. 10. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Dridi, W. (2016). Influence de la formulation sur l'oxydation des huiles végétales en émulsion eau-dans-huile [PhD-Thèse, Université de Bordeaux]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01376766>
- Drinić, Z., Mudrić, J., Zdunić, G., Bigović, D., Menković, N., & Šavikin, K. (2020). Effect of

- pomegranate peel extract on the oxidative stability of pomegranate seed oil. *Food Chemistry*, 333, 127501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127501>
- Drouche, I., José Maria, C., Saidi, F., & Maria Del Carmen, P. (2021). Valorisation de l'huile d'argan de Tindouf et étude de l'influence de l'origine des fruits (Arganiers/Caprins) et de la torréfaction sur sa qualité et sa composition chimique. *AGROBIOLOGIA*, 11(2), 2617-2627.
- Dumont, M. J., & Narine, S. S. (2007). Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils : Review on their characterization, extraction and utilization. *Food Research International*, 40(8), 957-974. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.06.006>
- El Abbassi, A., Khalid, N., Zbakh, H., & Ahmad, A. (2014). Physicochemical Characteristics, Nutritional Properties, and Health Benefits of Argan Oil : A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(11), 1401-1414. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.638424>
- El Alami, A., Loubna, F., & Abderrahman, C. (2016). Etude ethnobotanique sur les plantes médicinales spontanées poussant dans le versant nord de l'Atlas d'Azilal (Maroc). *Algerian Journal of Natural Products*, 4, 271-282.
- El Midaoui, A., Ghzaïel, I., Vervandier-Fasseur, D., Ksila, M., Zarrouk, A., Nury, T., Khallouki, F., El Hessni, A., Ibrahimi, S. O., Latruffe, N., Couture, R., Kharoubi, O., Brahmi, F., Hammami, S., Masmoudi-Kouki, O., Hammami, M., Ghraïri, T., Vejux, A., & Lizard, G. (2022). Saffron (*Crocus sativus* L.) : A Source of Nutrients for Health and for the Treatment of Neuropsychiatric and Age-Related Diseases. *Nutrients*, 14(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/nu14030597>
- El Monfalouti, H. (2013). Contribution à la détermination des propriétés photo-protectrices et anti-oxydantes des dérivés de l'arganier : Études chimiques et physiologiques [**PhD Thèse**]. Reims.
- El Monfalouti, H., Kartah, B. E., & Hilali, M. (2020). Evaluation of the chemical composition of Argan (*Argania spinosa* L.) oil according to its extraction method, origin of production and altitude. *Journal of World's Poultry Research*, 10(3), 111-118. <https://doi.org/10.36380/scil.2020.ojaf15>

- Elame, D. F. (2021). Economic analysis of the « argan » sector in morocco. 6, 14.
- Elhaidag, F. (2020). Contribution à la valorisation de l'huile d'Argane : Effet de la torréfaction des amandons d'arganier par micro-ondes sur la qualité physicochimique et sensorielle de l'huile d'argane alimentaire et enrichissement de l'huile d'argane cosmétique par des extraits du safran (*Crocus Sativus L.*). [**Mémoire de Master, Faculté Polydisciplinaire de Taroudant Maroc**]
- Ergönül, P. G., & Köseoğlu, O. (2014). Changes in α -, β -, γ - And δ -tocopherol contents of mostly consumed vegetable oils during refining process. *CYTA - Journal of Food*, 12(2), 199-202. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.821672>
- Evrard, J., Pagès-Xatart-Pares, X., Argenson, C., & Morin, O. (2007). Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 13-23. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(07\)91235-3](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(07)91235-3)
- FABRE, J.-F. (2019). Etude in vitro et in silico de l'extraction, modification chimique et assemblage de phospholipides pour la construction de nouvelles vésicules végétales : Exemple de la caméline. *le jeudi 4 juillet 2019*, 336.
- Fadda, A., Sanna, D., Sakar, E. H., Gharby, S., Mulas, M., Medda, S., Yesilcubuk, N. S., Karaca, A. C., Gozukirmizi, C. K., Lucarini, M., Lombardi-Boccia, G., Diaconeasa, Z., & Durazzo, A. (2022). Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability*, 14(2), 849. <https://doi.org/10.3390/su14020849>
- Fang, B., Zhang, M., & Shen, Y. M. (2017). Importance of the higher retention of tocopherols and sterols for the oxidative stability of soybean and rapeseed oils. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1938-1944. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2628-2>
- Faouzi, H. (2017). L'arganeraie marocaine, un système traditionnel face aux mutations récentes : Le cas du territoire des Haha, Haut Atlas occidental. *Norois. Environnement, aménagement, société*, 242, Art. 242. <https://doi.org/10.4000/norois.6048>
- Fasskaoui, B. E., Kagermeier, A., & Amzil, L. (2022). The Argan biosphere reserve: a foison of public and private initiatives for the valorization of a terroir product. 20.

- Ferrara, L., Vitulano, M., Naviglio, D., & Gallo, M. (2016). Extraction And Curcuminoids Activity From The Roots Of Curcuma Longa By Rslde Using The Naviglio Extractor. *European Scientific Journal*, 119-127.
- Fierascu, R. C., Fierascu, I., Baroi, A. M., & Ortan, A. (2021). Selected Aspects Related to Medicinal and Aromatic Plants as Alternative Sources of Bioactive Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1521. <https://doi.org/10.3390/ijms22041521>
- Fikry, S., Khalil, N., & Salama, O. (2019). Chemical profiling, biostatic and biocidal dynamics of Origanum vulgare L. essential oil. *AMB Express*, 9(1), 41. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0764-y>
- Flores, M., Avendaño, V., Bravo, J., Valdés, C., Forero-Doria, O., Quitral, V., Vilcanqui, Y., & Ortiz-Viedma, J. (2021). Edible Oil Parameters during Deterioration Processes. *International Journal of Food Science*, 2021, e7105170. <https://doi.org/10.1155/2021/7105170>
- Franke, K., Strijowski, U., Fleck, G., & Pudiel, F. (2009). Influence of chemical refining process and oil type on bound 3-chloro-1,2-propanediol contents in palm oil and rapeseed oil. *LWT - Food Science and Technology*, 42(10), 1751-1754. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.021>
- Gacem, M. A., Ould El Hadj-Khelil, A., Boudjemaa, B., & Gacem, H. (2020). Phytochemistry, Toxicity and Pharmacology of Pistacia lentiscus, Artemisia herba-alba and Citrullus colocynthis. In E. Lichtfouse (Éd.), *Sustainable Agriculture Reviews* 39 (p. 57-93). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38881-2_3
- Gao, F., Robe, K., Gaymard, F., Izquierdo, E., & Dubos, C. (2019). The Transcriptional Control of Iron Homeostasis in Plants : A Tale of bHLH Transcription Factors? *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00006>
- Gharby, S. (2012). Contribution à la valorisation de l'huile d'argane : Influence de l'origine du fruit (terroir, forme) et de la méthode d'extraction sur la composition chimique, les caractéristiques organoleptiques et la stabilité de l'huile d'argane. <http://thesesenafrique.imist.ma/handle/123456789/1273>

