



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : علوم الاحياء الدقيقة

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et biotechnologie fongique

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Activité antimicrobienne de quelques huiles extraites des graines

Présenté par : LEULMI Boutheina
LEULMI Djihane

Le : 22/06/2025

Jury d'évaluation :

Présidente : Mme LABBANI Fatima-Zohra Kenza (MCA - E N S de Constantine)

Encadrante : Mme LEGHLIMI Hind (MCA - UFM Constantine 1)

Examinatrice : Mme ABDELAZIZ Ouided (MCA - UFM Constantine 1).

Année universitaire
2024 - 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous adressons nos louanges et notre gratitude à ALLAH le Tout-Puissant , qui nous a accordé la force, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail. C'est grâce à Sa guidance que nous avons pu surmonter les défis et arriver au terme de ce parcours.

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance et notre sincère respect à notre encadrante, Madame **LEGHLIMI Hind**, maître de conférences classe A à l'UFM Constantine 1, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement tout au long de ce travail. Sa bienveillance et son exigence ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.*

*Nous exprimons également nos remerciements les plus chaleureux à madame **LABBANI Fatima-Zohra Kenza**, maître de conférences A à l'ENS de Constantine, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury et d'évaluer notre travail avec bienveillance et objectivité.*

*Nos remerciements sincères vont également à Madame **ABDELAZIZ Ouïded** maître de conférences classe A à l'UFM Constantine1, pour avoir accepté d'examiner notre mémoire et pour l'intérêt qu'elle a porté à notre étude.*

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, nous disons merci du fond du cœur .

DÉDICACES

Le voyage n'a pas été court, et le chemin n'était pas bordé de facilités, mais je l'ai fait. Louange à Dieu qui a facilité les débuts et nous a permis d'atteindre les fins par Sa grâce.

Je dédie ce succès à mon âme indulgente. J'ai d'abord commencé avec ambition et j'ai terminé avec succès. Ensuite, à tous ceux qui ont œuvré avec moi pour achever mon parcours universitaire : vous êtes pour moi un soutien intemporel. Avec tout mon amour, je vous offre le fruit de ma réussite et de mon diplôme.

*À ma fierté et mon honneur : mon père -**ALAWA**-*

À celui qui a embelli mon nom avec les plus beaux titres, à celui qui m'a soutenue sans limites, mon premier soutien dans ma vie, ma force et mon pilier après Dieu : je t'ai toujours promis cette réussite, et me voilà ayant tenu ma promesse.

*À ma bien-aimée et ma complice : ma mère - **ZAINAB**-*

Mon premier professeur et l'amie de mes jours. Tu as toujours été ce cœur sincère, cette prière qui m'a accompagnée. Louange à Dieu qui a fait de l'élite des femmes une mère pour moi.

*À mes sources d'inspiration, compagnes de mon cœur, sources de mon énergie et mes guides vers mes plus beaux jours : **mes sœurs**.*

*Et je n'oublie pas mes amis de l'âme et celles qui ont pavé le chemin de mes efforts. À tous ceux qui m'ont encouragée à continuer : je vous suis reconnaissante (**ma cousine et mes amies**).*

LEULMI BOUTHEINA

Dédicace

À mes chers parents, Djamel et Ghania,

Aucun mot ne saurait exprimer toute la gratitude et l'amour que je vous porte. Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux, vos prières murmurées dans l'ombre et votre confiance en moi, même lorsque je doutais de moi-même. C'est à votre force, à votre sagesse et à votre patience que je dois ce chemin parcouru. À vous deux, je dédie ce travail avec tout mon amour, ma reconnaissance éternelle, et l'espoir de rendre un jour un peu de tout ce que vous m'avez donné.

À ma sœur Manel et mon frère Chouaib,

Merci pour votre soutien discret mais toujours présent, vos encouragements silencieux, et votre affection qui m'a portée dans les moments de doute. Votre fierté est pour moi une source de motivation immense.

À toute ma famille,

Merci pour votre amour, vos prières, votre présence constante dans mon cœur, même à distance.

À mes chères amies,

Merci d'avoir été là, dans les moments d'effort comme dans ceux de doute, avec vos mots rassurants, vos sourires sincères et vos éclats de rire qui ont souvent adouci la route. À chacune de vous, je dis merci du fond du cœur pour votre présence, votre écoute, et pour avoir cru en moi.

Leulmi Djihane

Résumé

Dans le cadre de cette étude qui consiste à l'évaluation de l'activité antimicrobienne de quelques huiles extraites des graines, à savoir celles de la nigelle (*Nigella sativa*), de la citrouille (*Cucurbita spp*) et de moringa (*Moringa oleifera*). Ces huiles montrent un potentiel antimicrobien intéressant contre divers pathogènes, expliqué par une composition riche en molécules bioactives, notamment des flavonoïdes, des polyphénols et des acides gras essentiels, qui confèrent à ces huiles des propriétés protectrices et curatives. D'après l'analyse des études actuelles, l'activité antimicrobienne des huiles étudiées est estimée par une étude qualitative (diffusion sur disques et puits) confirmé par une étude quantitative pour la détermination des CMI et des CMB, vis-à-vis des souches bactériennes et fongiques pathogènes. Les résultats ont mis en évidence une efficacité significative contre diverses souches bactériennes et fongiques. Parmi les huiles testées, celle de *Nigella sativa* s'est révélée la plus performante, avec un diamètre d'inhibition de 39 mm contre *Escherichia coli* et une concentration minimale inhibitrice de 0,67 µg/mL contre *Candida albicans*. Ces valeurs, nettement supérieures à celles obtenues avec les antimicrobiens de référence, suggèrent un fort potentiel thérapeutique de cette huile dans le traitement des maladies infectieuses. Cette étude confirme les vertus antimicrobiennes accordées à ces graines. L'éventuelle utilisation de leurs huiles comme alternative naturelle aux antibiotiques de synthèse chimique est également envisageable, en particulier leur rôle dans la diminution des résistances microbiennes.

Mots clés : Huiles des graines, *Nigella sativa*, *Moringa oleifera*, *Cucurbita spp*, activité antimicrobienne, méthodes d'extraction.

