



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DU GENIE DES PROCÉDES

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

*En vue de l'obtention du diplôme*

De **MASTER en GENIE ALIMENTAIRE**

**Thème : Caractérisation des graines locales a  
potentiel nutritionnel : cas de la Roquette (*Eruca  
sativa*) et de la Bourrache (*Borago officinalis*).**

Présenter par :

\*DJEKRIF Razane

\*ESSEGHIR Asma

**Devant le jury composé de :**

Mr Boukhiar aissa	MCA	UMBB	Président
Mme Annou saada	MAA	UMBB	Examineur
Mme Haderbache Latifa	MCB	UMBB	Promoteur

*Année Universitaire 2023/2024*

## **REMERCIEMENTS**

A la fin de ce travail...

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout-puissant pour la volonté, la santé, et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années d'études.

Ensuite, nous tenons à remercier notre directrice de recherche, notre enseignante, Mme Latifa Haderbache, qui nous a donné son éducation, sa confiance, son intérêt, ses conseils et son aide inestimable, et surtout nous a été d'un soutien et d'un réconfort solides.

Nous sommes honorés d'être parmi vos étudiants et de bénéficier de votre éducation. Vos qualités pédagogiques et humaines sont un modèle pour nous. On remercie vivement les membres de jury qui ont eu l'amabilité de porter une appréciation sur ce travail et de participer au jury de soutenance.

Un hommage éternel à tous les professeurs de Génie des procédés particulièrement les professeurs de Génie alimentaire de la faculté de technologie Boumerdès, pour leurs cinq années de formation pour la qualité inestimable des enseignements.

Merci au personnel du laboratoire de nous avoir donné les moyens et l'assistance nécessaires à la réalisation de nos travaux et pour tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Enfin, nos remerciements particuliers à nos familles et à nos proches qui nous ont soutenu et encouragé de près ou de loin tout au long de nos années d'études.

## *Dédicace*

Au nom de Dieu, et louange à Dieu, avec la grâce de qui les bonnes actions sont accomplies. Merci, mon dieu, pour ta grande grâce et abondance pour la patience, la force et le succès avec lesquels tu m'as accordé.

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs Années d'études à :  
Mes chers et respectueux parents en récompense de leurs sacrifices et de leur clairvoyance qui m'a servi et me servirait tout au long de ma vie.

Mes chers : ma sœur, mes frères, mon fiancée.

A mon binôme Asma avec qui j'ai passé les meilleures années de mon cursus universitaire

A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment

A moi-même

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci.

**Razane**

## *Dédicace*

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et  
fierté:

A mes chers parents, source de tendresse, de noblesse et d'affectation.  
Puisse cette étape constituer pour vous un motif de satisfaction.

A la plus chère grand-mère « laakri »,

A ma sœur « Sarah » et mon frère « Assem », en témoignage de la  
fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

A mon binôme Razane avec qui j'ai passé les meilleures années de mon cursus  
universitaire

A tous mes amis, tous mes professeurs

Et à tous ceux qui compulse ce modeste travail.

**Asma**

# Table des Matières

Introduction .....	1
<b>Partie Bibliographique</b>	
<b>Chapitre 1: La bourrache</b>	
I La bourrache.....	3
I.1 Origine de la bourrache.....	4
I.1.1 Les graines de bourrache.....	4
I.1.2 Caractéristiques physique des graines de bourrache.....	5
I.2 Propriété de l'huile de bourrache .....	6
I.3 Utilisations traditionnelles des graines de bourrache en Afrique du Nord et en Algérie.....	7
I.3.1 En cuisine .....	7
I.3.2 En médecine traditionnelle .....	7
<b>Chapitre 2 : La roquette</b>	
II La roquette.....	9
II.1 Définition de la roquette .....	9
II.1.1 Les caractéristiques physiques de la roquette .....	9
II.1.2 Les valeurs nutritionnelles et caloriques de la roquette (feuilles). .....	11
II.2 Utilisations traditionnelles des graines de roquette en Afrique du Nord et en Algérie.....	11
II.2.1 En cuisine.....	11
II.2.2 En médecine traditionnelle .....	11
<b>Partie expérimental</b> .....	12
<b>Chapitre 3: Méthodes et matériels</b>	
III Matériel et méthodes.....	13
III.1 Les paramètres physiques .....	13
III.1.1 Le taux de cendre : .....	13
III.2 Les paramètres chimiques : .....	15
III.2.1 L'extraction d'huile par soxhlet : .....	15
III.2.2 Indice de saponification.....	16
III.2.3 Indice d'iode : .....	18
III.2.4 Indice d'acide : .....	20
III.2.5 Taux d'insaponifiable : .....	21
III.2.6 Fractionnement de l'insaponifiable par CCM .....	24
III.2.7 INDICE DE Réfraction : .....	25

# Table des Matières

## Chapitre 4: Résultats et discussions

IV Résultats et discussions :.....	28
IV.1 Caractérisation morphologique des graines de roquettes :.....	28
IV.1.1 La forme .....	28
IV.1.2 La proportion : les téguments par rapport à l'amande .....	28
IV.1.3 La masse volumique de 1000 grains .....	28
IV.1.4 Poids de 1000 graines :.....	29
IV.1.5 Analyse de composition globale de la graine :.....	29
IV.2 Caractérisation morphologique des graines de bourrache :.....	30
IV.2.1 La forme : par une loupe et le pied à coulisse .....	30
IV.2.2 La proportion : les téguments par rapport à l'amande .....	30
IV.2.3 La masse volumique de 1000g : .....	31
IV.2.4 Poids de 1000 graines.....	31
IV.2.5 Analyse de composition globale de la graine :.....	31
IV.3 Caractérisation chimique de l'huile de roquette :.....	33
IV.3.1 Teneur en matière grasse (rendement) :.....	33
IV.3.2 Indice de saponification (IS) :.....	33
IV.3.3 Indice d'iode (II):.....	34
IV.3.4 Indice d'acide (IA) :.....	35
IV.3.5 Taux d'insaponifiable :.....	35
IV.3.6 Fractionnement de l'insaponifiable par CCM .....	36
IV.3.7 Indice de réfraction (IR) :.....	37
V Conclusion.....	38
Résumé.....	39
Référence bibliographique.....	41

## Liste des tableaux

Tableau 1 : composition nutritionnelle des feuilles de bourrache .....	3
Tableau 2 : composition nutritionnelle des fleurs de bourrache.....	3
Tableau 3 : la composition nutritionnelle des graines de bourrache .....	5
Tableau 4 : valeurs nutritionnelle et calorique des graines de roquette .....	11
Tableau 5 : les dimensions de la graine de roquette .....	28
Tableau 6 : la proportion des téguments par rapport à l'amande de la graine de roquette.....	28
Tableau 7 : la masse volumique de 1000 graines de roquette .....	29
Tableau 8 : taux de cendre des graines, téguments, et l'amande de roquette .....	30
Tableau 9 : les dimensions de la graine de bourrache .....	30
Tableau 10 : la proportion des téguments par rapport à l'amande de la graine de bourrache...	30
Tableau 11 : la masse volumique de 1000 graines de bourrache.....	31
Tableau 12 : taux de cendre des graines, téguments, et l'amande de bourrache .....	32

## Liste des figures

Figure 1. Les graines de bourrache .....	4
Figure 2. Huile de bourrache .....	6
Figure 3. Roquette sauvage .....	9
Figure 4. Eruca sativa Mill.....	10
Figure 5. Graines de roquette.....	10
Figure 6. Four a moufle, capsules, dessiccateur, balance.....	13
Figure 7. Schéma du soxhlet .....	15
Figure 8. Roquette pesée.....	16
Figure 9. La pesée .....	17
Figure10. Solution d'amidon .....	18
Figure 11. Agitation de mélange.....	18
Figure 12. Thiosulfate de sodium 0,1N.....	19
Figure 13. Titrage .....	20
Figure 14. Chauffage .....	22
Figure 15. Deux échantillons.....	22
Figure16. Ampoule à décanter .....	23
Figure 17. Phase de séparation .....	23
Figure 18. Phase de rinçage en présence de phénolphtaléine.....	23
Figure 19. Résidu récupéré (insaponifiable).....	23
Figure20. Les échantillons sur la plaque CCM.....	24
Figure 21. Réfractomètre Abbé Bellingham + Stanley .....	25
Figure 22. Ajustement de la lecture .....	26
Figure 23. Lecture d'IR .....	26
Figure 24. Huile de roquette brute.....	32

# Introduction

## Introduction

L'Algérie, avec sa diversité climatique et géographique, abrite une grande variété de plantes dont plusieurs possèdent un potentiel nutritionnel et médicamenteux souvent sous-estimé. Parmi ces plantes, la Bourrache (*Borago officinalis*) et la Roquette (*Eruca sativa*) se distinguent par leurs graines, qui sont riches en composés bénéfiques pour la santé.

La roquette est une plante annuelle de la famille des Brassicacées (ou crucifères), à fleurs blanches ou jaunâtres veinées de brun ou de violet. Dans notre pays, il y a une cinquantaine d'herbes aromatiques qui occupent les premiers rangs, parmi eux se trouve la roquette, et son nom varie selon les régions, ainsi elle est appelée dans le dialecte algérien de plusieurs noms et s'appelle dans la plupart des régions roquette « Harra » ou « Jarjir », et c'est une plante multi-usage, elle est consommée comme épice, salade alimentaire, fourrage pour animaux car elle est riche en protéines et en vitamines. On la trouve dans de nombreuses régions, telles qu'Illizi, Djelfa, Adrar, M'sila, Bayedh, Khenchla, Bechar et en Kabylie.

Pour la bourrache (*Borago officinalis*), c'est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Boraginacées. Originaires de la région méditerranéenne, elles sont aujourd'hui cultivées dans diverses régions tempérées du monde, notamment en Algérie. Traditionnellement, la Bourrache est appréciée pour ses propriétés médicinales et culinaires. Ses feuilles et ses fleurs sont utilisées depuis des siècles dans les remèdes populaires pour leurs effets diurétiques, anti-inflammatoires et dépuratifs.