- Gharby, S. (2022). Refining Vegetable Oils : Chemical and Physical Refining. *The Scientific World Journal*, 2022, e6627013. <https://doi.org/10.1155/2022/6627013>
- Gharby, S., & Charrouf, Z. (2022). Argan Oil : Chemical Composition, Extraction Process, and Quality Control. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnut.2021.804587>
- Gharby, S., Guillaume, D., Elibrahimi, M., & Zoubida Charrouf. (2021). Physico-Chemical Properties and Sensory Analysis of Deodorized Argan Oil. *ACS Food Science & Technology*, XX(XX), XX. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00107>
- Gharby S, Guillaume D, Nounah I, Harhar H, Hajib A, Matthäus B, C. Z. (2021). Shelf life of Moroccan prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and argan (*Argania spinosa*) oils : A comparative study. *Grasas Aceites*, 72(1), e397. <https://doi.org/10.3989/gya.1147192>.
- Gharby, S., Guillaume, D., Nounah, I., Harhar, H., Hajib, A., Matthäus, B., & Charrouf, Z. (2021). Shelf-life of Moroccan prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) and argan (*Argania spinosa*) oils : A comparative study. *Grasas y Aceites*, 72(1), Art. 1. <https://doi.org/10.3989/gya.1147192>
- Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaâ, Z., Elmadani, N., & Charrouf, Z. (2015). The Effect of Storage Conditions and Roasting Kernels on Extra Virgin Argan Oil Quality. 10.
- Gharby, S., Harhar, H., El Monfalouti, H., Kartah, B., Maata, N., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2012). Chemical and oxidative properties of olive and argan oils sold on the Moroccan market. A comparative study. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 5(1), 31-38. <https://doi.org/10.1007/s12349-011-0076-5>
- Gharby, S., Harhar, H., El Monfalouti, H., Kartah, B., Maata, N., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2012). Chemical and oxidative properties of olive and argan oils sold on the Moroccan market. A comparative study. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 5(1), 31-38. <https://doi.org/10.1007/s12349-011-0076-5>
- Gharby, S., Harhar, H., Farssi, M., Ait Taleb, A., Guillaume, D., & Laknifli, A. (2018). Influence of roasting olive fruit on the chemical composition and polycyclic aromatic hydrocarbon content of olive oil. *OCL*, 25(3), A303. <https://doi.org/10.1051/ocl/2018013>

- Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Matthäus, B., & Charrouf, Z. (2011a). Oxidative stability of edible argan oil : A two-year study. *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.003>
- Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Matthäus, B., & Charrouf, Z. (2011b). Oxidative stability of edible argan oil : A two-year study. *LWT - Food Science and Technology*, 44(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.003>
- Gharby, S., Harhar, H., Kartah, B., Chafchaoui, I., Sibawayh, Z., & Charrouf, Z. (2013). Chemical Characterization and oxidative stability of two monovarietal virgin olive oils (Moroccan Picholine and Arbequina) grown in Morocco. 9.
- Gharby, S., Harhar, H., Kartah, B., & Monfalouti, H. E. (2011). Analyse chimique et sensorielle de l'huile d'argane. 6, 11.
- Gharby, S., Harhar, H., Roudani, A., Chafchaoui, I., & Charrouf, Z. (s. d.). Stability oxidative from cosmetic and alimentary argan oil of thermal treatments. 6.
- Gharby, S., Hicham, H., Bouzoubaâ, Z., Roudani, A., Chafchaoui, I., Kartah, B. E., & Charrouf, Z. (2014). Effet des Polyphénols extraits des margines sur la stabilité de l'huile de tournesol. *Journal of materiel and environmental science*, 5, 464-469.
- Gharby, S., Hicham, H., & Charrouf, Z. (2015). Estimation de la durée de vie de l'huile d'argane;
- Gharby, S., Hicham, H., Kartah, B. E., Chafchaoui, I., Bouzoubaâ, Z., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2013). Contrôle de la qualité de l'huile d'argan.
- Gharby, S., Ravi, H. K., Guillaume, D., Abert Vian, M., Chemat, F., & Charrouf, Z. (2020). 2-methyloxolane as alternative solvent for lipid extraction and its effect on the cactus (*Opuntia ficus-indica* L.) seed oil fractions. *OCL*, 27, 27. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020021>
- Gomez-Gomez, A., Brito-de la Fuente, E., Gallegos, C., Garcia-Perez, J. V., & Benedito, J. (2020). Non-thermal pasteurization of lipid emulsions by combined supercritical carbon dioxide and high-power ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67, 105138. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105138>

- Goto, M., Kuda, T., Shikano, A., Takahashi, H., & Kimura, B. (2021). Effects of Ethanol-Precipitated Argan Press Cake on the Caecal Microbiome of Mice Fed a High-Sucrose Diet. *Waste and Biomass Valorization*, 12(10), 5451-5460. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01408-y>
- Guéguen, J., Walrand, S., & Bourgeois, O. (2016). Les protéines végétales : Contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51(4), 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2016.02.001>
- Guillaume, D. O. M., & Charrouf, Z. (2013). Argan oil for nutritional and skin care applications. 8(April), 28-30.
- Guillaume, D., Pioch, D., & Charrouf, Z. (2019). Argan [Argania spinosa (L.) Skeels] Oil. In M. F. Ramadan (Éd.), *Fruit Oils : Chemistry and Functionality* (p. 317-352). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_16
- Guillouty, A., & El Babili, F. (2016). Plantes médicinales et antioxydants.
- Hamada, A. M. (2020). Vitamins, omega-3, magnesium, manganese, and thyme can boost our immunity and protect against COVID-19. *European Journal of Biological Research*, 10(4), Art. 4.
- Harhar, H., Gharby, S., Jadouali, S. M., Hajib, A., Nounah, I., & Farssi, M. (2018). Chemical profiles and Sensory analysis of four varieties of olive oil cultivated in Morocco. *Moroccan Journal of Chemistry*, 6(2), Art. 2. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v6i2.9914>
- Harhar, H., Gharby, S., Kartah, B., El Monfalouti, H., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2011). Influence of Argan Kernel Roasting-time on Virgin Argan Oil Composition and Oxidative Stability. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(2), 163-168. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0220-x>
- Harhar, H., Gharby, S., Kartah, B., Pioch, D., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2014). Effect of harvest date of Argania spinosa fruits on Argan oil quality. *Industrial Crops and Products*, 56, 156-159. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.046>
- Hechiche, N., Boughrara, D., Kadri, A., Dahmani, N., & Benbrahim, N. (2019). Artemisia