Abstract

This study focuses on the evaluation of the antimicrobial activity of some oils extracted from seeds, specifically those of black cumin (*Nigella sativa*), pumpkin (*Cucurbita spp.*), and moringa (*Moringa oleifera*). These oils exhibit promising antimicrobial potential against various pathogens, attributed to their rich composition in bioactive compounds, including flavonoids, polyphenols, and essential fatty acids, which confer protective and therapeutic properties. Based on current research, the antimicrobial activity of the studied oils was assessed through qualitative methods (disk and well diffusion) and confirmed by quantitative analysis for the determination of minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal/fungicidal concentration (MBC/MFC) against pathogenic bacterial and fungal strains. The results revealed significant efficacy against several bacterial and fungal species. Among the tested oils, *Nigella sativa* oil showed the highest performance, with an inhibition zone of 39 mm against *Escherichia coli* and a minimum inhibitory concentration of 0.67 µg/mL against *Candida albicans*. These values, markedly superior to those of standard antimicrobial agents, suggest a strong therapeutic potential for this oil in the treatment of infectious diseases. This study confirms the antimicrobial properties traditionally attributed to these seeds. The potential use of their oils as a natural alternative to synthetic antibiotics is also considered, particularly in reducing microbial resistance.

Keywords : Seed oils, *Nigella sativa*, *Moringa oleifera*, *Cucurbita spp.*, antimicrobial activity, extraction methods.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للميكروبات للزيوت المستخلصة من بعض البذور، وهي بذور الحبة السوداء (*Nigella sativa*)، القرع (*Cucurbita spp*)، والمورينجا (*Moringa oleifera*). وقد أظهرت هذه الزيوت قدرة واعدة في مقاومة مختلف العوامل الممرضة، ويُعزى ذلك إلى تركيبها الغني بالجزيئات النشطة بيولوجيًا، مثل الفلافونويدات، البوليفينولات، والأحماض الدهنية الأساسية، والتي تمنح هذه الزيوت خصائص وقائية وعلاجية واستنادًا إلى الدراسات الحالية، تم تقييم النشاط المضاد للميكروبات من خلال دراسة نوعية (الانتشار على الأقراص وفي الآبار) وأخرى كمية لتحديد التركيز المثبط الأدنى (MIC) والتركيز القاتل الأدنى (MBC) تجاه سلالات بكتيرية وفطرية ممرضة. وقد أظهرت النتائج فعالية ملحوظة ضد عدة سلالات من البكتيريا والفطريات. من بين الزيوت المختبرة، كانت زيت *Nigella sativa* الأكثر فعالية، حيث أظهرت قطر تثبيط بلغ 39 مم ضد *Escherichia coli* وتركيز مثبط أدنى بلغ 0.67 ميكروغرام/مل ضد *Candida albicans*. وتغوق هذه القيم بشكل واضح تلك التي تم الحصول عليها باستخدام المضادات الحيوية والمضادات الفطرية القياسية، مما يشير إلى إمكانية علاجية قوية لهذا الزيت في مكافحة الأمراض المعدية. وتؤكد هذه الدراسة الفوائد المضادة للميكروبات المنسوبة تقليديًا لهذه البذور. كما يُعتبر الاستخدام المحتمل لزيوتها كبديل طبيعي للمضادات الحيوية الكيميائية أمرًا واعدًا، خصوصًا في الحد من مقاومة الميكروبات.

الكلمات المفتاحية: زيوت البذور، *Nigella sativa*، *Moringa oleifera*، *Cucurbita spp*، النشاط المضاد للميكروبات، طرق الاستخلاص.

Liste des abréviations

ADN : Acide déoxyribonucléique

AGMI/AGS : Rapport entre acide gras insaturés (AGMI) /Acide gras saturés (AGS)

AGPI : Acide gras polyinsaturé

AITC : Isothiocyanate d'allyle

ANOVA : *Analysis of Variance ou Analyse de la Variance*

BHT : Butylhydroxytoluène

CAT : Catalase

CMI : Concentration minimale inhibitrice

CO : *Cucurbita oil*

CO₂ : Dioxyde de carbone

DMSO : Dimethylsulfoxyde

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

DW : *Dry weight* : poids sec

EO-NS : Essential oil of *Nigella sativa*

FDA : *Food and Drug Administration.*

FMC : *Food machinery corporation in line*

FSC : Fluides supercritiques

GSH : Glutathion réduit

HE : Huile essentielle

HR : Humidité relative

ISO : Indice de stabilité oxydative

MAE : Extraction assistée par micro-ondes

MO : *Moringa oil*

MPa : Mégapascal

MRSA : Méthicilline

NK : *Natural Killers*

NO : *Nigella oil*

NS : *Nigella sativa*

NTT : *nusa tenggara timur*

PDA : *Potato dextrose agar*

PGO : Huile des graines de grenade (*Pomegranate Seed Oil*)

RSO : Espèces Réactives de l'Oxygène

SFE : Extraction par fluide supercritique

SOD : Superoxyde dismutase

TQ : Thymoquinone

Tr/min : Tour par minute

UFC : Unités Formant Colonie

ZI : Zone d'inhibition

Listes des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
01	Classification de <i>Nigella sativa</i> (Butt et Sultan, 2010)	4
02	Composition nutritionnelle des graines de Nigelle (<i>Nigella sativa</i>) (Tanwar et Goyal, 2021)	5
03	Classification de <i>Cucurbita</i> (citrouille) (Valdez-Arjona et Ramírez-Mella, 2019)	9
04	Valeur nutritive des graines de citrouille (pour 100 g) selon différents chercheurs (Dotto et Chacha, 2020).	10
05	Classification taxonomique de <i>M. oleifera</i> (Kumar et al, 2021)	13
06	La composition nutritionnelle des graines entières de <i>Moringa oleifera</i> (Saa et al, 2019).	14
07	Caractéristiques des bactéries examinées	26
08	Caractéristiques des champignons examinées	27
09	Les diamètres d'inhibition de la croissance bactérienne (en mm) (Zouirech et al, 2022)	36
10	Activité antimicrobienne exprimée en concentrations minimales inhibitrices (µg/mL), des huiles des graines de courge (Sener et al, 2007)	42
11	Activité antibactérienne des graines, de l'huile des graines et des extraits des résidus de <i>Moringa Oleifera</i> (MO) (Ruttarattanamongkol et Petrasch, 2015).	43
12	Les composés actifs des huiles des graines étudiées	47