Malgré ces avantages potentiels, les données spécifiques sur la composition nutritionnelle et les propriétés bioactives de ces espèces en Algérie sont encore limitées. Une caractérisation détaillée de ces graines pourrait non seulement contribuer à une meilleure compréhension de leur valeur nutritionnelle, mais aussi promouvoir leur utilisation dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique et l'alimentation de bétail.

Cette recherche vise à valoriser cette ressource locale en démontrant son potentiel en tant que source alimentaire bénéfique et en explorant ses applications possibles dans divers domaines de la santé et de la nutrition. Il s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche PRFU sur la valorisation des graines algériennes.

A notre connaissance il n'existe aucune publication qui traite des huiles de roquettes et de bourrache d'Algérie, ce qui en fait un travail original.

# **Partie**

# **Bibliographique**

## I La bourrache

La bourrache, *Borago officinalis*, est une plante herbacée de la famille des Boraginaceae, courante en Europe et répandue dans tout le bassin méditerranéen. Elle est connue pour ses jolies fleurs bleues en forme d'étoiles. L'huile de bourrache est connue pour être une huile précieuse extraite des graines de la fleur.<sup>i</sup>

La composition nutritionnelle de la plante de bourrache peut varier légèrement en fonction de différents facteurs tels que le sol, le climat et le stade de croissance de la plante, les tableaux 1 et 2 montrent la valeur nutritionnelle des feuilles et des fleurs de bourraches.<sup>ii</sup>

**Tableau 1 : Composition nutritionnelle des feuilles de bourrache**

Composant	Proportion/100 g
Protéines (g)	2,6
Lipides (g)	0,7
Glucides (g)	3,1
Fibres (g)	1,8
Vitamine C (mg)	35
Vitamine A (UI)	2600
Calcium (mg)	93
Fer (mg)	2,6
Calories (kcal)	21

**Tableau 2 : Composition nutritionnelle des Fleurs de bourrache**

Composants	Proportion/100g
Protéines (g)	1,8
Lipides (g)	0,4
Glucides (g)	3,1
Fibres (g)	0,7
Vitamine C (mg)	18
Vitamine A (UI)	300
Calcium (mg)	22
Fer (mg)	1,8
Calories (kcal)	21

Il est important de noter que ces valeurs sont approximatives et peuvent varier dans une grande mesure. Les données nutritionnelles précises pour la bourrache peuvent être difficiles à

trouver, car elle est moins étudiée que d'autres plantes plus couramment consommées. Cependant, ces estimations sont basées sur des sources généralement acceptées pour d'autres herbes et plantes similaires.<sup>iii</sup>

## I.1 Origine de la bourrache

La bourrache est originaire d'Asie mineure. Cette plante fait partie de la famille des Boraginacées, qui comporte une centaine de genres et environ 2 000 espèces. Ces fleurs en forme d'étoiles sont constituées de cinq lobes et fleurissent du mois de mai au mois de septembre. D'abord de couleur rose, elles virent au bleu céleste en pleine floraison. L'odeur de la plante rappelle un peu celle du concombre.

C'est une plante annuelle qui mesure environ cinquante centimètres de hauteur. L'espèce *Borago officinalis* est la plus cultivée. La France, la Hollande et les États-Unis sont les principaux pays producteurs. Ils l'exploitent pour sa graine, c'est-à-dire pour son huile riche en acide gamma-linolénique (GLA).<sup>iv</sup>

### I.1.1 Les graines de bourrache

Les graines sont semblables à des grains de poivre qui, à l'état mûr, contiennent une variété d'acides gras, dont 20-24 % de GLA. Elle est très recherchée et appréciée en cosmétologie.

À l'état pur, sous forme d'huile de première pression à froid, la concentration en GLA est plus élevée et garantie. L'acide gamma-linolénique assure un rôle antiseptique, antifongique et antibactérien naturel pour la peau. Dans l'ensemble, la bourrache contient principalement des acides gras insaturés (80 %), et 2 % d'insaponifiables (reconnus pour leurs vertus anti-inflammatoires).

Les graines de bourrache sont riches en acides gras poly-insaturés, notamment en acide linoléique et gamma-linolénique (oméga 6), ainsi qu'en acide linoléique (oméga 3), acide oléique (acide gras mono-insaturé de type oméga 9), acide stéarique et palmitique. Elles contiennent de 18 à 27 % d'acide gamma-linolénique et de 0,2 à 10 % d'acide alpha-linolénique.

L'huile de bourrache extraite des graines est utilisée en médecine traditionnelle pour ses propriétés anti-inflammatoires, expectorantes et antioxydantes. Les graines de bourrache sont également comestibles et peuvent être consommées fraîches, en salade par exemple.<sup>v</sup>



vi

**Figure 1 : Les graines de bourrache**

Voici une estimation générale de la composition nutritionnelle des graines de bourrache pour 100 g.

**Tableau 3 : Composition nutritionnelle des graines de bourrache**

Composant		Proportion/100g
<b>Protéines (g)</b>		22,8
<b>Lipides</b>	Acides gras saturés(g)	8
	Acides gras mono-insaturés(g)	8
	Acides gras polyinsaturés (acide gamma-linolénique) (g)	27
<b>Glucides (g)</b>		34
<b>Fibres (g)</b>		26g
<b>Calories (kcal)</b>		550

vii

Il est important de noter que ces valeurs sont des estimations et peuvent varier en fonction de différents facteurs tels que la variété de bourrache, les conditions de croissance, et les méthodes de traitement des graines.<sup>viii</sup>

### I.1.2 Caractéristiques physique des graines de bourrache

La plante est recouverte de poils courts et fermes, ce qui la rend rude au toucher, un trait commun à la famille des Borraginées<sup>ix</sup>. La graine de bourrache présente plusieurs caractéristiques physiques, elles sont généralement petites, dures et de couleur foncée. Elles sont utilisées à la fois en phytothérapie et en cuisine pour leurs propriétés bénéfiques<sup>x</sup>. Comme toutes les graines elles ont plusieurs caractéristiques physiques distinctes :

**Taille et forme :** Les graines de bourrache sont généralement petites, mesurant environ 4 à 6 mm de longueur. Elles ont une forme ovale à légèrement oblongue.<sup>xi</sup>

**Couleur :** Elles sont généralement de couleur brun foncé à noir.<sup>xii</sup>

**Texture :** Leur texture est généralement lisse, bien que certaines graines puissent présenter une légère texture rugueuse ou bosselée.<sup>xiii</sup>

**Apparence :** Les graines sont généralement mates et opaques, avec une surface non brillante.<sup>xiv</sup>

**Consistance :** Elles ont une consistance solide et dense.<sup>xv</sup>

**Arôme :** Les graines de bourrache n'ont pas un arôme très distinctif, mais elles peuvent avoir une légère odeur herbacée.<sup>xvi</sup>

## I.2 Propriété de l'huile de bourrache

L'huile de graines de bourrache, de première pression à froid, a les effets suivants sur la peau : elle renforce la barrière de l'épiderme, empêche la déshydratation, augmente la circulation superficielle, favorise le renouvellement cellulaire, la souplesse et l'élasticité de la peau, réduit l'inflammation causée par des facteurs chimiques, mécaniques et microbiens et stimule la sécrétion de sébum sur les couches superficielles de l'épiderme. Rappelons que le sébum joue un rôle protecteur important contre l'invasion des parasites indésirables, ce qui a un effet hydratant pour les peaux sèches, endommagées ou affaiblies par les attaques répétées de vaginite.<sup>xvii</sup>



xviii



xix

**Figure 2 : Huile de bourrache**

L'huile de bourrache possède des propriétés nutritionnelles et alimentaires en raison de sa composition en acides gras essentiels, notamment l'acide gamma-linolénique (GLA) et les acides gras oméga-6.

- **Source d'acides gras essentiels** : L'huile de bourrache est riche en acides gras essentiels, en particulier en GLA, un acide gras oméga-6.<sup>xx</sup>
- **Amélioration de la santé cardiovasculaire** : Les acides gras essentiels présents dans l'huile de bourrache peuvent contribuer à réduire les niveaux de cholestérol LDL (mauvais cholestérol) et à améliorer le profil lipidique, ce qui peut favoriser la santé cardiovasculaire.<sup>xxi</sup>
- **Effets anti-inflammatoires** : Les acides gras oméga-6, y compris le GLA, présents dans l'huile de bourrache peuvent avoir des effets anti-inflammatoires bénéfiques pour la santé.<sup>xxii</sup>

- **-+Amélioration de la santé de la peau :** Les acides gras de l'huile de bourrache peuvent contribuer à maintenir la santé de la peau en améliorant son hydratation et en favorisant la régénération cellulaire.<sup>xxiii</sup>

L'huile de bourrache a plusieurs propriétés selon la littérature scientifique tels que :

**Hydratante :** L'huile de bourrache est réputée pour ses propriétés hydratantes et adoucissantes, ce qui en fait un ingrédient commun dans les produits de soins de la peau.<sup>xxiv</sup>

**Anti-inflammatoire :** L'huile de bourrache contient des acides gras oméga-6, qui ont des propriétés anti-inflammatoires bénéfiques pour la peau, notamment dans le traitement de l'eczéma et du psoriasis.<sup>xxv</sup>

**Antioxydante :** Cette huile est riche en antioxydants tels que la vitamine E, qui peuvent aider à protéger la peau contre les dommages causés par les radicaux libres et les rayons UV.<sup>xxvi</sup>

**Régénérante :** L'huile de bourrache est connue pour favoriser la régénération cellulaire de la peau, aidant ainsi à réduire l'apparence des rides et des ridules.<sup>xxvii</sup>

### I.3 Utilisations traditionnelles des graines de bourrache en Afrique du Nord et en Algérie

Exploité depuis longtemps dans le cadre de la médecine traditionnelle par les anciennes civilisations, on trouve que les égyptiens savaient l'utiliser pour lutter contre les insectes et les parasites, aussi les infusions des graines constituaient un remède efficace pour soigner les troubles digestifs, les coliques, les ballonnements, la toux et les rhumes.