- Herba Alba Essential Oil as Green Corrosion Inhibitor for Aluminum in Hydrochloric Acid Solution. *Analytical and Bioanalytical Electrochemistry*, 11, 1129-1147.
- Himeur, A. C. (2021). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits d'Ammi visnaga [Thèse, Université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/26246>
- How to infuse olive oil. (2019, juin 25). *Carapelli*. <https://carapelli.com/en/how-to-infuse-olive-oil/>
- Indiarto, R., & Qonit, M. (2020). A Review of Soybean Oil Lipid Oxidation and Its Prevention Techniques. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29, 5030-5037.
- Issaoui, M., Flamini, G., Soud, S., Bendini, A., Barbieri, S., Gharbi, I., Toschi, T. G., Cioni, P. L., & Hammami, M. (2016). How the Addition of Spices and Herbs to Virgin Olive Oil to Produce Flavored Oils Affects Consumer Acceptance. *Natural Product Communications*, 11(6), 1934578X1601100619. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100619>
- Jalalizand, F., & Goli, M. (2021). Optimization of microencapsulation of selenium with gum Arabian/Persian mixtures by solvent evaporation method using response surface methodology (RSM) : Soybean oil fortification and oxidation indices. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 495-507. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00659-y>
- Jasim, R. S., & El-Zayat, M. M. (2019). Nutritional, phytochemical, antioxidant and antimicrobial potential of Artemisia herba-alba (ASSO.). 6.
- Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Lourenço-Lopes, C., Gallardo-Gomez, M., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2020). Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil. *Foods*, 9(8), Art. 8. <https://doi.org/10.3390/foods9081014>
- Kadda, S., & Belabed, A. (2021). TEMPERATURE AND MECHANICAL EXTRACTION EFFECT ON CHEMICAL COMPOSITIONS OF ARGANIA SPINOSA L SEED OIL OF EASTERN REGION OF MOROCCO. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9(4), Art.

4. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i4.29521>

- Kan, B., Yang, Y., Du, P., Li, X., Lai, W., & Hu, H. (2022). Chlorophyll decomposition is accelerated in banana leaves after the long-term magnesium deficiency according to transcriptome analysis. *PLOS ONE*, 17(6), e0270610. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270610>
- Karacabey, E., Özkan, G., Dalgıç, L., & Sermet, S. O. (2016). Rosemary Aromatization of Extra Virgin Olive Oil and Process Optimization Including Antioxidant Potential and Yield. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 4(8), Art. 8. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i8.628-635.724>
- Karanja, C., Imathiu, S., KO, O., & Thari, W. (2022). Determination of Nutritional Composition and Selected Phytochemical and Anti-nutrient Content of Vitex payos (Chocolate Berry), a Neglected and Underutilized Fruit from Two Kenyan Counties. *Journal of Food Security*, 10, 44-52. <https://doi.org/10.12691/jfs-10-2-1>
- Khan, M., Hanif, M. A., Ayub, M. A., Jilani, M. I., & Shahid Chatha, S. A. (2020). Saffron. In Medicinal Plants of South Asia (p. 587-600). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102659-5.00043-4>
- Kharbach, M., Marmouzi, I., Kamal, R., Yu, H., Barra, I., Cherrah, Y., Alaoui, K., Heyden, Y. V., & Bouklouze, A. (2021). Extra virgin Argan oils' shelf-life monitoring and prediction based on chemical properties or FTIR fingerprints and chemometrics. *Food Control*, 121, 107607. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107607>
- Kobi, H., & Oukassi, M. (2019). La perception des consommateurs marocains vis-à-vis du commerce équitable des produits du terroir: cas des produits d'argane. *Revue Internationale du Marketing et Management Stratégique*, 1(3), Art. 3. <http://www.revue-rimms.org/index.php/home/article/view/81>
- Komaki, A., Hoseini, F., Shahidi, S., & Baharlouei, N. (2016). Study of the effect of extract of Thymus vulgaris on anxiety in male rats. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 6(3), 257-261. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2015.01.001>
- Kosakowska, O., Bączek, K., Przybył, J. L., Pawełczak, A., Rolewska, K., & Węglarz, Z. (2020). Morphological and Chemical Traits as Quality Determinants of Common Thyme

- (*Thymus vulgaris* L.), on the Example of ‘Standard Winter’ Cultivar. *Agronomy*, 10(6), 909. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060909>
- Kosakowska, O., & Czupa, W. (2018). Morphological and chemical variability of common oregano (*L. subsp.*) Occurring in eastern Poland. *Herba Polonica*, 64(1), 11-21. <https://doi.org/10.2478/hepo-2018-0001>
- Kothari, D., Thakur, R., & Kumar, R. (2021). Saffron (*Crocus sativus* L.) : Gold of the spices—a comprehensive review. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(5), 661-677. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00349-8>
- Kozłowska, M., & Gruczyńska, E. (2018). Comparison of the oxidative stability of soybean and sunflower oils enriched with herbal plant extracts. *Chemical Papers*, 72(10), 2607-2615. <https://doi.org/10.1007/s11696-018-0516-5>
- Kuete, V. (2017). *Thymus vulgaris*. In Medicinal Spices and Vegetables from Africa (p. 599-609). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00028-5>
- Lamas, S., Rodrigues, N., Peres, A. M., & Pereira, J. A. (2022). Flavoured and fortified olive oils—Pros and cons. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 108-127. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.013>
- Lapčíková, B., Valenta, T., Lapčík, L., & Fuksová, M. (2018). Thermal aging of edible oils : Spectrophotometric study. <https://doi.org/10.5219/871>
- Li, S., Jia, M., Guo, H., & Hou, X. (2018). Development and application of metal organic framework/chitosan foams based on ultrasound-assisted solid-phase extraction coupling to UPLC-MS/MS for the determination of five parabens in water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(25), 6619-6632. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1269-2>
- Lkrik, A., Souidi, K., & Martin, P. (2015). Effets des polyphénols extraits à partir des tourteaux et feuilles de l’olivier (*Olea europaea* L) sur la stabilité oxydative de l’huile d’olive. *Journal national de la recherche en IUT*, 6, 25.
- Lombrea, A., Antal, D., Ardelean, F., Avram, S., Pavel, I. Z., Vlaia, L., Mut, A.-M., Diaconeasa, Z., Dehelean, C. A., Soica, C., & Danciu, C. (2020). A Recent Insight