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
01	Différentes formes de la nigelle : les graine (a) (Paarakh, 2010) et les fleurs (b) de <i>Nigella sativa</i> (Gürel, et Polat, 2024)	3
02	Différentes formes de citrouilles soudanaises locales (fruits et graines) (Ali et al, 2020)	8
03	Différentes formes de <i>Moringa oleifera</i> : a) L'arbre, b) les graines, c) les amandes des graines, d) l'huile des graines (Fu et al, 2021)	12
04	Méthode de pressage à froid (Geramitcioski et al, 2018)	17
05	Illustration schématique de la méthode d'hydrodistillation (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).	18
06	Modèle schématique d'extraction assistée par micro-ondes (Shahid et al, 2016).	20
07	Modèle schématique d'extraction par fluides supercritiques (Shahid et al, 2016).	22
08	Huiles extraites des graines : a) Moringa, b) Nigelle, c) Citrouille (Fu et al, 2021 ; Alrashidi et al, 2022 ; Durgut, 2025).	25
09	Le repiquage selon la méthode des stries (Bouчекouk et al, 2018)	28
10	La méthode de diffusion sur disque (Correa et al, 2020).	30
11	La méthode de diffusion dans des puits creusé sur milieu gélosé (Benzohra, 2019).	31
12	La méthode de microdilution sur milieu liquide (Kadeřábková et al, 2024).	33
13	Activité antibactérienne <i>in vitro</i> de l'huile extraite des graines <i>Nigella sativa</i> (Zouirech et al, 2022)	35
14	Concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'huile extraite des graines de nigelle <i>Nigella sativa</i> (Zouirech et al, 2022)	37
15	Activité antifongique de l'huile extraite des graines de <i>Nigella sativa</i> (Zouirech et al, 2022)	37
16	Activité antifongique et CMI des huiles des graines de nigelle <i>Nigella sativa</i> (Zouirech et al, 2022).	38
17	Activité antimicrobienne de l'huile des graines de <i>Nigella sativa</i> (Harzallah et al, 2012)	39
18	Les activités antibactériennes de l'huile des graines de citrouille (Polyzos et al, 2024).	40
19	Activité antifongique de l'huile des graines de citrouille (Polyzos et al, 2024)	41
20	Activité antifongique de l'huile des graines de moringa <i>M.furfur</i> (Korassa et al, 2023)	44

Table des Matières

I. Remerciements	
II. <i>Dédicaces</i>	
III. Résumé	
IV. Abstract	
V. الملخص	
VI. Liste des abréviations	
VII. Liste des tableaux	
VIII. Liste des figures	
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie 1 : Revue bibliographique	
Chapitre I : Données sur les graines	
I.1. La Nigelle (<i>Nigella sativa</i>)	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2. Historique	3
I .1.3. Classification	4
I.1.4. Composition nutritionnelle	5
I.1.5. Les bienfaits de la Nigelle	6
I.1.6. Activité antimicrobienne de l'huile de nigelle	7
I.2. La citrouille (<i>Cucurbita spp</i>)	8
I.2.1. Définition	8
I.2.2. Historique	9
I.2.3. Classification	9
I.2.4. Composition nutritionnelle	10

I.2.5. Les bienfaits de la citrouille	11
I.2.6. Activité antimicrobienne de l'huile de citrouille	11
I.3. Le Moringa (<i>Moringa oleifera</i>)	12
I.3.1. Définition	12
I.3.2. Historique	13
I.3.3. Classification	13
I.3.4. Composition nutritionnelle	14
I.3.5. Les bienfaits de <i>Moringa</i>	14
I.3.6. Activité antimicrobienne de <i>Moringa</i>	15
Chapitre II : Méthodes d'extraction des huiles des graines	
II.1. Méthodes traditionnelles	16
II.1.1. Pressage ou expression à froid	16
II.1.1.1. Avantages	17
II.1.1.2. Inconvénients	17
II.1.2. Hydrodistillation	18
II.1.2.1. Avantages	18
II.1.2.2. Inconvénient	19
II.2. Méthodes innovantes	19
II.2.1. Extraction assistée par micro-ondes (MAE)	19
II.2.1.1. Avantages	20
II.2.1.2. Inconvénients	21
II.2.2. Extraction par fluides supercritiques	21
II.2.2.1. Avantages	22
II.2.2.2. Inconvénients	23

Partie 2 : Protocole expérimental	
1. Matériel végétal	24
1.1. Présentation des graines	24
1.2. Extraction des huiles	25
2. Etude de l'activité antimicrobienne	26
2.1. Les microorganismes examinés	26
2.1.1. Réactivation des souches microbiennes testées	28
2.1.2. Préparation de l'inoculum	28
2.1.3. Ensemencement	29
2.2. Etude qualitative des huiles extraites	29
2.2.1. Méthode de diffusion sur disque	29
2.2.2. Méthode de diffusion dans des puits	30
2.2.3. Incubation	31
2.2.4. Evaluation de l'activité antimicrobienne	31
2.3. Etude quantitative des huiles extraites	32
2.3.1. Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)	32
2.3.2. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)	33
2.3.3. Détermination du rapport CMB/CMI	33
Partie 3 : Discussion générale	
1. Activité antimicrobienne des huiles des graines étudiées	35
1.1. Huile des graines de nigelle	35
1.2. Huile des graines de citrouille	39
1.3. Huile des graines de moringa	42
2. Comparaison de l'efficacité des huiles étudiés	44
2.1. Activité antimicrobienne des huiles d'autres graines	45

2.2. Applications potentielles des huiles des graines à activité antimicrobienne	47
3. Autres activités biologiques des huiles extraites des graines étudiées	49
3.1. Activité anticancéreuse	49
3.2. Activité antioxydante	49
3.3. Activité antidiabète	50
Conclusion et perspectives	53
Références bibliographiques	
Annexes	

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement, la chimiothérapie fait face le problème de la résistance des bactéries pathogènes aux antimicrobiens qui est devenu complexe, évolue rapidement et menace les fondements mêmes de la médecine moderne et des soins de santé **(Ajulo et Awosile, 2024)**. De nombreuses recherches pharmacologiques ont été menées sur le règne végétal comme source d'agents thérapeutiques. Les plantes médicinales constituent la pierre angulaire des systèmes de soins de santé dans de nombreuses sociétés. La sauvegarde des savoirs et des pratiques traditionnelles liés à ces ressources végétales s'inscrit dans une stratégie clé visant à préserver la biodiversité et favoriser la découverte de nouveaux agents thérapeutiques **(Alviano et Alviano, 2009)**. Certaines de ces recherches se sont tournées vers les graines. Parmi celles-ci, on trouve les graines de *Nigella sativa* (la nigelle ou cumin noir), de *Cucurbita pepo* (la citrouille) et de *Moringa oleifera* (moringa) qui se distinguent par leur potentiel bioactif. En effet, les graines sont reconnues comme une source précieuse d'huile, riche en composés bioactifs aux propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoire **(Dimić et al, 2022)**. Les huiles issues de ces graines contiennent des substances efficaces tels que les acides gras essentiels, les tocophérols, les phytostérols, les thymoquinones, ainsi que des composés phénoliques **(Gurel et Polet, 2024 ; Shajan et al, 2024 ; Chhikara et al, 2021)**.