#### I.3.1 En cuisine

**Agent épaississant :** Moulues en poudre, les graines de bourrache peuvent être utilisées comme épaississant pour les soupes, les sauces et les ragoûts.<sup>xxviii</sup>

**Assaisonnement :** l'huile de bourrache peut être utilisée en vinaigrette ou comme complément alimentaire riche en  $\omega$ -3.<sup>xxix</sup>

#### I.3.2 En médecine traditionnelle

*Propriétés anti-inflammatoires :* Les graines de bourrache sont réputées pour leurs propriétés anti-inflammatoires, pouvant aider à soulager les douleurs articulaires et musculaires.<sup>xxx</sup>

*Action diurétique :* Elles favorisent la diurèse et peuvent aider à éliminer l'excès de liquide du corps.<sup>xxxi</sup>

*Propriétés antioxydants* : Les graines de bourrache sont riches en antioxydants qui protègent les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres. <sup>xxxii</sup>

*Soutien digestif* : Elles peuvent aider à améliorer la digestion et à soulager les troubles digestifs tels que la constipation et la diarrhée. <sup>xxxiii</sup>

*Santé de la peau* : L'huile de bourrache peut être appliquée sur la peau pour hydrater, nourrir et apaiser les irritations cutanées. <sup>xxxiv</sup>

## II La roquette

### II.1 Définition de la roquette

Cette plante est connue sous le nom de **jarjeer** dans le monde arabe et **harra** en Algérie, roquette en Français, et rocket en anglais.

La roquette est une plante annuelle de la famille des brassicacées (ou crucifère), a fleurs blanches ou jaunâtres veinées de brun ou de violet ; ses feuilles ressemblent à celle des radis et des navets, botaniquement très proches, et ont une saveur piquante et poivrée.

Les feuilles de roquette ont un gout légèrement piquant et relèvent la saveur des salades, des soupes et des sauces. Comme plusieurs autres brassicacées, la roquette contient divers composés qui auraient des effets bénéfiques pour la santé. Ses graines sont comestibles et servent de condiment. Il en existe deux types :

L'espèce la plus courante est la roquette sauvage : *Diplotaxis (=Rucolæ) Sylvania* : ses feuilles sont fines et découpées, de longueur moyenne ; les graines sont de petite taille.

La roquette cultivée est moins courante : *Arugula (Eruca) vesicaria* ou *sativa*: les feuilles sont plus larges et plus longues, et moins découpées que la roquette sauvage ; les graines sont plus grosses.



xxxv

**Figure 3 : Roquette sauvage**

#### II.1.1 Les caractéristiques physiques de la roquette

La roquette (*Eruca sativa*), également connue sous le nom de roquette cultivée, est une plante herbacée annuelle.

- **Feuilles :** Les feuilles de roquette sont généralement lobées, dentées ou pennées, avec une texture légèrement veloutée. Elles sont de couleur vert foncé à vert moyen.<sup>xxxvi</sup> Elles sont riches en vitamines A, C et K, ainsi qu'en minéraux tels que le calcium et le fer.<sup>xxxvii</sup>

- **Fleurs** : Les fleurs de roquette sont petites, blanches à blanc jaunâtre, avec quatre pétales. Elles sont disposées en grappes le long des tiges florales. <sup>xxxviii</sup>
- **Tiges** : Les tiges de roquette sont généralement dressées, légèrement ramifiées et peuvent atteindre jusqu'à 1 mètre de hauteur dans des conditions de croissance optimales. <sup>xxxix</sup>



xl

xli

**Figure 4 : *Eruca sativa* Mill.**

- **Racines** : Les racines de roquette sont pivotantes et peu profondes, s'étendant dans le sol pour soutenir la plante. <sup>xlii</sup>
- **Graines** : Les graines de roquette sont petites, globuleuses et de couleur brune à noire. <sup>xliii</sup>

Les graines de roquette contiennent des glucosinolates, des composés soufrés qui sont à l'origine des propriétés bénéfiques de cette plante. <sup>xliv</sup> Ces glucosinolates se transforment en molécules actives appelées isothiocyanates lorsque la roquette est hachée, mâchée ou entre en contact avec la flore intestinale. Ces isothiocyanates auraient des propriétés anti-cancéreuses et contribueraient à limiter le développement de certains cancers. <sup>xliv</sup>



**Figure 5 : Graines de roquette**

- **Odeur et saveur** : Les feuilles de roquette ont une odeur caractéristique et un goût piquant et poivré, avec des nuances de noisette.<sup>xlvi</sup>

### II.1.2 Les valeurs nutritionnelles et caloriques de la roquette (graines).<sup>xlvi</sup>

**Tableau 4 : Valeurs nutritionnelles et caloriques des graines de roquette.**

Graines de roquette, pour 100g	
<b>Calories (kcal)</b>	25
<b>Protéines (g)</b>	2 à 3
<b>Glucides (g)</b>	2,1
<b>Lipides (g)</b>	2,6
<b>Fibres alimentaires (g)</b>	1,6
<b>Indice glycémique (bas)</b>	10 à 15
<b>Pouvoir antioxydant (ORAC) <math>\mu</math>mol Trolox (haut)</b>	15 760

xlvi

## II.2 Utilisations traditionnelles des graines de roquette en Afrique du Nord et en Algérie

### II.2.1 En cuisine

Les graines de roquette sont un ingrédient précieux de la cuisine et de la médecine traditionnelle algérienne. Elles ont une saveur piquante et légèrement amère, et sont souvent décrites comme ayant un goût de poivre ou de moutarde. Elles peuvent être utilisées entières ou moulues et peuvent également être utilisées pour faire du thé ou de la tisane aux propriétés digestives et stimulantes.<sup>xlix</sup>

### II.2.2 En médecine traditionnelle

*Digestion* : Les graines de roquette sont réputées pour faciliter la digestion, soulager la constipation, la diarrhée, les maux d'estomac et les gaz.<sup>1</sup>

*Infections respiratoires* : Leurs propriétés antibactériennes et antivirales en font un allié contre les rhumes, la grippe et les infections des voies respiratoires.<sup>li</sup>

*Douleurs articulaires* : Les propriétés anti-inflammatoires des graines de roquette peuvent aider à soulager les douleurs articulaires et musculaires.<sup>lii</sup>

*Comme agent de conservation* : Les graines de roquette ont été utilisées pour conserver les aliments, car elles ont des propriétés antibactériennes et antifongiques.

# **Partie expérimentale**

### III Matériel et méthodes

L'objectif principal de ce chapitre est de définir les méthodes et le matériel utilisés pour caractériser les graines de roquette et de bourrache et l'huile extraite de roquette.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire alimentaire (C-02) du département de Génie de procédés de la faculté de technologie de Boumerdès ainsi qu'au laboratoire de recherche LRTA.

Les analyses physico-chimiques qui ont pour but de déterminer la composition des graines et d'huile par l'analyse de quelques paramètres comme : le taux de cendre ; l'indice de saponification ; l'indice d'acide ; l'indice d'iode ; l'indice de réfraction ; le taux d'insaponifiable et le fractionnement de l'insaponifiable par CCM, ont été réalisés.



#### III.1 Les paramètres physiques

##### III.1.1 Le taux de cendre :

###### Matériels :

- Capsules en porcelaine
- Balance analytique
- Four à moufle
- Dessiccateur
- Spatule



Figure 6 : Four a moufle, capsules, dessiccateur, balance

**Matériel biologiques :**

Les graines à analyser (bourrache et roquette d'Algérie), achetés chez un herboriste à boussada pour la roquette, et à boumerdes pour la bourrache.

**Principe et définition :**

La matière sèche d'un échantillon quelconque est constituée d'une première fraction renfermant tous les constituants organiques (hydrates de carbones, lipides, matières azotés et vitamines) et d'une seconde fraction inorganique renfermant les minéraux.

Cette dernière fraction représente la quantité de cendres totales (CT) que peut contenir l'échantillon analysé. La teneur en cendres d'une denrée s'obtient par incinération (ou combustion complète) dans un four à moufle à une température entre 550 et 800°C.

Cette méthode permet la minéralisation de la matière organique par incinération jusqu'à l'obtention de cendres grise blanchâtres.

Toutefois, la teneur en cendres ne correspond pas exactement à la teneur en matières minérales de la denrée mais s'y approche (pertes de substances par volatilisation ou augmentation sensible de poids par formation de carbonates ou d'oxydes)

**Mode opératoire**

- Peser une masse totale qui ne dépasse pas 3 g de graines broyées dans des capsules en porcelaine préalablement séchées et refroidies dans un dessiccateur ;
- Mettre les capsules contenant la prise d'essai dans le four à moufle à 550°C, pour incinération jusqu'à l'obtention de cendres blanchâtres.
- L'incinération dure pratiquement 4 heures.
- Après calcination, les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour être enfin pesés avec précision avec leurs résidus.

**Expression des résultats**

La teneur en cendres est exprimée en pourcent du poids de la prise d'essai par la formule suivante :

$$\% \text{cendre} = \frac{P_i - P_0}{\text{Prise d'essai}} \times 100$$

P0 : Poids de la capsule vide.

Prise d'essai : Poids de l'échantillon avant incinération.

Pi : Poids de la capsule + échantillon après incinération.

### III.2 Les paramètres chimiques :

#### III.2.1 L'extraction d'huile par soxhlet :

On entend par teneur en matière grasse totale (MGT %) de la graine étudiée, le % en masse de substance déterminée par pesée après une extraction à l'hexane ou à l'éther de pétrole comme solvant, chaud par le SOXHLET.