- Regarding the Phytochemistry and Bioactivity of *Origanum vulgare* L. Essential Oil. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), Art. 24. <https://doi.org/10.3390/ijms21249653>
- Lotfi, N., N., C., H., E., Kabouche, Z., M., E., M., B., Touzani, R., M., O., & Oudda, H. (2015). Study of the antibacterial effect of Argan oil from Bechar region of Algeria on hospital resistant strains. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6, 2476-2482.
- Lucci, P., Bertoz, V., Pacetti, D., Moret, S., & Conte, L. (2020). Effect of the Refining Process on Total Hydroxytyrosol, Tyrosol, and Tocopherol Contents of Olive Oil. *Foods*, 9(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/foods9030292>
- Madani, K. (Encadreur), Boufkhed, D., & Ayachi, W. (2017). Enrichissement de l'huile d'olive par les mûres sauvages. <http://172.17.1.105:8080/xmlui/handle/123456789/5050>
- Maggi, M. A., Bisti, S., & Picco, C. (2020). Saffron : Chemical Composition and Neuroprotective Activity. *Molecules*, 25(23), Art. 23. <https://doi.org/10.3390/molecules25235618>
- Mahamane Sabiou, S. M., Haoua, S., Moutari, S. K., Rabiou, M. M., Hassimi, S., Bako, A., & Ibrahim, A. (2019). Caractérisation Phytochimique des Graines et des Pulpes de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley Utilisées en Pharmacopée dans Sept (6) Régions du Niger. *European Scientific Journal ESJ*, 15(27). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n27p172>
- Maldini, M., Montoro, P., Addis, R., Toniolo, C., Petretto, G. L., Foddai, M., Nicoletti, M., & Pintore, G. (2016). A new approach to discriminate *Rosmarinus officinalis* L. plants with antioxidant activity, based on HPTLC fingerprint and targeted phenolic analysis combined with PCA. *Industrial Crops and Products*, 94, 665-672. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.042>
- Mammoli, F., Castiglioni, S., Parenti, S., Cappadone, C., Farruggia, G., Iotti, S., Davalli, P., Maier, J. A. M., Grande, A., & Frassineti, C. (2019). Magnesium Is a Key Regulator of the Balance between Osteoclast and Osteoblast Differentiation in the Presence of Vitamin D3. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), Art. 2. <https://doi.org/10.3390/ijms20020385>

- Manjula, S., & Subramanian, R. (2006). Membrane technology in degumming, dewaxing, deacidifying, and decolorizing edible oils. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(7), 569-592. <https://doi.org/10.1080/10408390500357746>
- Maricica Colțun, Virginia Corcodel. (2017). Research on the biology and phytochemistry of the species *Rosmarinus officinalis* L. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/58712
- Maszevska, M., Florowska, A., Dłużewska, E., Wroniak, M., Marciniak-Lukasiak, K., & Żbikowska, A. (2018). Oxidative Stability of Selected Edible Oils. *Molecules*, 23(7), Art. 7. <https://doi.org/10.3390/molecules23071746>
- Matthäus, B., Bonte, A., Sinning, B., & Charrouf, Z. (2019). Aroma-Relevant Volatile Compounds as Markers for the Sensory Quality of Argan Oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(12), 1900279. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900279>
- Mazaheri, Y., Torbati, M., Azadmard-Damirchi, S., & Savage, G. P. (2019). Effect of roasting and microwave pre-treatments of *Nigella sativa* L. seeds on lipase activity and the quality of the oil. *Food Chemistry*, 274, 480-486. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.001>
- Mechqoq, H., El Yaagoubi, M., El Hamdaoui, A., Momchilova, S., Guedes da Silva Almeida, J. R., Msanda, F., & El Aouad, N. (2021). Ethnobotany, phytochemistry and biological properties of Argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) (Sapotaceae)—A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 281, 114528. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114528>
- Mendoza, M. del P. G. (2020). Enrichment of vegetable oils with phenolic antioxidants for food applications [PhD Thèse, Université de Bordeaux]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03116388>
- Metayer-Coustard, S., Petit, A., Quentin, M., & Tesseraud, S. (2019). Nouvelles stratégies alimentaires précoces au service de la production avicole. *INRA Productions Animales*, 32(3), 417. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.3.2941>
- Metougui, M. L. (2017). Etude de la variabilité agro-morphologique de la population d'arganier (*Argania spinosa* L. skeels) d'Admine et contribution à la domestication de l'espèce.
- Meziani, F. (2015). Influence de l'emballage et des conditions de stockage sur la qualité de

- l'huile d'olive vierge. [Thèse, Université Mouloud Mammeri]. <https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/4239>
- Miguel, M., Antunes, M. D., Rohaim, A., Figueired, A. C., Pedro, L. G., & Barroso, J. G. (2014). Stability of fried olive and sunflower oils enriched with thyrnbra capitata essential oil. *Czech Journal of Food Sciences*, 32(1), 102-108. <https://doi.org/10.17221/217/2013-CJFS>
- Miklavčič, M. B., Taous, F., Valenčič, V., Elghali, T., Podgornik, M., Strojnik, L., & Ogrinc, N. (2020). Fatty Acid Composition of Cosmetic Argan Oil : Provenience and Authenticity Criteria. *Molecules*, 25(18), 4080. <https://doi.org/10.3390/molecules25184080>
- Minioti, K. S., & Georgiou, C. A. (2010). Comparison of different tests used in mapping the Greek virgin olive oil production for the determination of its total antioxidant capacity. *Grasas y Aceites*, 61(1), Art. 1. <https://doi.org/10.3989/gya.010508>
- Mnayer, D. (2014). Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens [PhD Thèse, Université d'Avignon]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01271999>
- Mohammed, M. J., Anand, U., Altemimi, A. B., Tripathi, V., Guo, Y., & Pratap-Singh, A. (2021). Phenolic Composition, Antioxidant Capacity and Antibacterial Activity of White Wormwood (Artemisia herba-alba). *Plants*, 10(1), Art. 1. <https://doi.org/10.3390/plants10010164>
- Monfalouti, H. El, Guillaume, D., Denhez, C., & Charrouf, Z. (2010). Therapeutic potential of argan oil : A review. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 62(12), 1669-1675. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.2010.01190.x>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Morin, O., & Pagès-Xatart-Parès, X. (2012). Huiles et corps gras végétaux : Ressources fonctionnelles et intérêt nutritionnel. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 63-75. <https://doi.org/10.1051/ocl.2012.0446>
- Mzabri, Addi, & Berrichi. (2019a). Traditional and Modern Uses of Saffron (Crocus Sativus). *Cosmetics*, 6(4), 63. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040063>