Par ailleurs, la nigelle, est une plante médicinale largement utilisée à échelle mondiale. Elle est très prisée dans divers systèmes de médecine traditionnelle. Son huile possède une longue histoire d'utilisation dans des systèmes de soins ainsi que dans l'alimentation. Parmi ses principales molécules bioactives, la thymoquinone est particulièrement reconnue pour ses effets antimicrobiens et antioxydants **(Ahmad et al, 2013)**. De même, la citrouille, un des légumes les plus consommés au monde, est récemment reconnue comme un aliment fonctionnel. Plusieurs recherches récentes ont mis en évidence les bienfaits de l'huile des graines de citrouille pour lutter contre des maladies telles que l'hypertension, le diabète et le cancer. Elle est également dotée de propriétés antibactériennes et antioxydantes. Grâce à la présence de composés bioactifs naturels comme les caroténoïdes, les tocophérols et les stérols. Les produits dérivés de la citrouille exhibent un large spectre d'activités biologiques, confirmé par des études *in vivo* **(Montesano et al, 2018)**. L'huile extraite des graines de Moringa, souvent appelée "huile de Ben", est reconnue pour sa qualité nutritionnelle exceptionnelle et ses diverses propriétés biologiques. Riche en acides gras mono-insaturés, notamment en acide oléique, ainsi qu'en antioxydants naturels tels que les tocophérols et les phytostérols, cette huile possède des effets bénéfiques pour la santé humaine **(Leone et al,**

2016). Elle a démontré des activités antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, justifiant son utilisation traditionnelle dans le traitement des infections cutanées, des troubles digestifs et des inflammations (**Anwar et al, 2007**). De plus, sa résistance à l'oxydation et sa stabilité en lui font une huile précieuse non seulement en nutrition, mais également en cosmétique et en pharmacie.

Particulièrement, les lipides font partie intégrante de la nutrition humaine depuis des temps anciens, et leur lien avec la santé est bien reconnu. Par ailleurs, le rôle des graines oléagineuses dans l'économie mondiale est incontestable. C'est pourquoi les méthodes d'extraction de ces huiles suscitent un grand intérêt. Parmi ces méthodes figurent les techniques traditionnelles tels que la pression à froid et l'hydrodistillation et les méthodes innovantes représentées par l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction par fluides supercritiques. Chaque méthode trouve ses limites en fonction de ses propres avantages et inconvénients (**Djilani et Dicko, 2011**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude de recherche et constitue une contribution à la valorisation des graines. Elle consiste en une investigation et évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles des graines de Nigelle, de Citrouille et de Moringa. L'objectif principal de ce travail vise l'évaluation de l'efficacité des huiles extraites de ces graines vis à vis des microorganismes pathogènes et qui peuvent avoir le caractère de la résistance à l'égard des antimicrobiens commercialisés sur le marché.

De ce fait, un plan est adopté pour atteindre cet objectif et réparti en trois grandes parties :

- La première partie constitue une revue bibliographique, portant sur les caractéristiques des graines étudiées ainsi que sur les différentes méthodes d'extraction des huiles.
- La deuxième partie décrit la méthodologie expérimentale comprenant les protocoles de l'extraction de l'huile par pression à froid, les tests de l'évaluation de l'activité antimicrobienne par les méthodes qualitatives sur milieu gélosé (méthodes des disques et des puits) et la méthode quantitative sur milieu liquide (méthode de microdillution) pour la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).
- Dans la troisième partie, une discussion générale pour analyser et évaluer les résultats des recherches consultées. L'étude est conclue par une synthèse des principaux acquis ainsi que par des perspectives proposées pour approfondir et améliorer ce travail.

Partie 1 : Revue bibliographique

Chapitre I : Données sur les graines

Depuis des siècles, les plantes sont utilisées pour leurs vertus curatives. Aujourd'hui, la science confirme cette tradition : environ 80 % des médicaments proviennent des plantes médicinales. Ces dernières possèdent une large gamme d'activités biologiques, allant de la lutte contre les microbes à la suppression des tumeurs. L'activité antimicrobienne des plantes est particulièrement intéressante dans divers domaines : tels que la conservation des aliments, la pharmacie et les thérapies naturelles (Abd El-Aziz et Abd El-kalek, 2011). Parmi ces plantes, on s'intéresse à l'étude de quelques graines.

I.1. La Nigelle (*Nigella sativa*)

I.1.1 Définition

La graine noire, ou cumin noir (*Nigella sativa*), est une plante de la famille des *Ranunculaceae* dont les graines sont utilisées depuis l'Antiquité comme épice et conservateur alimentaire. En médecine traditionnelle, elle est employée par diverses civilisations pour traiter et prévenir de nombreux problèmes de santé, ainsi que pour améliorer le bien-être général. C'est l'une des plantes les plus étudiées à ce jour (Butt et Sultan, 2010). Ces graines sont de petites dicotylédones, caractérisées par leur forme triangulaire et anguleuse, ainsi que leur surface réticulée et tuberculeuse. Elles mesurent entre 2 et 3,5 mm de long et 1 à 2 mm de large. Leur enveloppe extérieure est noire, tandis que l'intérieur est blanc (figure 1). Elles dégagent une légère odeur aromatique et ont un goût amer (Paarakh, 2010).

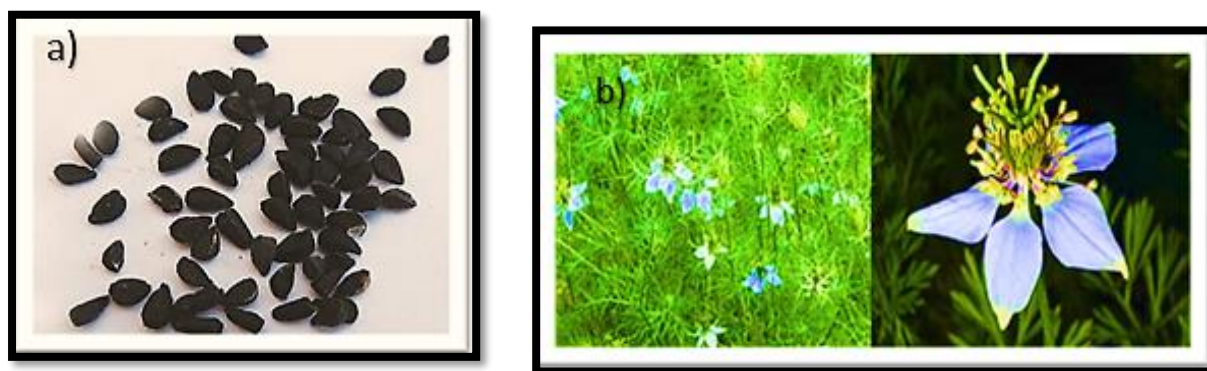


Figure 1 : Différentes formes de la nigelle : (les graines (a) (Gürel et Polat, 2024) et les fleurs (b) (Paarakh, 2010)).