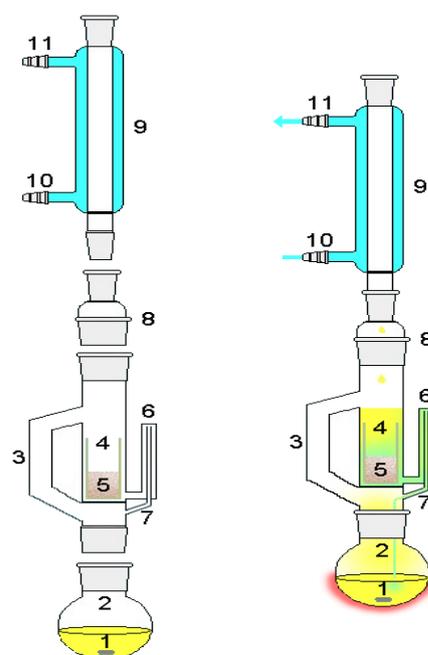
- 1: solvant
- 2: ballon
- 3: Distillateur
- 4: Soxhlet
- 5: cartouche
- 6: haut de Siphon
- 7: sortie Siphon
- 8: adaptateur
- 9: Condensateur
- 10: entrée eau de refroidissement
- 11: sortie eau de refroidissement

#### Matériels et produits utilisées :

- Extracteur Soxhlet (chauffe ballon, ballon, Soxhlet, cartouche, réfrigérant)
- Balance de précision
- Etuve
- Dessiccateur.
- Hexane ou éther de pétrole
- Coton exempt de matière grasse
- Produit à analyser (graines de roquette)



Figure 7 : Roquette pesée



liii

Figure 8 : Schéma du soxhlet

#### Mode opératoire :

- Peser avec précision les graines de roquette finement broyées en notant le poids exact dans la cartouche qui suffira pour l'extraction.
- Placer la cartouche dans le Soxhlet en l'ayant recouvert avec du coton sec.
- Peser le ballon qui servira à récupérer le solvant et en introduit des régulateurs d'ébullition et 300 ml d'hexane ou d'éther de pétrole.
- Réaliser alors le montage de l'appareil (schéma).
- Alimenter le réfrigérant en le branchant à un robinet.

- Brancher la prise du chauffe-ballon et régler la température à 65°C (éviter les surchauffes).

- Effectuer 5 heures d'extraction. Débrancher le chauffe-ballon. Arrêter le robinet après refroidissement puis démonter l'appareil.

- Distiller le solvant à l'aide du Rotavapeur pour séparer le solvant de la matière grasse.

-Placer le ballon contenant les lipides à l'étuve pendant 30 min à 105°C, puis au dessiccateur pendant 30 min.

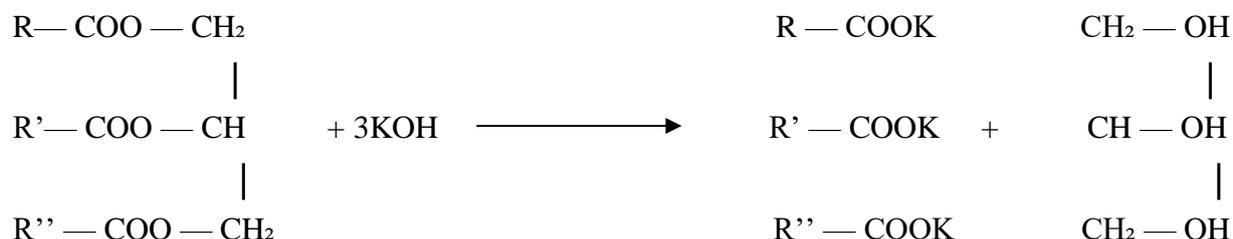
- Réaliser une série de pesées, toujours après avoir séché le ballon à l'étuve puis au dessiccateur jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

### Expression des résultats

$$\% \text{ Teneur en MG} = \frac{m \text{ ballon plein} - m \text{ ballon vide}}{m \text{ échantillon}} \times 100$$

#### III.2.2 Indice de saponification

Les bases fortes réagissent sur les esters du glycérol selon la réaction :



Indice de saponification IS : Est la quantité de potasse exprimée en mg nécessaire pour transformer les acides gras libres et liés contenus dans 1g de corps gras en savon. Simple en apparence, la réaction de saponification est en réalité une réaction complexe se produisant vraisemblablement en deux temps :

1° Transformation des triglycérides en esters éthyliques.

2° Saponification des esters formés.

L'indice de saponification nous renseigne sur la longueur moyenne des chaînes des acides gras constituant le corps gras.

#### Matériel :

- balance
- béchers
- erlenmeyer

- burette graduée (titrage)
- agitateur magnétique
- spatule
- plaque chauffante

**Réactifs :**

- Potasse alcoolique KOH à 0,5N (dans éthanol à 96%)
- Huile de roquette
- phénolphthaléine 1%
- acide chlorhydrique HCl 0,5N (solution titrante)

**Figure 9 : La pesée****Mode opératoire :**

Peser, dans un erlenmeyer 2 g du corps gras à analyser (huile de roquette) avec 25 ml de KOH éthanolique et porter à ébullition sous réfrigérant à reflux (avec un régulateur d'ébullition) pendant une heure en agitant de temps en temps (faire 2 essais) et un essai à blanc (KOH seul). Il convient de prolonger l'ébullition dans le cas des corps gras à haut point de fusion. Titrer l'excès d'alcali dans la solution savonneuse chaude avec l'acide chlorhydrique. Présence de phénolphthaléine Faire, parallèlement, un essai à blanc dans les mêmes conditions mais sans le corps gras.

**Expression des résultats.**

Soient: M masse de la prise d'essai en g.

C1 volume en ml d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai à blanc

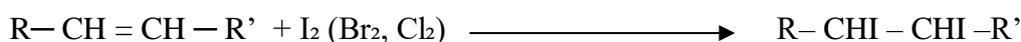
C2 volume en ml d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai avec corps gras.

L'indice de saponification en mg de KOH est donné par:

$$IS = \frac{(C1 - C2) \times 28}{M}$$

**III.2.3 Indice d'iode :**

Dans la composition des corps gras entrent des acides gras saturés, monoinsaturés et polyinsaturés. Les liaisons éthyléniques de ces acides gras fixent des halogènes d'après la réaction suivante :



Cette réaction peut être utilisée pour évaluer quantitativement le degré d'insaturation globale des chaînes grasses. L'indice d'iode (II) est le nombre de grammes d'iode fixés par 100g de corps gras.



Figure 10 : Solution d'amidon



Figure 11 : Agitation des mélanges

Quel que soit le réactif halogénant utilisé, le principe de la réaction est le même.

Cette réaction est lente et incomplète, pour obtenir une addition quantitative, il est indispensable d'utiliser un excès important de réactif, pendant un temps de contact suffisamment long, ou d'opérer en présence d'un catalyseur. L'excès de réactif sera titré par un réducteur.

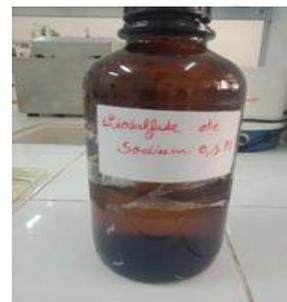


Figure 12 : Thiosulfate de sodium 0,1N



L'élévation de la température ne facilite pas la réaction, elle entraîne au contraire la dissociation du composé d'addition formé.

#### Réactifs :

- Thiosulfate de sodium N/10
- Empois d'amidon
- Solution d'iodure de potassium à 10%.
- Réactif de Wijs
- Tétrachlorure de carbone

#### Matériels :

- Plaque chauffante agitateur magnétique
- Balance
- Matériel du laboratoire

#### Mode opératoire :

Introduire la prise d'essai exactement pesée dans un flacon de 200 à 300 ml bouchant à l'émeri, préalablement lavé et séché, et la dissoudre dans 15 ml de tétrachlorure de carbone, puis ajouter 25 ml, exactement mesuré, du réactif de Wijs. Boucher, agiter légèrement et placer le flacon à l'abri de la lumière, pendant une à deux heures. Au bout de ce temps, ajouter 20 ml

de la solution d'iodure de potassium à 10%, et environ 150 ml d'eau. Agiter et titrer l'iode libéré avec le thiosulfate de sodium 0,1 N en présence d'empois d'amidon comme indicateur ; à la fin du titrage, il faut agiter vivement. Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions que l'essai et sans échantillon.

### Expression des résultats.

Soient : V et V<sub>0</sub> les volumes en ml de thiosulfate à 0,1N versés dans l'essai avec l'huile et dans l'essai à blanc, P le poids en g de la prise d'essai et 126,9 la masse moléculaire de l'iode :

$$\Pi = \frac{V_0 - V}{P} \times 1,269$$

### III.2.4 Indice d'acide :

Les corps gras peuvent s'hydrolyser naturellement au cours de leur stockage pour donner d'acides gras libres et du glycérol. Le glycérol est en général, rapidement détruit et, à l'exception de certaines huiles de palme, les huiles brutes ne contiennent plus de glycérol. La mesure de la quantité d'acides gras libres d'un corps gras constitue un des meilleurs moyens de déterminer son altération par hydrolyse.

La teneur en acides gras libres d'une matière grasse s'exprime de deux façons: l'acidité et l'indice d'acide qui sont déterminés expérimentalement de la même manière et seul leur mode d'expression diffère.

L'indice d'acide: (IA) est le nombre de milligrammes de potasse (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides libres contenus dans 1g de corps gras.

L'acidité: est le pourcentage d'acides gras libres exprimé conventionnellement selon la nature du corps gras.

#### Réactifs :

- Ether di-éthylique
- Soude ou potasse aqueuse 0,1N
- Alcool éthylique à 96°
- Phénolphtaléine à 1% dans l'alcool éthylique.