- Mzabri, I., Addi, M., & Berrichi, A. (2019b). Traditional and Modern Uses of Saffron (*Crocus Sativus*). *Cosmetics*, 6(4), Art. 4. <https://doi.org/10.3390/cosmetics6040063>
- Nadeem, M. A., Aasim, M., Kırıcı, S., Karık, Ü., Nawaz, M. A., Yılmaz, A., Maral, H., Khawar, K. M., & Baloch, F. S. (2018). Laurel (*Laurus nobilis* L.): A Less-Known Medicinal Plant to the World with Diffusion, Genomics, Phenomics, and Metabolomics for Genetic Improvement. In N. Kumar (Éd.), *Biotechnological Approaches for Medicinal and Aromatic Plants* (p. 631-653). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0535-1_28
- Najem, M., Nassiri, L., & Ibijbijen, J. (2020). Vernacular names of toxic plants used as medicine in the central Middle Atlas—Morocco. *Ethnobotany Research and Applications*, 20, 1-30.
- Napoli, E., Giovino, A., Carrubba, A., How Yuen Siong, V., Rinoldo, C., Nina, O., & Ruberto, G. (2020). Variations of Essential Oil Constituents in Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Viridulum* (= *O. heracleoticum*) over Cultivation Cycles. *Plants*, 9(9), Art. 9. <https://doi.org/10.3390/plants9091174>
- Narayanankutty, A., Illam, S. P., & Raghavamenon, A. C. (2018). Health impacts of different edible oils prepared from coconut (*Cocos nucifera*) : A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.025>
- Naseri, S., Mahmoudian, M. H., Yari, A. R., & Molaghen, S. (1397). Evaluation of Peroxide Value and Acid Number of Edible Oils Consumed in the Sandwich and Fast Food Shops of Qom, Iran in 2016. *مجله آراشیو علوم بهداشتی*, 7(2). <https://civilica.com/doc/792577/>
- Naviglio, D., Scarano, P., Ciaravolo, M., & Gallo, M. (2019). Rapid Solid-Liquid Dynamic Extraction (RSLDE) : A Powerful and Greener Alternative to the Latest Solid-Liquid Extraction Techniques. *Foods*, 8(7), Art. 7. <https://doi.org/10.3390/foods8070245>
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2018). Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. *Medicines*, 5(3), 98. <https://doi.org/10.3390/medicines5030098>
- Nzengue, E., Lepengue, A., Beyeme, A. M., Mombo, S., Mokea-Niaty, A., Mavoungou, J., Ngomanda, A., Iponga, D., & M'batchi, B. (2019). Effets des Terrils de Manganèse de la

- Mine de Moanda (Gabon) sur Quelques Caractères Morphométriques de l'Arachide (*Arachis hypogea* L). *European Journal of Scientific Research*, 153, 335-352.
- Oliviero, M., Romilde, I., Beatrice, M. M., Matteo, V., Giovanna, N., Consuelo, A., Claudio, C., Giorgio, S., Filippo, M., & Massimo, N. (2016). Evaluations of thyme extract effects in human normal bronchial and tracheal epithelial cell lines and in human lung cancer cell line. *Chemico-Biological Interactions*, 256, 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2016.06.024>
- Oniga, I., Pușcaș, C., Silaghi-Dumitrescu, R., Olah, N.-K., Sevastre, B., Marica, R., Marcus, I., Sevastre-Berghian, A. C., Benedec, D., Pop, C. E., & Hanganu, D. (2018). *Origanum vulgare* ssp. *vulgare* : Chemical Composition and Biological Studies. *Molecules*, 23(8), Art. 8. <https://doi.org/10.3390/molecules23082077>
- Oroian, M., Dranca, F., & Ursachi, F. (2020). Comparative evaluation of maceration, microwave and ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from propolis. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 70-78. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04031-x>
- Ortega-García, J., Gámez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, J. A., Dennis-Quiñonez, O., García-Galindo, H. S., Angulo-Guerrero, J. O., & Medina-Juárez, L. A. (2006a). Refining of high oleic safflower oil : Effect on the sterols and tocopherols content. *European Food Research and Technology*, 223(6), 775-779. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0267-3>
- Ortega-García, J., Gámez-Meza, N., Noriega-Rodriguez, J. A., Dennis-Quiñonez, O., García-Galindo, H. S., Angulo-Guerrero, J. O., & Medina-Juárez, L. A. (2006b). Refining of high oleic safflower oil : Effect on the sterols and tocopherols content. *European Food Research and Technology*, 223(6), 775-779. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0267-3>
- Paduano, A., Caporaso, N., Santini, A., & Sacchi, R. (2014). Microwave and Ultrasound-Assisted Extraction of Capsaicinoids From Chili Peppers (*Capsicum annuum* L.) in Flavored Olive Oil. *Journal of Food Research*, 3(4), 51. <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n4p51>
- Pal, U. S., Patra, R. K., Sahoo, N. R., Bakhara, C. K., & Panda, M. K. (2015). Effect of refining