I.1.2. Historique

Nigella sativa, une plante possède un riche héritage historique et religieux. Ces graines noires, sources de principes actifs, ont été utilisées à travers les âges pour leurs vertus curatives

exceptionnelles. Dans l'Antiquité, les médecins égyptiens et grecs prescrivaient déjà ces graines pour traiter diverses affections, notamment les maux de tête, la congestion nasale, les douleurs dentaires et les vers intestinaux. La graine noire est mentionnée dans la Bible comme le cumin noir curatif, et elle était connue sous les noms de *Melanthion* par Hippocrate et Dioscoride, et de *Gith* par Pline. Dans la tradition islamique, le prophète Mohammed « que dieu le bénisse et lui accorde la paix » a attribué des pouvoirs de guérison à la graine noire, renforçant ainsi son importance dans la médecine traditionnelle (Slem, 2005). La *Nigella sativa*, vénérée sous le nom arabe "*Habbah Al-Baraka*" signifiant richesse infinie, est une plante dont les graines noires caractéristiques lui ont valu divers noms locaux, tels que "cumin noir" en français, "*kalonji*" en hindi, et "*çörek otu*" en turc, ce dernier soulignant son usage traditionnel en boulangerie. Originaires d'Asie de l'Ouest et de la région méditerranéenne, sa culture s'est étendue à travers le monde, notamment en Afrique du Nord, en Inde et en Türkiye, qui sont considérés comme ses terres secondaires d'origine. Aujourd'hui, elle est cultivée dans de nombreux pays d'Asie, du Moyen-Orient et d'Europe, y compris l'Arabie Saoudite, la Syrie et la Türkiye (Gürel et Polat, 2024).

I.1.3. Classification

Nigella sativa, une espèce appartenant au genre *Nigella* et à la famille des *Ranunculaceae*, est une plante à fleurs (Division *Magnoliophyta*) classée parmi les dicotylédones (Classe *Magnoliopsida*), comme illustré par sa taxonomie complète dans le tableau 1 (Butt et Sultan, 2010).

Tableau 1 : Classification de *Nigella sativa* (Butt et Sultan, 2010).

Rang	Classification
Règne	Plantae-Plantes
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i> -Plantes vasculaires
Super -division	<i>Spermatophyta</i> - plantes à graines
Division	<i>Magnoliophyta</i> - Plantes à fleurs
Classe	<i>Magnoliopsida</i> - Dicotylédones
Sous-classe	<i>Magnoliidae</i>
Ordre	<i>Ranunculales</i>

Famille	<i>Ranunculaceae</i> - Famille des <i>Renconculacées</i>
Genre	<i>Nigella L.</i> <i>Nigelle</i>
Espèce	<i>Nigella sativa L.</i> (Cumin noir)

I.1.4. Composition nutritionnelle

Les graines de Nigelle se distinguent par leur profil nutritionnel exceptionnel. Elles sont particulièrement riches en huile (32-35%), réputée pour ses bienfaits thérapeutiques. Elles offrent également une source significative de protéines (26,7%), de glucides (25%), de fibres (8,4%) et de minéraux (4,8%) (tableau 2). De plus, elles apportent une variété de micronutriments, tels que des vitamines et des composés bioactifs, l'huile extraite des graines de Nigelle est principalement constituée d'huile fixe (98,2-99,9%) et d'une petite fraction d'huile volatile (0,1-1,8%) (Tanwar et Goyal, 2021).

Tableau 2 : Composition nutritionnelle des graines de Nigelle (*Nigella sativa*) (Tanwar et Goyal, 2021).

Matière grasse (%)	Protéine (%)	Cendres (%)	Glucides Totaux (%)	Fibres (%)	Pays de collecte
28.48 40.35	22.6-26.7	4.41-4.86	32.7-40	-	Tunisie-Iran
31.72	23.07	5,29	34,91	-	Téhéran- (Iran)
34.8	20.8	3,7	33,7	-	Egypte
31.16	22.80	4,20	-	-	Pakistan
38.2	20.9	4.04	31.9	-	Ryad, Arabie Saoudite
21.67	24.05	4.34	39.04	5.5	Pakistan
39.1-42.5	19.9-24,1	4.2-4.8	-	7.3-12.9	Inde Syrie, Turquie
36.8-38.4	19.1-20.3	3.8-4.6	31.2-33.1	TDF (26.5-36.8)	Yémen
37.33	20.2	6.72	30.52	-	Iran
32.26	19.19	6.82	35.04	-	Malaisie occidentale

Les graines de cumin noir regorgent de nutriments essentiels, comprenant des glucides tels que le glucose, le rhamnose, le xylose et l'arabinose, ainsi que des protéines, des lipides, des acides aminés essentiels, une variété de minéraux (magnésium, fer, phosphore, cuivre,

calcium, zinc, sélénium, sodium et manganèse) et des vitamines (B1, B2, B3, B6, B9, C et A). L'huile fixe, représentant 30 à 40 % de la graine, est riche en acides gras insaturés (50 à 60 %), notamment l'acide linoléique, le β -sitostérol et l'acide oléique. De plus, les graines contiennent 0,4 à 0,45 % d'huile essentielle, dont les principaux composants sont la thymoquinone, la dihydrothymoquinone, le carvacrol, le p-cymène, l' α -thujène, le thymol, le trans-anéthole, l' α -terpinène, l' α -pinène et le β -pinène. Il est important de noter que la concentration de ces nutriments peut varier en fonction du climat, des conditions environnementales et des méthodes de récolte spécifiques à la région de culture (**Gürel, et Polat, 2024**).