#### Matériel et appareillage:

- Fioles coniques de 100 et 150 ml
- Burette de 25 ml graduée en 0,1 ml
- Pipettes de 1 et 2 ml
- Eprouvette graduée de 250 ml

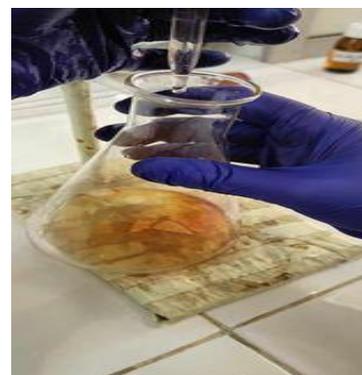


Figure 13 : titrage

**Mode opératoire :**

Dans une fiole conique de 100 à 150 ml, peser 3 à 5 g d'huile à la précision de 0,0001g. Dans une autre fiole faire un mélange de 50 ml d'alcool éthylique -éther di-éthylique proportion 1/2, ajouter 1 à 2 gouttes de phénolphthaléine et titrer ce mélange par la solution soude déci-normale jusqu'à coloration rose pâle persistant une dizaine de secondes.

Transvaser ce mélange dans la fiole contenant la prise d'essai, dissoudre l'huile en agitant énergiquement, si l'huile se dissout mal, chauffer légèrement.

Ajouter dans cette solution 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine et titrer par la solution de soude déci-normale jusqu'à coloration rose persistant une dizaine de secondes. Soit V le volume en ml de soude employé.

**Expression des résultats :**

Soient :

V : volume de soude employé

P : poids de la prise d'essai en g

5,61 : nombre de mg de potasse équivalent à 1ml de soude à 0,1N

L'indice d'acide en mg de KOH est calculé selon la formule suivante :

$$IA = \frac{V \times 5,61}{P}$$

**III.2.5 Taux d'insaponifiable :**

**Définition et principe:**

Les AG représentent les constituants essentiels des corps gras (plus de 80%) dans lesquels ils se trouvent sous forme liée au glycérol. Leur détermination se base sur la saponification d'une prise d'essai de corps gras, suivie d'une décomposition, à l'aide d'un acide fort, du savon formé.

On entend par matières insaponifiables d'un corps gras l'ensemble des produits présents dans ce corps gras qui, après saponification de celui-ci par un hydroxyde alcalin, extraction par un solvant spécifié et élimination de ce dernier, restent non volatils dans les conditions opératoires décrites dans la présente norme.

Cet ensemble est formé des constituants naturels des matières grasses tels les stérols, les alcools aliphatiques supérieurs, les pigments, les hydrocarbures, ainsi que les substances organiques étrangères non volatiles à 103°C (par exemple huiles minérales) qu'elles peuvent éventuellement contenir.

**Réactifs :**

- Hexane
- $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhydre
- Potasse alcoolique KOH à 0,5N (dans éthanol à 96%)
- Huile de roquette
- Phénolphtaléine
- Eau distillé
- Ethanol

**Matériels :**

- Ampoule à décanter
- Plaque chauffante
- Balance
- Fiole conique 250ml
- Réfrigérant à reflux
- Ballon
- Évaporateur rotatif (rotavap)
- Entonnoir
- Papier filtre

**Figure 14 : chauffage****Mode opératoire :**

Peser à 0,01g près dans une fiole conique de 250ml environ 5g de l'échantillon pour essai. Ajouter 50 ml de solution de KOH éthanolique à 1N, adapter le réfrigérant à reflux et laisser bouillir doucement pendant une heure, en agitant de temps à autre (faire 2 essais et un essai à blanc).

Arrêter le chauffage, ajouter par le haut du réfrigérant environ 50 ml d'eau distillée et agiter. Après refroidissement, transvaser dans une ampoule à décanter A et rincer la fiole conique à plusieurs reprises en utilisant au total 50 ml de solvant (hexane) et verser le liquide de rinçage dans l'ampoule à décanter.

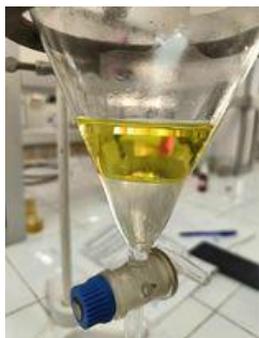
Boucher et agiter; laisser reposer jusqu'à séparation complète des deux phases, soutirer phase savonneuse hydroalcoolique et la recueillir dans une seconde ampoule à décanter B.

Répéter l'extraction de la phase savonneuse à deux reprises, avec chaque fois 50 ml de solvant. Réunir toutes les phases étherées et les conserver pour la détermination l'insaponifiable.

**Figure 15 : Deux échantillons****Figure 16 : ampoule à décanter**

**Détermination de la teneur en insaponifiable :**

Rassembler les extraits étherés dans une ampoule à décanter et les laver plusieurs fois avec le mélange éthanol/eau en présence de la phénolphtaléine jusqu'à ce que le liquide de lavage ne vire plus au rose en présence de phénol phtaléine. Sécher un ballon de 250 ml à 105°C jusqu'au poids constant. Filtrer la phase organique sur filtre sec contenant du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydre, et recueillir le filtrat dans le ballon déjà pesé. Eliminer le solvant par distillation sur un bain marie (rotavap) et sécher le résidu à 105°C jusqu'au poids constant.



**Figure 17 : Phase de séparation**

**Figure 18 : Phase de rinçage en présence de phénolphtaléine**

**Figure 19 : Résidu récupéré (insaponifiable)**

**Expression des résultats :**

La teneur en matières insaponifiable, en pourcentage massique, est égale à :

$$\% \text{ Insapo} = M_1 \times \frac{100}{M_0}$$

**III.2.6 Fractionnement de l'insaponifiable par CCM**

**Matériel :**

- Plaque CCM en silice
- Cuve d'élution
- Matériel courant de laboratoire

**Réactifs :**

- Mélange hexane-oxyde d'éthylrique 80-20 en volume
- Solution à 0,2 de chloroforme dans l'éthanol

**Mode opératoire :**

Activation de la plaque CCM dans une étuve à 103°C (± 2°C) pendant une heure et la refroidir dans un dessiccateur.

Préparation de la phase mobile : 50ml de mélange hexane (80%) et oxyde di-éthylique (20%), là mettre dans la cuve d'élution et fermer la cuve et on laisse se saturer pendant quelques heures. L'échantillon pour CCM : On récupère le résidu des ballons (l'insaponifiable) dans du chloroforme (5ml)

Tracer au crayon un trait à 1,5 cm du bas de la plaque puis Sur ce trait tracer 3 petits points à 1 cm de distance où seront déposés les taches (l'échantillon au milieu) .

Déposer à l'aide d'une pipette Pasteur les solutions (échantillon, cholestérol,  $\beta$  carotène) sur chaque point (mettre plusieurs gouttes au même point en prenant garde de laisser sécher entre chaque goutte). Placer la plaque dans la cuve, fermer et laisser l'éluant diffuser.

Arrêter la CCM lorsque le front d'éluant est arrivé à 1,5 cm du haut de la plaque. Puis sortir la plaque et tracer au crayon le front de l'éluant et la laisser sécher.

### Expression des résultats :

Le Rf est défini comme le rapport entre la distance parcourue par le composé et la distance parcourue par le front du solvant. Il est nécessaire de calculer le facteur de rétention (Rf) de chaque composé séparé.

Calcul de Rf de chaque produit et l'identifier par rapport aux Rf de référence :

$$R_f = \frac{d_i}{D}$$

Avec :

- $d_i$  : distance parcourue par le composé.
- $D$  : distance parcourue par le solvant.



Figure 20 : Les échantillons sur la plaque CCM

### III.2.7 Indice de Réfraction :

L'indice de réfraction des huiles varie en fonction de leur degré d'insaturation. Il est généralement mesuré à l'aide de réfractomètres thermostatés selon la norme ISO 6320. La mesure de l'indice de réfraction est une analyse physique importante pour caractériser les huiles et graisses, notamment dans l'industrie alimentaire. Elle permet par exemple de suivre le procédé d'hydrogénation lors de la production de margarine.

**Réactifs :**

- Hexane
- Benzène pur
- Huile de roquette

**Matériels :**

- Réfractomètre relié à un bain thermostatique
- Matériel courant de laboratoire

**Mode opératoire :**

Laver les prismes du réfractomètre par l'hexane, les essuyer avec un chiffon propre. Lier le réfractomètre au bain thermostatique, brancher la circulation d'eau sur le thermostat à la température  $t$  choisie pour la mesure et attendre 20 min. Etalonner l'appareil à l'aide d'eau distillée ( $n^{20}=1,3330$ ) et de benzène ( $n^{20} =1,5014$ ).

Verser alors entre les prismes 2 à 3 gouttes du corps gras.

Attendre 2 à 3 min pour que l'échantillon prenne la température de l'appareil.

Déplacer alors la lunette de visée pour que la ligne de séparation de la plage claire et de la plage sombre se situe à la croisée des fils du réticule. Lire l'indice de réfraction du corps gras à la température  $t_0$ .

**Expression des résultats :**

L'indice de réfraction est une fonction linéaire de la température dans un domaine étroit (10°C environ). La variation de l'indice de réfraction des triglycérides est en moyenne de 0,00035 par degré au voisinage de 20°C.

$$n^D(t') = n^D(t) + 0,00035(t-t')$$



**Figure 21 : Réfractomètre Abbé Bellingham+Stanley**



**Figure 22 : Ajustement de la lecture**



**Figure 23 : Lecture d'IR**

# **Résultats et discussions**

#### IV Résultats et discussions :

Dans cette partie on a fait l'extraction seulement pour les graines de roquette, mais nous n'avons pas eu la chance de se procurer suffisamment de graines de bourrache pour faire l'extraction.