- on quality and composition of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4613-4618. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1461-0>
- Palmieri-Thiers, C. (2008). Expression et caractérisation de la lipoxigénase recombinante d'olive : Une enzyme présentant une double spécificité d'hydroperoxydation et exprimée dans les derniers stades de développement des fruits. [PhD Thèse, Université Pascal Paoli]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00603936>
- Pandia, S., Setiawan, A., Sanjaya, N., & Haryanto, B. (2019). Layer interaction adsorption isotherms model of mango seed as biosorbent in reducing free fatty acid and peroxyde value in crude palm oil refining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 260(1), 012077. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012077>
- Patel, Y., & Joseph, J. (2020). Sodium Intake and Heart Failure. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), Art. 24. <https://doi.org/10.3390/ijms21249474>
- Patil, S. M., Ramu, R., Shirahatti, P. S., Shivamallu, C., & Amachawadi, R. G. (2021). A systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological aspects of Thymus vulgaris Linn. *Heliyon*, 7(5), e07054. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07054>
- Peres, F., Roldão, M., Mourato, M., Martins, L. L., & Ferreira-Dias, S. (2021). Co-Processed Olive Oils with Thymus mastichina L.—New Product Optimization. *Life*, 11(10), Art. 10. <https://doi.org/10.3390/life11101048>
- Pezzani, R., Vitalini, S., & Iriti, M. (2017). Bioactivities of Origanum vulgare L. : An update. *Phytochemistry Reviews*, 16(6), 1253-1268. <https://doi.org/10.1007/s11101-017-9535-z>
- Polumackanycz, M., Wesolowski, M., & Viapiana, A. (2021). Morus alba L. and Morus nigra L. Leaves as a Promising Food Source of Phenolic Compounds with Antioxidant Activity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(4), 458-465. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00922-7>
- Prasad, A. S. (2020). Lessons Learned from Experimental Human Model of Zinc Deficiency. *Journal of Immunology Research*, 2020, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/9207279>

- Rabie, K., Mourad, K., Yahia, C., & Katim, A. (2016). Antioxidant Activities, Total Polyphenolic Compounds And Hplc/Dad/Ms Phenolic Profile of Argan Oil Derived from Two Differents Methods of Extractions. 7.
- Rahma, B., Zekhnini, A., & Hatimi, A. (2018). Comparative Study of Argan and other Edible Oils Stability under Accelerated Oxidation. *Indian Journal of Science and Technology*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i24/127763>
- Rahmouni, I. (2016). Formulation d'une émulsion a base d'huile d'argan en utilisant un plan de mélange.
- Reboredo-Rodríguez, P., Figueiredo-González, M., González-Barreiro, C., Simal-Gándara, J., Salvador, M. D., Cancho-Grande, B., & Fregapane, G. (2017). State of the Art on Functional Virgin Olive Oils Enriched with Bioactive Compounds and Their Properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/ijms18030668>
- Régis, J., Joffre, F., & Fine, F. (2016). Impact de la trituration et du raffinage sur la teneur en micronutriments des huiles végétales de colza, soja et tournesol. *OCL*, 23(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016010>
- Roumane, A. (2017). Structures coopératives et valorisation économique de la biodiversité : Cas de la filière d'huile d'argan au Maroc. *Revue internationale de l'économie sociale : recma*, 346, 59-72. <https://doi.org/10.7202/1041722ar>
- Saleem, S., Saleem, S., Jabeen, F., Shamim, S. S., & Bano, U. (2021). Prevention of COVID-19 Through Optimization of Tabi'at : A Unani Medicine's Perspective. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 11(6-S), Art. 6-S. <https://doi.org/10.22270/jddt.v11i6-S.5134>
- Saoudi, S., Chammem, N., Sifaoui, I., Bouassida-Beji, M., Jiménez, I. A., Bazzocchi, I. L., Silva, S. D., Hamdi, M., & Bronze, M. R. (2016). Influence of Tunisian aromatic plants on the prevention of oxidation in soybean oil under heating and frying conditions. *Food Chemistry*, 212, 503-511. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.186>
- Sattar, A., Naveed, M., Ali, M., Zahir, Z. A., Nadeem, S. M., Yaseen, M., Meena, V. S., Farooq, M., Singh, R., Rahman, M., & Meena, H. N. (2019). Perspectives of potassium

- solubilizing microbes in sustainable food production system : A review. *Applied Soil Ecology*, 133, 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>
- Sherazi, S. T. H., Mahesar, S. A., & Sirajuddin. (2016). Vegetable oil deodorizer distillate : A rich source of the natural bioactive components. *Journal of Oleo Science*, 65(12), 957-966. <https://doi.org/10.5650/jos.ess16125>
- Siddiqui, M. J., Saleh, M. S. M., Basharuddin, S. N. B. B., Zamri, S. H. B., Mohd Najib, M. H. bin, Che Ibrahim, M. Z. bin, binti Mohd Noor, N. A., Binti Mazha, H. N., Mohd Hassan, N., & Khatib, A. (2018). Saffron (*Crocus sativus* L.) : As an Antidepressant. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 10(4), 173-180. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_83_18
- Silva, A. S., Tewari, D., Sureda, A., Suntar, I., Belwal, T., Battino, M., Nabavi, S. M., & Nabavi, S. F. (2021). The evidence of health benefits and food applications of *Thymus vulgaris* L. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 218-227. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.010>
- Silva, S. M., Sampaio, K. A., Ceriani, R., Verhé, R., Stevens, C., De Greyt, W., & Meirelles, A. J. A. (2014). Effect of type of bleaching earth on the final color of refined palm oil. *LWT - Food Science and Technology*, 59(2P2), 1258-1264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.05.028>
- Skoufogianni, E., Solomou, A. D., & Danalatos, N. G. (2019). Ecology, Cultivation and Utilization of the Aromatic Greek Oregano (*Origanum vulgare* L.) : A Review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), Art. 3. <https://doi.org/10.15835/nbha47311296>
- SNIMA. (2003). Projet de PNM 08.5.090 Norme Marocaine.
- Soares, V. P., Fagundes, M. B., Guerra, D. R., Leães, Y. S. V., Speroni, C. S., Robalo, S. S., Emanuelli, T., Cichoski, A. J., Wagner, R., Barin, J. S., Bertuol, D. A., & Ballus, C. A. (2020). Ultrasound assisted maceration for improving the aromatization of extra-virgin olive oil with rosemary and basil. *Food Research International*, 135, 109305. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109305>