I.1.5. Les bienfaits de la Nigelle

En Islam, il est considéré comme l'un des meilleurs remèdes curatifs. Le prophète Muhammad « paix et bénédictions sur lui » a recommandé son usage en déclarant : « Utilisez la graine noire, car elle constitue un remède contre toutes les maladies, à l'exception de la mort » (Ata-ur-Rehman, 1985 ; Boukhari, 1985) (**Butt et Sultan, 2010**). Ses bienfaits sur la santé sont nombreux grâce à sa richesse en composants nutritionnels et bioactifs :

- **Effets Antioxydants** : Protège les cellules du stress oxydatif en réduisant les radicaux libres et en augmentant l'activité des enzymes antioxydantes (**Hannan et al, 2021**).
- **Effets immunomodulateurs** : Elle influence positivement le système immunitaire en interagissant avec les modulateurs immunitaires, renforçant ainsi les défenses naturelles (**Butt et Sultan, 2010**).
- **Activité anticancéreuse** : Grâce à son action sur l'apoptose, elle s'avère efficace contre plusieurs types de cellules cancéreuses. (**Butt et Sultan, 2010**).
- **Effets antidiabétiques** : Elle favorise la libération d'insuline, protège les cellules bêta du pancréas, réduit le stress oxydatif et diminue la production excessive de glucose (**Butt et Sultan, 2010**).
- **Effets Anti-Obésité et Anti-Dyslipidémiques** : Régule le métabolisme lipidique, réduisant ainsi les risques des maladies cardiovasculaires et métaboliques. (**Hannan et al, 2021**).
- **Valeur nutritionnelle élevée** : Sa composition riche en acides gras polyinsaturés (AGPI), phytostérols et antioxydants renforce son potentiel comme ingrédient clé dans des stratégies alimentaires visant à améliorer la santé humaine (**Butt et Sultan, 2010**).

-Protection contre les maladies neurologiques : Effet neuroprotecteur contre les maladies neurodégénératives (Alzheimer et Parkinson), l'anxiété, la dépression et les lésions cérébrales. (Hannan et al, 2021).

I.1.6. Activité antimicrobienne de l'huile de nigelle

Au cours des vingt dernières années, de nombreuses études ont été réalisées pour évaluer les effets de l'huile des graines de cumin noir sur différents systèmes physiologiques, tant *in vivo* qu'*in vitro*. On a constaté que les graines de cumin noir (*Nigella sativa*) présentent une activité antibactérienne notable, notamment contre les bactéries Gram-positives *Staphylococcus aureus* et *Listeria monocytogenes*, ainsi que contre la bactérie Gram-négative *Escherichia coli* (Abo-Neima et al, 2023). Des études approfondies ont mis en évidence les puissantes propriétés antifongiques et antimicrobiennes de l'extrait des graines de cumin noir, de son huile essentielle et du miel des fleurs contre un large éventail de micro-organismes. L'huile essentielle s'est avérée particulièrement efficace contre les champignons *Colletotrichum gloeosporoides* et *Penicillium digitatum*, tandis que l'extrait des graines et le miel des fleurs ont démontré une activité remarquable contre *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus*, *Mucor rammanianus* et *Candida albicans*. Il est à noter que l'activité antimicrobienne de ces produits naturels est plus prononcée contre les bactéries Gram-positives que contre les bactéries Gram-négatives, ce qui souligne leur potentiel en tant qu'agents thérapeutiques naturels (Gürel et Polat, 2024).

1.2. La citrouille (*Cucurbita spp*)

1.2.1. Définition

La citrouille (*Cucurbita spp*) est considérée comme une véritable merveille parmi les légumes. Appréciée au sein de la famille des *cucurbitacées*, elle se distingue par ses rendements élevés, sa grande capacité de conservation et sa richesse nutritionnelle (**Dhiman et al, 2009**). La citrouille est une plante alimentaire et médicinale souvent méconnue et peu exploitée. Ce légume exceptionnel offre à la fois des bienfaits nutritionnels et des propriétés thérapeutiques (**Constantin et al, 2024**). Une graine de citrouille, également appelée "*pepita*", signifie "petite graine de courge " (**Tanwar et Goyal, 2021**). Le terme citrouille trouve son origine dans le mot grec *Pepon*, signifiant « gros melon ». Il a été modifié en *Pompon* par les Français, puis adapté en *Pompion* par les Anglais (**Dhiman et al, 2009**). Elles sont triées selon leur taille et leur couleur, puis peuvent être grillées, salées, enrobées de sucre ou encore employées comme épices ou arômes pour améliorer l'attrait des produits alimentaires enrichis sur le marché (**Tanwar et Goyal, 2021**). Leur texture est tendre et leur goût riche évoque la noisette. La plupart des graines de citrouille sont enveloppées d'une coque blanche, mais certaines variétés produisent des graines sans coque (figure 2) (**Dhiman et al, 2009**).

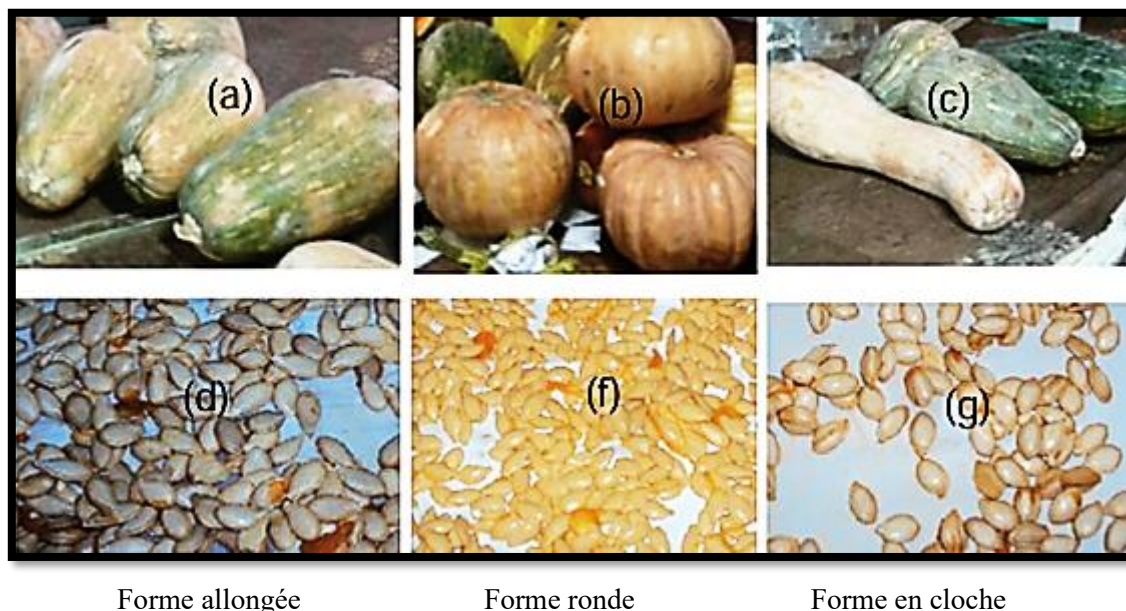


Figure 2 : Différentes formes de citrouilles soudanaises locales (fruits « a, b, c » et graines « d, f, g ») (**Ali et al, 2020**).