Le but de cette section est d'étudier et d'interpréter les résultats obtenus concernant les graines de bourraches et roquettes et son huile.

##### IV.1 Caractérisation morphologique des graines de roquettes :

On va comparer les résultats obtenus avec des normes des graines de la même famille (les brassicacées) : les graines de moutarde.

IV.1.1 **La forme** : par une loupe et le pied à coulisse, on voit que la graine est : **sphérique**

Les graines de moutarde sont généralement de forme ovale ou elliptique<sup>liv</sup>

**Tableau 5 : Les dimensions de la graine de roquette**

	<b>Longueur (mm)</b>	<b>Largeur (mm)</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>
1 <sup>er</sup> répétition	1,9	1,4	1
2 <sup>ème</sup> répétition	2	1,3	1
3 <sup>ème</sup> répétition	1,7	1,8	2
<b>Moyenne</b>	<b>1,87</b>	<b>1,50</b>	<b>01,33</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0,15</b>	<b>0,26</b>	<b>0,58</b>

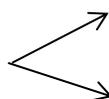
<b>Graines de moutarde</b>	<b>Longueur (mm)</b>	<b>Largeur (mm)</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>
	1,4 à 1,5 <sup>lv</sup>	1 <sup>lvi</sup>	0,5 à 2 <sup>lvii</sup>

Les graines de moutarde et de roquette ont des dimensions comparables.

##### IV.1.2 La proportion : les téguments par rapport à l'amande

Décorticage

20 graines de roquette (0,017g)



Coque : 0,0085g

Amande : 0,0075g

Les résultats de recherche mentionnent que les graines de moutarde sont récoltées dans des cosses vertes appelées « siliques » et que ces graines doivent être broyées pour obtenir la

moutarde<sup>lviii</sup>. Cependant, aucun chiffre précis sur la composition en tégument et en amande n'est fourni. On sait aussi que les graines de colza de la même famille sont broyées avec leurs téguments car elles sont classées dans les très petites graines.

Donc, pour 1kg de graines de roquette on a :

**Tableau 6 : La proportion des téguments par rapport à l'amande de la graine de roquette**

	<b>Graines de roquette (g)</b>	<b>La coque (g)</b>	<b>L'amande (g)</b>
<b>Le poids pour 1 kg grains</b>	1000	500	441,2
<b>Proportion (%) En poids</b>	100	50	44,1

#### IV.1.3 La masse volumique de 1000 grains

On remplit un cylindre (le plus petit possible) avec un certain volume de graines (10 ml), on tapote et on ajuste le volume après on pèse (le contenant à vide (45,7999 g) et avec les graines :

**Tableau 7 : La masse volumique de 1000 graines de roquette**

<b>Vide (g)</b>	<b>Poids des graines (g)</b>
45,7999	7,3134
	7,1415
	7,3520
Moyennes masse (g)	7,27
Ecart type masse (g)	0,11
<u>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</u>	<b>726,9±11</b>

La masse volumique de la moutarde est généralement comprise entre 470 et 480 kg/m<sup>3lix</sup> donc : celle de la roquette est plus dense, pour cela on pose comme hypothèse qu'elle doit être moins riche en matière grasse et plus riche en protéines ou en amidon, chose qu'on pourra vérifier avec le taux de matière grasse.

#### IV.1.4 Poids de 1000 graines :

$$m_1=1,2247g \quad m_2=0,85g$$

$$m_{\text{moy}} = 1,037 \pm 0,265 \text{ g /1000 grains}$$

Le poids de 1000 graines de moutarde est d'environ 1,75 à 4 g<sup>lx</sup>. Un poids élevé de 1000 graines indique généralement des graines plus petites et mieux remplies, c'est-à-dire avec une proportion de téguments plus petite.<sup>lxi</sup>

#### IV.1.5 Analyse de composition globale de la graine :

- Pourcentage des cendres : dans un four à moufle (3 répétitions) :

**Tableau 8 : Taux de cendre des graines, téguments, et l'amande de roquette**

% cendre	Les graines entières	Les téguments	L'amande
1 <sup>ère</sup> répétition	5,26	3,90	-
2 <sup>ème</sup> répétition	-	3,57	17,24
3 <sup>ème</sup> répétition	6,44	3,33	13,33
<b>Moyenne</b>	<b>5,85±0,93</b>	<b>3,60±0,26</b>	<b>15,28±5,79</b>

Le taux de cendre des graines de moutarde est de 6,5 % au maximum conformément à la norme DIN 10223<sup>lxii</sup>. Le taux de cendre des graines de roquette étudiées est comparable à celui des graines de moutarde.

Nous remarquons qu'à l'opposé des graines habituellement rencontrées, l'amande de la roquette locale est plus riche en minéraux que ses téguments.

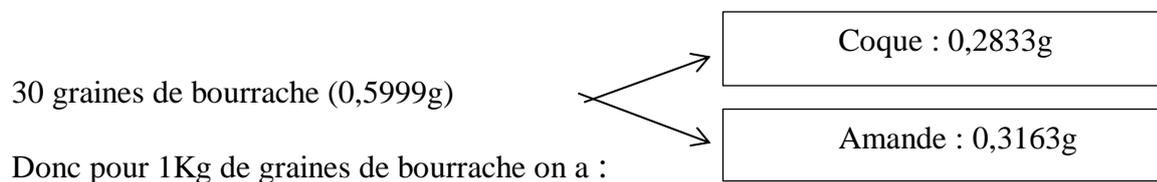
## IV.2 Caractérisation morphologique des graines de bourrache :

IV.2.1 **La forme** : par une loupe et le pied à coulisse : **ovoïde** (plus longue que large)

**Tableau 9 : Les dimensions de la graine de bourrache**

	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
1 <sup>er</sup> répétition	6,3	3,3	2,7
2 <sup>ème</sup> répétition	6	3,4	3,1
3 <sup>ème</sup> répétition	6,5	3	2,5
<b>Moyenne</b>	<b>6,27</b>	<b>3,23</b>	<b>2,77</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0,25</b>	<b>0,21</b>	<b>0,31</b>

IV.2.2 **La proportion** : les téguments par rapport à l'amande : décortilage



**Tableau 10 : La proportion des téguments par rapport à l'amande de la graine de bourrache.**

	Graines de bourrache	La coque	L'amande
Le poids pour 1 kg de graines	1000	472,3	527,3
Proportion (%) en poids	100	47,3	52,7

IV.2.3 **La masse volumique de 1000 g :**

On remplit un cylindre (le plus petit) avec un certain volume des graines (1ml), on tapote et on ajuste le volume après on pèse (le contenant à vide (26,8926g) et avec les graines :

**Tableau 11 : La masse volumique de 1000 graines de bourrache.**

Vide (g)	Poids des graines (g)
26,8926	0,3877
	0,4494
	0,4228
Moyennes masse (g)	0,420
Ecart type masse (g)	0,031
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	420±31

#### IV.2.4 Poids de 1000 graines :

$$m_1=19,635\text{g} \quad m_2=19,996\text{g}$$

$$m=19,82 \pm 0,22 \text{ (g/1000 grains)}$$

Ceci indique que c'est de grosses graines, où l'amande représente une grande part de la graine.

#### IV.2.5 Analyse de composition globale de la graine :

- Pourcentage des cendres : Dans un four à moufle (3 répétitions) :

**Tableau 12 : Taux de cendre des graines, téguments, et l'amande de bourrache.**

% cendre	Les graines	Les téguments	L'amande
1 <sup>ère</sup> répétition	12,26	-	2,94
2 <sup>ème</sup> répétition	-	20,75	-
3 <sup>ème</sup> répétition	12,39	22,82	5,70
<b>Moyenne %</b>	<b>12,325</b>	<b>21,79</b>	<b>4,32</b>
<b>Ecart type%</b>	<b>0,069</b>	<b>2,10</b>	<b>1,95</b>

La graine de bourraches est deux fois plus riche en minéraux que celle de la roquette, mais ils sont essentiellement localisés dans les coques.

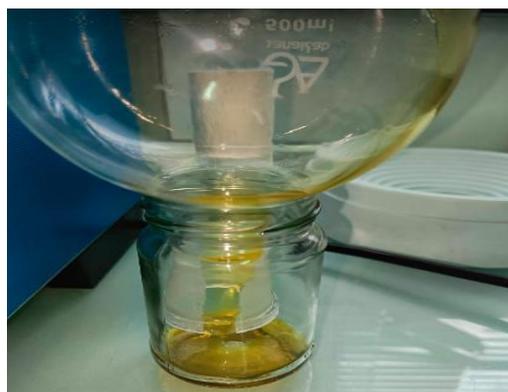
### IV.3 Caractérisation chimique de l'huile de roquette :

L'huile de roquette est une huile végétale très aromatique qui possède une saveur prononcée et légèrement poivrée d'une couleur jaune orangé. Son odeur est intense et rappelle celle de la roquette fraîchement broyée et un peu celle de la moutarde.

L'huile de roquette a une consistance épaisse (visqueuse).



**Figure 24 : Huile de roquette brute**



**Figure 25 : La viscosité de l'huile de roquette**

On va comparer les résultats obtenus avec des normes d'une huile extraite des graines de la même famille (les brassicacées) : huile des graines de moutarde.

#### IV.3.1 Teneur en matière grasse (rendement) :

	Taux de MG %	Moyenne %	Ecart type %	Taux d'insaponifiable % de la MG	Moyenne %	Ecart type %
1 <sup>ère</sup> extraction	20,6	16,85	4,15	14,2	22,6	11,9
2 <sup>ème</sup> extraction	12,4			31,0		
3 <sup>ème</sup> extraction	17,6			-		

Le rendement de l'huile de moutarde extraite par les méthodes d'extraction chimiques (par solvant) peut atteindre un rendement autour de 35 à 40 %<sup>lxiii lxiv</sup>, donc le rendement de l'huile de roquette sauvage étudiée est plus faible que celui de moutarde, ce qui corrobore avec le résultat de la masse volumique.