- Stefanova, G., Girova, T., Gochev, V., Stoyanova, M., Petkova, Z., Stoyanova, A., & Zheljazkov, V. D. (2020). Comparative study on the chemical composition of laurel (*Laurus nobilis* L.) leaves from Greece and Georgia and the antibacterial activity of their essential oil. *Heliyon*, 6(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05491>
- Suárez-Jiménez, G. M., López-Saiz, C. M., Ramírez-Guerra, H. E., Ezquerro-Brauer, J. M., Ruiz-Cruz, S., & Torres-Arreola, W. (2016). Role of Endogenous and Exogenous Tocopherols in the Lipid Stability of Marine Oil Systems : A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/ijms17121968>
- Sun, J., Hu, P., Lyu, C., Tian, J., Meng, X., Tan, H., & Dong, W. (2022). Comprehensive lipidomics analysis of the lipids in hazelnut oil during storage. *Food Chemistry*, 378, 132050. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132050>
- Taoudiat, A. (2019). Effet se l’aromatisation par des huiles essentielles sur la stabilité photo-oxydative de l’huile d’olive vierge pendant le stockage [Thèse]. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2250>
- Tasan, M., & Demirci, M. (2005). Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. *European Food Research and Technology*, 220(3-4), 251-254. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1045-8>
- Tavakoli, J., Sedaghat, N., & Mousavi Khaneghah, A. (2019). Effects of packaging and storage conditions on Iranian wild pistachio kernels and assessment of oxidative stability of edible extracted oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(4), e13911. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13911>
- Thor, K. (2019). Calcium—Nutrient and Messenger. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00440>
- Toukali, I., & Benouelha, Z. (2020). *Activité antioxydante des huiles d’olives enrichies par quelques plantes médicinales* [Thèse]. <https://dspace.univ-bba.dz:443/xmlui/handle/123456789/368>
- Trak, T., & Husain, N. (2021). Saffron-an expensive herb, its medicinal virtues and as stimulant food-a review. VII, 2277-7067.

- Urbaniak, M. (2017). The role of the environmental management and environmental product solutions in building relationships with suppliers. 2017.
- Usmani, Q. I., Ahmad, A., & Jamaldeen, F. N. (2021). *Laurus nobilis* L., (Habb-ul-Ghar), A Review on Phytochemistry, Pharmacology and Ethnomedicinal Uses. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 11(5), Art. 5. <https://doi.org/10.22270/jddt.v11i5.5021>
- Valle-Prieto, M. B. de, Delgado-Adámez, J., Gil, M. V., Martillanes, S., Franco, M. N., & Martín-Vertedor, D. (2017). Virgin Olive Oil Enriched with Lutein-Zeaxanthin from *Spinacia oleracea*. *Journal of Oleo Science*, 66(5), 463-468. <https://doi.org/10.5650/jos.ess16189>
- Van, G. T. (2018). Détermination d'un critère de fissuration à chaud par liquation en fonction de la teneur en bore et de sa localisation pour l'acier inoxydable austénitique 316L. [**PhD Thèse, Université de Bretagne Sud**]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02134428>
- Vannucci, L., Fossi, C., Quattrini, S., Guasti, L., Pampaloni, B., Gronchi, G., Giusti, F., Romagnoli, C., Cianferotti, L., Marcucci, G., & Brandi, M. L. (2018). Calcium Intake in Bone Health : A Focus on Calcium-Rich Mineral Waters. *Nutrients*, 10(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/nu10121930>
- Veenstra, J. P., & Johnson, J. J. (2019). Oregano (*Origanum Vulgare*) Extract for Food Preservation and Improving Gastrointestinal Health. *International Journal of Nutrition*, 3(4), 43-52. <https://doi.org/10.14302/issn.2379-7835.ijn-19-2703>
- Veillet, S., Tomao, V., & Chemat, F. (2010). Ultrasound assisted maceration : An original procedure for direct aromatisation of olive oil with basil. *Food Chemistry*, 123(3), 905-911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.005>
- Velamuri, R., Sharma, Y., Fagan, J., & Schaefer, J. (2020). Application of UHPLC-ESI-QTOF-MS in Phytochemical Profiling of Sage (*Salvia officinalis*) and Rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Planta Medica International Open*, 07(4), e133-e144. <https://doi.org/10.1055/a-1272-2903>
- Vishnoi, H., Bodla, R., & Kant, R. (2018). Green tea (*camellia sinensis*) and its antioxidant property : A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9\(5\).1723-36](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.9(5).1723-36)

- Vitali Čepo, D., Radić, K., Jurmanović, S., Jug, M., Grdić Rajković, M., Pedisić, S., Moslavac, T., & Albahari, P. (2018). Valorization of Olive Pomace-Based Nutraceuticals as Antioxidants in Chemical, Food, and Biological Models. *Molecules*, 23(8), Art. 8. <https://doi.org/10.3390/molecules23082070>
- Windmi, K., Roland, N.-T. M., Benjamin, K. K., Anne-Flora, D., Hadidjatou, B., Der, D., Jacques, K., Amadou, T., & George, A. O. (2021). Polyphenols quantification and antioxidant activity of methanolic and aqueous extracts from eight medicinal plants used to manage avian diseases in Burkina Faso. *Journal of Medicinal Plants Research*, 15(5), 226-231. <https://doi.org/10.5897/JMPR2021.7105>
- Xiao, Y., Xing, G., Rui, X., Li, W., Chen, X., Jiang, M., & Dong, M. (2014). Enhancement of the antioxidant capacity of chickpeas by solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18. *Journal of Functional Foods*, 10, 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.008>
- Yamanaka, R., Shindo, Y., & Oka, K. (2019). Magnesium Is a Key Player in Neuronal Maturation and Neuropathology. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(14), Art. 14. <https://doi.org/10.3390/ijms20143439>
- Yang, Y., Song, X., Sui, X., Qi, B., Wang, Z., Li, Y., & Jiang, L. (2016). Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Industrial Crops and Products*, 80, 141-147. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.044>
- Yodkaew, P., Chindapan, N., & Devahastin, S. (2017). Influences of Superheated Steam Roasting and Water Activity Control as Oxidation Mitigation Methods on Physicochemical Properties, Lipid Oxidation, and Free Fatty Acids Compositions of Roasted Rice : Oxidation mitigation methods for rice.... *Journal of Food Science*, 82(1), 69-79. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13557>
- Younsi, F., Trimech, R., Boulila, A., Ezzine, O., Dhahri, S., Boussaid, M., & Messaoud, C. (2016). Essential Oil and Phenolic Compounds of *Artemisia herba-alba* (Asso.): Composition, Antioxidant, Antiacetylcholinesterase, and Antibacterial Activities. *International Journal of Food Properties*, 19(7), 1425-1438. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1079789>