I.2.2. Historique

La citrouille, révèle une histoire riche, débutant en Amérique du Nord où elle fut domestiquée il y a plus de 10 000 ans au Mexique et 4 000 ans aux États-Unis, avec les premières preuves de son existence datant de 1492, confirmées par des restes découverts dans le sud-ouest américain. Son voyage à travers l'histoire se poursuit avec Christophe Colomb qui la note lors de sa première expédition, suivi de Jacques Cartier au Canada et d'explorateurs en Floride, avant qu'elle ne s'établisse en Europe, avec une production documentée en Styrie dès 1697. La culture pour l'huile de graines gagne en popularité aux XVIII et XIX siècles, avec des pratiques traditionnelles évoluant vers la sélection de variétés à graines nues à la fin du 19^{ème} siècle, et une culture locale en Styrie depuis 1915. La sélection systématique, débutée dans les années 1930, a permis d'améliorer la production d'huile, avec des programmes modernes axés sur la résistance aux maladies, le rendement, et la qualité nutritionnelle, témoignant de l'évolution constante de cette culture à travers les âges (**Tanwar et Goyal, 2021**).

I.2.3. Classification

Les citrouilles appartiennent à la famille des Cucurbitacées (*Cucurbitaceae*) et sont classées en *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo*, *Cucurbita mixta* et *Cucurbita moschata*, en fonction de la forme et de la texture de leur tige (tableau 3) (**Hussain et al, 2021**).

Tableau 3 : Classification de *Cucurbita* (citrouille) (**Valdez-Arjona et Ramírez-Mella, 2019**).

Régne	<i>Plantae</i>
Embranchement	<i>Tracheophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Cucurbitales</i>
Famille	<i>Cucurbitaceae</i>
Genre	<i>Cucurbita L</i>
	<i>Argyosperma</i>
	<i>Digitata</i>
	<i>Ficifolia</i>
	<i>Foetidissima</i>
Espèce	<i>Maxima</i>
	<i>Moschata</i>
	<i>Okeechobensis</i>
	<i>Plamata</i>
	<i>pepo</i>

1.2.4. Composition nutritionnelle

Les graines de citrouille sont riches en nutriments essentiels et en ingrédients fonctionnels qui jouent un rôle clé dans la prévention des maladies et la promotion de la santé (**Dotto et Chacha, 2020**). Ces graines, qui constituent 3,1 % du poids du fruit, offrent un profil nutritionnel remarquable (tableau 4). Leur richesse en protéines (33 %), notamment en acides aminés soufrés, combinée à de faibles niveaux d'acide phytique et d'inhibiteurs de trypsine, les rend particulièrement intéressantes pour la santé. Elles sont également une excellente source de minéraux essentiels tels que le magnésium, le fer, le zinc, le phosphore, le potassium, le sélénium, le manganèse et le cuivre, pour un adulte, moins de 400 g de graines de citrouille couvrent les besoins quotidiens en protéines et minéraux, sauf calcium et sodium (**Dhiman et al, 2009**), la citrouille est une source nutritionnelle diversifiée, offrant une multitude de composés bioactifs. Elle contient des fibres, des protéines, des minéraux, des stérols, des polyphénols (dont les acides phénoliques), des flavanones et des xanthophylles. Parmi ses autres composés bénéfiques figurent la vitamine C, les tocophérols, les carotènes, la zéaxanthine et la lutéine, elle est également riche en acides gras, notamment l'acide linoléique, l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique. Ces graines sont une excellente source d'acides aminés essentiels, tels que la lysine, le tryptophane, la tyrosine et la méthionine (**Shajan et al, 2024**).

Tableau 4 : Valeur nutritive des graines de citrouille (pour 100 g) (**Dotto et Chacha, 2020**).

Nutriment	Amin et al, 2019 (base sèche)	Rezig et al, 2019 (base humide)
Humidité (mg)	56,74	6,96
Cendres (kl)	3,54	3,47
Energie (mg)	311,54	-
Glucides (mg)	5,18	-
Sucres totaux (mg)	9,73	1,15
Protéines (mg)	21,31	40,00
Fibres totales (mg)	23,45	35,53
Acide ascorbique (mg)	15,00	-
Sodium (mg)	1,35	189,91
Potassium	434,71	471,70
Fer (mg)	6,02	7,07

Calcium (mg)	4,00	44,92
Zinc (mg)	18,78	8,42
Phosphore (mg)	0,74	1471,24
Cuivre (mg)	0,31	89,84
Manganèse (mg)	1,35	3,93
Magnésium (mg)	4,35	527,85

(-) : données non disponibles. Certaines données ont été converties pour être exprimées en mg/100 g.

I.2.5. Les bienfaits de la citrouille

- L'avantage principal de l'huile des graines de citrouille est sa capacité à prévenir et réduire les problèmes de prostate (**Abd El-Aziz et Abd El-Kalek, 2011**).
- Inhibition d'une variété de microorganismes pathogènes (bactéries, champignons). (**Jacobo-Valenzuela et al, 2011**).
- Les graines de citrouille, riches en phytoestrogènes, pourraient aider à prévenir et traiter le cancer du sein (**Patel, 2024**).
- Réduction du cholestérol et des triglycérides (**Jacobo-Valenzuela et al, 2011**).
- L'huile des graines de citrouille, riche en composés anti-inflammatoires, pourrait soulager l'arthrite et réduire l'inflammation articulaire (**Patel, 2024**).
- Renforcement du système immunitaire grâce aux polysaccharides. (**Jacobo-Valenzuela et al, 2011**).

I.2.6. Activité antimicrobienne d'huile de citrouille

Les graines de citrouille sont très nutritives, produisent une huile de bonne qualité reconnues par leurs propriétés antimicrobiennes, ont déjà prouvé leur efficacité en laboratoire (**Abd El-Aziz et Abd El-Kalek, 2011**). Ainsi, la capacité antioxydante de l'huile de graines représente un indicateur innovant et essentiel pour l'évaluation de la qualité de l'ISO (Indice de stabilité oxydative) ainsi que pour la détermination de sa durée de conservation (**Arslan et al, 2017**). L'extraction de l'huile de pépins de courge a permis de mettre en évidence sa richesse en composés polyphénoliques ainsi que sa puissante activité antioxydante (**Rexhepi, 2020**). La dégradation des produits alimentaires au cours du stockage constitue un défi majeur pour le secteur agroalimentaire. Les micro-organismes impliqués provoquent la détérioration des denrées et raccourcissent leur durée de conservation. Au cours des dix dernières années, les industries alimentaires et cosmétiques ont entrepris de limiter l'emploi de conservateurs chimiques, en réponse à la demande grandissante de solutions naturelles dotées d'une activité antimicrobienne (**Mokhtar et al, 2021**).