#### IV.3.2 Les indices des graisses :

	(IA) mg KOH / gMG	(IS) mg KOH / gMG	(II) mg I <sub>2</sub> / g MG	(IE) mg KOH / gMG	Insaponifiable %
Essai 1	2,3609	150	76	135,8	14,1996
Essai 2	3,7393	136	76	105	31,0325
Moyenne	3,0501	143	76	121,4	22,6160

Selon les normes (Codex), l'indice de saponification des graines de moutarde est :

$$170 < IS < 184 \text{ mg KOH / g MG}$$

Plus l'indice de saponification est petit plus la longueur des chaînes des acides gras est élevée. Nous constatons donc que la longueur des chaînes des acides gras de l'huile de roquette sauvage d'Algérie est plus grande relativement à celle de l'huile de moutarde.<sup>lxv</sup>

L'indice d'iode de l'huile de moutarde est :  $92 < II < 125 \text{ mg I}_2 / \text{g MG}$ . Cet indice démontre que c'est une huile riche en double liaisons, il s'avère que l'huile de roquette étudiée est un peu moins insaturée que l'huile de moutarde.<sup>lxvi</sup>

L'indice d'acide pour une huile fraîchement extraite à froid :  $IA < 1 \text{ mg KOH / g MG}$

Comme on a fait l'extraction à chaud, ça peut contribuer à une augmentation de l'indice d'acide.<sup>lxvii</sup>

### IV.3.3 Fractionnement de l'insaponifiable par CCM

Rappelons que l'insaponifiable est l'ensemble des composés lipidiques qui ne réagissent pas avec les réactifs alcalins (saponification). Ils sont insolubles dans l'eau et solubles dans des solvants organiques après saponification.

<u>Composé</u>	<u>Rf</u>
Cholestérol (étalon 1)	0,123
$\beta$ carotène (étalon 2)	0,969
Les fractions de l'insaponifiable de l'huile de roquette sauvage	0 xanthophylles
	0,130 ( <b>phytostérols</b> )
	0,255 alcools
	0,304 alcools gras
	0,590 gamma tocophérols
	0,711 alpha tocophérols
	0,975 ( <b>caroténoïdes</b> )

Le Rf est une valeur sans unité, comprise entre 0 et 1. Plus un composé est retenu par la phase stationnaire qui est polaire (la silice), plus son Rf sera faible et l'inverse est vrai, donc les spots apparaissent sur la plaque par ordre décroissant de polarité, ce que nous confirment les deux étalons, le cholestérol étant un stérol polaire a un Rf faible alors que le carotène qui est un hydrocarbure a longue chaîne insaturée donc non polaire a un Rf grand.

Dans l'insaponifiable étudié on distingue clairement les deux familles des stérols et des caroténoïdes grâce aux étalons utilisés. Les autres spots sont identifiés par analogie à une séparation standard d'insaponifiable dans les mêmes conditions d'élution, à savoir : les

xanthophylles qui sont des pigments jaunes très polaires, les stérols, les alcools divers, les tocophérols et les caroténoïdes les pigments rougeâtres.

#### IV.3.4 **Indice de réfraction (IR) :**

Chaque huile a un indice de réfraction spécifique mesuré à une certaine température, ce qui permet de les différencier. L'indice de réfraction d'une huile est une grandeur sans dimension qui décrit la vitesse à laquelle la lumière se propage dans cette huile par rapport au vide. L'indice de réfraction de l'huile de roquette sauvage est  $IR_{20} = 1,4720$ .

Sachant que l'indice de réfraction des graines de moutarde est  $1,4610 < IR_{20} < 1,4690$ , l'indice de réfraction obtenu et celui de la moutarde sont très proche et comparables à celui du colza aussi, une autre plante de la même famille.

## V Conclusion :

Il existe en Algérie un grand nombre de plantes à valoriser telle que la bourrache et la roquette. Une analyse détaillée de ces graines pourrait non seulement améliorer notre compréhension de leur valeur nutritionnelle, mais aussi encourager leur utilisation dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et pour nourrir les animaux.

Les résultats sur l'huile de roquette montrent un potentiel intéressant à explorer en profondeur par des analyses de composition, comme la composition en acides gras, la composition en stérols et en tocophérols, le taux de composés spécifiques s'ils existent. De même pour la graine de bourrache.

Nos investigations préliminaires montrent que la graine de roquette locale ressemble morphologiquement aux autres graines de crucifères, mais elle est moins riche en matière grasse dont le rendement est de 17% en moyenne avec un taux élevé en insaponifiable, ceci est probablement dû aux conditions pédoclimatiques et culturales dans nos régions chaudes où les plantes s'adaptent pour survivre.

L'huile de roquette extraite à partir de cette espèce est assez différente de l'huile de moutarde considéré comme une plante de la même famille botanique, elle contient des chaînes carbonées plus longues et un peu moins insaturées, avec un taux d'insaponifiable important, cet insaponifiable semble contenir les sept familles habituels des composés bioactifs des huiles. Cette étude offre de nombreuses perspectives de recherche notamment dans la caractérisation des acides gras, des stérols, des tocophérols, de son activité antibactérienne et antifongique, etc. afin de connaître ses potentiels de santé et cosmétologiques.

D'un autre côté, comme la graine n'est pas essentiellement oléagineuse, il serait intéressant de voir la composition exacte de ses tourteaux dégraissés, pour orienter son utilisation nutritionnelle ou dans l'industrie agro-alimentaire.

Pour la graine de bourrache, nous n'avons pas eu la chance de se procurer suffisamment de graines pour mener à bien la caractérisation de sa composition, mais la partie morphologique montre qu'elle ressemble à la graine de bourrache autours de la méditerranée, mais ce n'est qu'en explorant sa composition que nous pourrions en juger.

## **Résumé :**

Cette étude porte sur l'étude des graines locales a potentiel nutritionnel : cas de la Bourrache (Borago officinalis) et de la Roquette (Eruca sativa) et l'huile de roquette. Les paramètres étudiés pour les graines sont : la forme, la proportion des téguments par rapport à l'amande, la masse volumique de 1000 graines, poids de 1000 graines, analyse de composition globale de la graine (taux de cendre).

Pour l'huile de roquette, après l'extraction, les paramètres étudiés sont : le rendement, l'indice de saponification, l'indice d'iode, l'indice d'acide, le taux d'insaponifiable, le fractionnement de l'insaponifiable par CCM, l'indice de réfraction.

Les résultats obtenus montrent que les graines étudiées sont riches en minéraux et peuvent être utilisées dans différent domaines. Concernant l'huile de roquette, c'est une huile moyennement riche en matière grasse qui contient des longues chaines d'acide gras et des acides gras insaturés.

**Mot clé :** roquette, bourrache, Algérie, graines locales, caractérisation chimique, caractérisation physique et morphologique.

## **ملخص:**

تركز هذه الدراسة على دراسة البذور المحلية ذات الإمكانات الغذائية: حالة بذور لسان الثور وبذور الجرجير وزيت الجرجير. العوامل المدروسة للبذور هي: الشكل، نسبة الغلاف بالنسبة لنواة البذرة، الكتلة الحجمية (الكثافة) ل 1000 بذرة، كتلة 1000 بذرة، تحليل التكوين العام للبذور (نسبة الرماد)، التي هي "الوصف الشكلي للبذرة".

بالنسبة لزيت الجرجير، بعد الاستخراج والاستخلاص، العوامل المدروسة هي: العائد، مؤشر التصبغ، مؤشر اليود، مؤشر الحمض، معدل المادة غير قابلة للتصبن، تجزئة المواد غير الصابونية بواسطة كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة، مؤشر الانكسار. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن البذور التي تمت دراستها هي: مربحة وغنية بالمعادن ويمكن استخدامها في مجالات مختلفة.

فيما يتعلق بزيت الجرجير، فهو زيت غني بالدهون يحتوي على سلاسل طويلة من الأحماض الدهنية والأحماض الدهنية غير المشبعة.

**الكلمات المفتاحية:** الجرجير، لسان الثور، الجزائر، بذور محلية، التوصيف الكيميائي، التوصيف الفيزيائي.

## **Abstract:**

This study focuses on the study of local seeds has nutritional potential: case of Borage (Borago officinalis) and Arugula (Eruca sativa) and arugula oil.

The parameters studied for the seeds are: the shape, the proportion of the integuments relative to the almond, the density of 1000 seeds, weight of 1000 seeds, and analysis of the overall composition of the seed (ash rate) which are the morphological characterization of the seeds.

For rocket oil, after extraction, the parameters studied are: yield, saponification index, iodine index, acid index, unsaponifiable rate, fractionation of unsaponifiable by CCM, refractive index. The results obtained show that the seeds studied are: profitable, rich in minerals and can be used in different fields.

Regarding arugula oil, it is a moderately high-fat oil that contains long chains of fatty acid and unsaturated fatty acids.