- Zaanoun, I., Gharby, S., Bakass, I., Addi, E. A., & Ichou, I. A. (2014). Kinetic parameter determination of roasted and unroasted argan oil oxidation under Rancimat test conditions. *Grasas y Aceites*, 65(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3989/gya.122713>
- Zaharan, G. A., Hussien, H. A., & Omima, S. S. (2022). The potential use of herbs as immunity booster II. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 18(1), Art. 1. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2022.18.1.0024>
- Zrira, S. (2017). Some Important Aromatic and Medicinal Plants of Morocco. In M. Neffati, H. Najjaa, & Á. Máthé (Éds.), *Medicinal and Aromatic Plants of the World—Africa Volume 3* (Vol. 3, p. 91-125). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1120-1_5

Annexes







Affaires mondiales
Canada

PROJET :

**Enrichissement Nutritionnel de l'Huile d'Argane
par des Plantes Aromatiques et Médicinales :**
ENTRE TRADITION ET INNOVATION

Guide de Bonnes Pratiques de Fabrication :
Huile d'Argane Enrichie

**Enrichissement de l'huile
d'Argane (*Argania spinosa* L.
Skeels) par l'Origan
(*Origanum vulgare* L.)**

- I. Bonnes pratiques de préparation
des amandons
- II. Bonnes pratiques de préparation
des plantes aromatiques et
médicinales
- III. Bonnes pratiques de préparation
de l'huile enrichie



ArganePlus

Equipe de recherche
« Biotechnologie, Sciences Analytiques et Contrôle Qualité »

مشروع :

**إغناء زيت الأركان بواسطة النباتات العطرية
والطبية :**
بين الأصالة والابتكار

دليل الممارسات الجيدة للتصنيع:
زيت الأركان الغنية بالزعيترة

**إغناء زيت الأركان
(*ARGANIA SPINOSA* L. SKEELS)
الزعيترة
(*ORIGANUM VULGARE* L.)**

- I. الممارسات الجيدة لاستخراج
زيت الأركان
- II. تحضير النباتات العطرية والطبية
- III. الممارسات الجيدة لتحضير زيت
الأركان الغنية بالزعيترة



ArganePlus

فرق البحث
« التكنولوجيا الحيوية، العلوم التحليلية ومراقبة الجودة »

Annexe 1: Guide de Bonnes Pratiques de Fabrication de l'Huile d'Argane Enrichie par l'Origan









PROJET :

**Enrichissement Nutritionnel de l'Huile d'Argane
par des Plantes Aromatiques et Médicinales :**
ENTRE TRADITION ET INNOVATION

Guide de Bonnes Pratiques de Fabrication :
Huile d'Argane Enrichie

Enrichissement de l'huile d'Argane (*Argania spinosa* L. Skeels) par le Thym (*Thymus vulgaris* L.)



I. Bonnes pratiques de préparation des amandons
 II. Bonnes pratiques de préparation des plantes aromatiques et médicinales
 III. Bonnes pratiques de préparation de l'huile enrichie

Equipe de recherche
« Biotechnologie, Sciences Analytiques et Contrôle Qualité »









مشروع :

**إغناء زيت الأركان بواسطة النباتات العطرية
والطبية :**
بين الأصالة والابتكار

دليل الممارسات الجيدة للتصنيع:
زيت الأركان الغني بالزعتر

إغناء زيت الأركان
(*ARGANIA SPINOSA* L. SKEELS)
بواسطة الزعتر
(*THYMUS VULGARIS* L.)



I. الممارسات الجيدة لتحضير لوز الأركان
 II. تحضير النباتات العطرية والطبية
 III. الممارسات الجيدة لتحضير زيت الأركان الغني بالزعتر

فريق البحث
« التكنولوجيا الحيوية، العلوم التحليلية ومراقبة الجودة »

Annexe 2 : Guide de Bonnes Pratiques de Fabrication de l'Huile d'Argane Enrichie par le Thym



Annexe 3 : Emballages pour l’huile d’argane enrichie



Annexe 4 : Bouteille opaque de 250 mL pour l’huile d’argane enrichie par le Thym



Annexe 5 : Bouteille opaque de 250 mL pour l’huile d’argane enrichie par l’Origan



Nom: ASBBANE

Prénom: Abderrahim

Master spécialisé : Procédés d'Analyses et Contrôle Qualité (PACQ)

Établissement : Faculté Polydisciplinaire de Taroudant

Titre

Enrichissement nutritionnel de l'huile d'argane alimentaire par des phytonutriments issus des plantes aromatiques et médicinales : entre tradition et innovation

Résumé

L'huile d'argane est un produit marocain par excellence. Elle est produite à partir des amandons du fruit de l'arganier [*Argania spinosa* (L.) Skeels]. Aujourd'hui, la renommée de l'huile d'argane dépasse largement les frontières du Maroc. En fait, cette huile était commercialisée seulement en interne, maintenant elle est commercialisée presque dans tous les pays du monde. Donc, sa production a un impact socio-économique très important surtout pour les petits producteurs.

L'alimentation a un rôle majeur dans la construction et le maintien de différents systèmes de l'organisme humain, d'où l'importance de s'alimenter sainement. En effet, l'huile d'argane est bien connue pour ses effets bénéfiques sur la santé humaine et ceci grâce à sa composition en molécules bioactives. De l'autre côté, les plantes aromatiques et médicinales (PAMs) sont des sources précieuses de composés bioactifs dotés d'importantes activités biologiques et de haute valeur nutritionnelle.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et la stabilité oxydative de l'huile d'argane enrichie par macération et au cours d'extraction en origan et en thym avec des concentrations différentes sous trois conditions de stockage : à la lumière, à l'obscurité et à l'étuve (à 60 °C). L'évolution de l'état d'oxydation est suivie en mesurant l'indice de peroxyde, l'acidité, l'indice de para-anisidine, les extinctions spécifiques (E_{232} et E_{270}), l'indice d'iode, la teneur en chlorophylle et en caroténoïdes et la composition en acides gras.

Nos résultats, montrent que l'enrichissement de l'huile d'argane alimentaire au cours d'extraction avec l'origan ou le thym a un effet positif sur la qualité et la stabilité oxydative de l'huile d'argane par rapport à l'enrichissement par macération.

Mots clés : Huile d'argane, Plantes aromatiques et médicinales, Origan, Thym, Enrichissement, Oxydation, Stabilité oxydative.

Date de soutenance : 28/07/2022