**Keywords:** Arugula, Borage, Algeria, local seeds, chemical characterization, physical characterization.

# **Référence bibliographiques**

- 
- <sup>i</sup> <https://www.herbolistique.com/ingredient?ingredient=166>
- <sup>ii</sup> La Base de données nationale sur les éléments nutritifs de l'USDA (United States Department of Agriculture)
- <sup>iii</sup> <https://vie2runneuz.fr/graine-de-bourrache-comestible-indice-et-indice-glycemique/>
- <sup>iv</sup> <https://huile.org/huile-de-bourrache-vierge/>
- <sup>v</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)
- Rédaction : Marion Spée, Journaliste scientifique, Février 2018
- <sup>vi</sup> <https://theoriginalgarden.com/fr/p/semences/fleurs/fleurs-sauvages/borago-officinalis-bourrache>
- <sup>vii</sup> [https://www.dieta-natura.com/plantes-actifs/bourrache.html#:~:text=L'huile%20de%20Bourrache%20est%20riche%20en%20acides%20gras%20insatur%C3%A9s,AAL%20\(4%2D5%25\).](https://www.dieta-natura.com/plantes-actifs/bourrache.html#:~:text=L'huile%20de%20Bourrache%20est%20riche%20en%20acides%20gras%20insatur%C3%A9s,AAL%20(4%2D5%25).)
- <sup>viii</sup> [https://journals.ekb.eg/article\\_201108\\_13b1ef7eb28a6362ffbec42119d8adfa.pdf](https://journals.ekb.eg/article_201108_13b1ef7eb28a6362ffbec42119d8adfa.pdf) J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 32 (2): 1553 - 1559, 2007 CHEMICAL COMPOSITION OF SEEDS AND OIL OF BORAGE ( *Borago officinalis* ). Abdel Samed, A .M.; M.I. Kobeasy and Hanan, S . Gab alla . Biochemistry Dept., Fac. Of Agric., Cairo Univ., Giza ,Egypt
- <sup>ix</sup> <https://www.france-mineraux.fr/phytotherapie/guide-plantes-medicinales/bourrache-officinale/>
- <sup>x</sup> <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Bourrache-officinale.html> sous licence CC-BY-SA 3.0.
- <sup>xi</sup> Huxley, A. (1999). *The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening*. Londres : Macmillan Publishers Ltd.
- <sup>xii</sup> Hodgson, L. M., & Gérard, A. (Eds.). (2001). *World Economic Plants: A Standard Reference*. Londres : CRC Press.
- <sup>xiii</sup> Duke, J. A., Bogenschutz-Godwin, M. J., DuCellier, J., & Duke, P. A. K. (2002). *Handbook of Medicinal Herbs* (2nd ed.). Boca Raton, FL : CRC Press.
- <sup>xiv</sup> Weiss, E. A. (2002). *Oilseed Crops* (2nd ed.). Oxford : Blackwell Science Ltd.
- <sup>xv</sup> Huxley, A. (1999). *The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening*. Londres : Macmillan Publishers Ltd.
- <sup>xvi</sup> Chevallier, A. (1996). *The Encyclopedia of Medicinal Plants*. Londres : Dorling Kindersley.
- <sup>xvii</sup> La vaginite... jamais plus ! Solutions et remèdes Louise Beaudry page 132-133
- <sup>xviii</sup> <https://www.biocoop.fr/huile-de-bourrache-150-capsules-pf0142-000.html>
- <sup>xix</sup> <https://kinkycrepus.com/huile-bourrache-cheveux/>
- <sup>xx</sup> Yousefi, R., Fedorova, M., Baci, D., Puppini, C., Tsiani, E., & Vazquez, E. (2019). Health Effects of Omega-3,6,9 Fatty Acids: *Perilla frutescens* is a Good Example of Plant Oils. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 19(4), 317–331. <https://doi.org/10.1007/s13596-019-00370-2>
- <sup>xxi</sup> Martirosyan, D. M., & Singh, J. (2014). A New Definition of Functional Food by FFC: What Makes a New Definition Unique? *Functional Foods in Health and Disease*, 4(6), 209–223. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v4i6.194>
- <sup>xxii</sup> Simopoulos, A. P. (2002). The Importance of the Omega-6/Omega-3 Fatty Acid Ratio in Cardiovascular Disease and Other Chronic Diseases. *Experimental Biology and Medicine* (Maywood, N.J.), 233(6), 674–688. <https://doi.org/10.1177/153537020223800101>
- <sup>xxiii</sup> Vavrikova, E., & Popov, S. (2019). Comparative Study of Nutritional Values of Cold-Pressed Seed Oils from Different Botanical Sources. *European Food Research and Technology*, 245(1), 73–83. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3141-8>

---

<sup>xxiv</sup> Vaughn, A. R., Clark, A. K., Sivamani, R. K., & Shi, V. Y. (2017). Natural Oils for Skin-Barrier Repair: Ancient Compounds Now Backed by Modern Science. *American Journal of Clinical Dermatology*, 18(1), 103–117. <https://doi.org/10.1007/s40257-016-0245-2>

<sup>xxv</sup> Horrobin, D. F. (2000). Essential fatty acid metabolism and its modification in atopic eczema. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1 Suppl), 367S–372S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.367s>

<sup>xxvi</sup> Lin, T.-K., Zhong, L., & Santiago, J. L. (2017). Anti-Inflammatory and Skin Barrier Repair Effects of Topical Application of Some Plant Oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 70. <https://doi.org/10.3390/ijms19010070>

<sup>xxvii</sup> Lin, T.-K., Zhong, L., & Santiago, J. L. (2017). Anti-Inflammatory and Skin Barrier Repair Effects of Topical Application of Some Plant Oils. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(1), 70. <https://doi.org/10.3390/ijms19010070>

<sup>xxviii</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxix</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxx</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxxi</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxxii</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxxiii</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxxiv</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache\\_psn](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=bourrache_psn)

<sup>xxxv</sup> <https://www.labonnegraine.com/graines-aromatiques-et-condimentaires/249-roquette-sauvage.html>

<sup>xxxvi</sup> Allaby, M. (Ed.). (2006). *The Oxford Dictionary of Natural History*. Oxford : Oxford University

Press.

<sup>xxxvii</sup>

[https://www.laboratoire-lescuyer.com/nos-actifs/roquette#:~:text=D%C3%A9finition%20de%20la%20roquette,-La%20roquette%20\(Eruca&text=Elle%20est%20originaire%20du%20bassin,le%20calcium%20et%20le%20fer.](https://www.laboratoire-lescuyer.com/nos-actifs/roquette#:~:text=D%C3%A9finition%20de%20la%20roquette,-La%20roquette%20(Eruca&text=Elle%20est%20originaire%20du%20bassin,le%20calcium%20et%20le%20fer.)

<sup>xxxviii</sup> Simon, J. E., & Chadwick, A. F. (Eds.). (1998). *Herbs: An Indexed Bibliography*. Santa Barbara,

CA : ABC-CLIO.

<sup>xxxix</sup> Chevallier, A. (1996). *The Encyclopedia of Medicinal Plants*. Londres : Dorling Kindersley.

<sup>xl</sup> <https://quelle-est-cette-fleur.com/Fiches-botaniques/roquette-batarde.php>

<sup>xli</sup> <https://www.inflora.ch/fr/flore/eruca-sativa.html>

<sup>xlii</sup> <https://www.inflora.ch/fr/flore/eruca-sativa.html>

<sup>xliii</sup> Facciola, S. (1998). *Cornucopia II: A Source Book of Edible Plants*. Vista, CA : Kampong Publications.

<sup>xliiii</sup> Huxley, A. (1999). *The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening*. Londres : Macmillan Publishers Ltd.

<sup>xliv</sup> <https://amoseeds.com/blogs/guide-phytotherapie/roquette>

<sup>xlv</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette_nu)

<sup>xlvi</sup> Duke, J. A., Bogenschutz-Godwin, M. J., DuCellier, J., & Duke, P. A. K. (2002). *Handbook of Medicinal Herbs* (2nd ed.). Boca Raton, FL : CRC Press.

<sup>xlvii</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette_nu)

<sup>xlviii</sup> [https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette\\_nu](https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=roquette_nu)

<sup>xlix</sup> <https://www.nature-en-tete.fr/phytotherapie/roquette/ingredient-233>

<sup>l</sup> <https://superfood.ma/graines/graines-de-roquette>

<sup>li</sup> <https://tassao.com/blogs/news/bienfaits-de-la-graine-de-roquette-pour-la-sante>

<sup>lii</sup> <https://tassao.com/blogs/news/bienfaits-de-la-graine-de-roquette-pour-la-sante>

<sup>liiii</sup> <https://chimieanalytique.com/les-methodes-extraction/4/>

<sup>liv</sup> <https://agritrop.cirad.fr/581373/1/ID581373.pdf>

<sup>lv</sup> <https://agritrop.cirad.fr/581373/1/ID581373.pdf>

<sup>lvi</sup> <https://www.agrimaroc.ma/comment-peut-on-recolter-les-graines-de-moutarde/>

<sup>lvii</sup> <https://grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/guide-officiel-classement-grains/pdf/12-mustard-f.pdf>

<sup>lviii</sup> <https://blog.lafourche.fr/moutarde-composition-bienfaits-fabrication-recettes>

<sup>lix</sup> [https://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/extrait\\_agdex/980\\_000.pdf](https://www.craaq.qc.ca/data/DOCUMENTS/extrait_agdex/980_000.pdf)

- 
- <sup>lx</sup> <https://www.fermedesaintemarthe.com/reussir-la-culture-de-la-moutarde-p-18178>
- <sup>lxi</sup> <https://www.agrosemens.com/jardin-graine-bio-jeunes-pousses/1070-jeunes-pousses-purple-frills-feuille-de-moutarde.html>
- <sup>lxii</sup> [https://www.humeau.com/media/blfa\\_files/TC\\_070002\\_BIO\\_\\_MOUTARDE\\_JAUNE\\_POUDRE\\_475\\_555000\\_20\\_072020\\_80347a5394ac989ca548377ae01b6a96.pdf](https://www.humeau.com/media/blfa_files/TC_070002_BIO__MOUTARDE_JAUNE_POUDRE_475_555000_20_072020_80347a5394ac989ca548377ae01b6a96.pdf)
- <sup>lxiii</sup> <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/4987/3/TH.M.SNV.FR.2020.89.pdf>
- <sup>lxiv</sup> [http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1334/1/louni\\_s.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1334/1/louni_s.pdf)
- <sup>lxv</sup> <https://www.fao.org/4/w3963f/w3963f0f.htm>
- <sup>lxvi</sup> <https://www.fao.org/4/w3963f/w3963f0f.htm>
- <sup>lxvii</sup> <https://www.fao.org/4/w3963f/w3963f0f.htm>