I.3. Le Moringa (*Moringa oleifera*)

I.3.1. Définition

Moringa oleifera, aussi appelé « arbre de vie » ou « arbre miracle », est une plante herbacée précieuse en raison de ses nombreux bienfaits, tant médicaux que non médicaux (Pareek et al, 2023). Le moringa, également appelé arbre à raifort, mulangay, mlonge ou arbre à baguettes, originaire des contreforts sub-himalayens du nord-ouest de l'Inde, cet arbre de petite taille appartient à la famille des *Moringaceae* et s'est largement répandu à travers le monde. Reconnu pour ses nombreuses vertus thérapeutiques, *Moringa oleifera* est particulièrement apprécié pour son efficacité dans le traitement de diverses maladies et affections chroniques, lui valant le surnom « arbre miracle ». Dans ces régions, il fait partie intégrante de l'alimentation quotidienne, consommé comme un légume. Grâce à ses multiples applications, cette plante a suscité un grand intérêt scientifique, notamment pour l'étude des composés bioactifs présents dans ses différentes parties. Cela en fait un élément clé de la phytothérapie moderne (Maryam et Manzoor, 2023). Les graines de *Moringa oleifera* sont de forme globuleuse et mesurent environ 1 cm de diamètre. Elles présentent une structure triangulaire avec un poids moyen d'environ 0,3 g. Dotées de trois ailes s'étendant de la base à l'apex, elles mesurent entre 2 et 2,5 cm de long et 0,4 à 0,7 cm de large. L'amande constitue 70 % à 75 % de leur poids total (figure 3) (Leone et al, 2016).

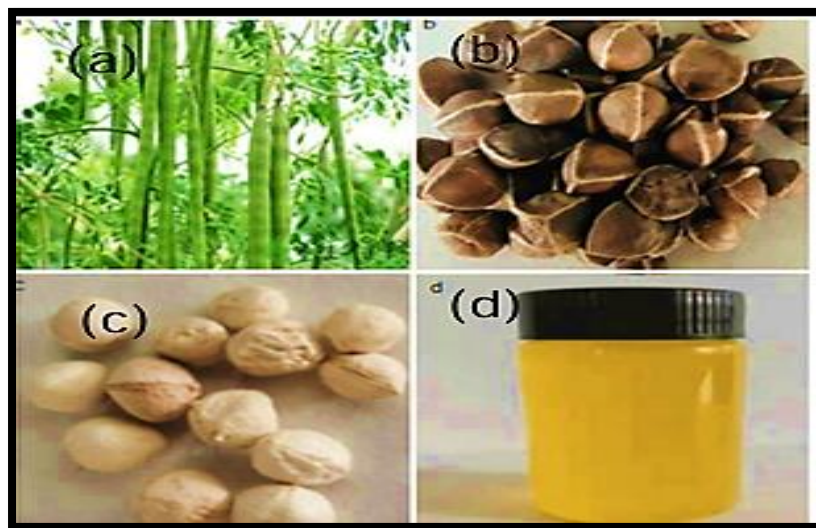


Figure 3 : Différentes formes de *Moringa oleifera* : a) L'arbre, b) les graines, c) les amandes des graines, d) l'huile des graines (Fu et al, 2021).

I.3.2. Historique

Moringa oleifera est présent dans le monde entier, mais son origine naturelle se trouve en Inde, en Arabie et dans les Indes orientales. Il est répandu en Asie, en Afrique, dans les Caraïbes, en Amérique latine, dans les îles du Pacifique, en Floride, à Madagascar, en Amérique centrale, à Cuba, aux Philippines, en Éthiopie et au Nigeria. Son histoire montre qu'il a été introduit de l'Inde vers l'Afrique, l'Afrique du Sud-Est et les Philippines depuis l'Antiquité. Cet arbre caducifolié prospère dans les régions tropicales et subtropicales, où la température oscille entre 25 et 35 °C. Il pousse idéalement à l'abri du soleil direct, sans excès d'eau, et préfère un sol légèrement acide à alcalin. Il commence à fructifier entre 6 et 8 mois après sa plantation. Sur le plan commercial, *M. oleifera* est cultivé dans plusieurs pays, notamment en Afrique, au Mexique, à Hawaï et en Amérique du Sud. Toutefois, la composition nutritionnelle de l'arbre varie selon les conditions du sol propres à chaque région (Pareek et al, 2023).

I.3.3. Classification

Moringa oleifera, appartenant au règne *Plantae* et classée dans l'ordre des *Capparales*, est une plante de la famille des *Moringaceae* (tableau 5), caractérisée par sa classification en tant que *Magnoliopsida* au sein de la Division *Magnoliophyta* (Kumar et al, 2021)

Tableau 5 : classification taxonomique de *M. oleifera* (Kumar et al, 2021).

Rang	Classification
Règne	Plantae
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Super -division	<i>Spermatophyta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Dilleniidae</i>
Ordre	<i>Capparales</i>
Famille	<i>Moringaceae</i>
Genre	<i>Moringa</i>

Espèce	<i>Oleifera</i>
--------	-----------------

1.3.4. Composition nutritionnelle

Toutes les parties de *Moringa*, y compris les graines, les gousses, les feuilles et les fleurs, sont riches en nutriments et en composés bioactifs. La plante contient des polyphénols, des flavonoïdes, des glucosinolates, des alcaloïdes, des terpénoïdes, des glycosides, des acides ascorbiques, des acides phénoliques et des caroténoïdes. *Moringa oleifera* est une excellente source de vitamines, de minéraux, de protéines et d'acides aminés essentiels (méthionine, tryptophane, lysine et cystéine). Ses feuilles sont particulièrement riches en vitamines A, B (B1, B2, B3) et C, ce qui en fait un aliment très nutritif adapté à la consommation humaine (Chhikara et al, 2021). Les graines de *Moringa oleifera* sont une ressource précieuse pour des applications alimentaires et non alimentaires (tableau 6). Elles se distinguent par leur teneur élevée en acides gras monoinsaturés, un rapport AGMI/AGS favorable, ainsi que la présence de stérols, de tocophérols et de protéines riches en acides aminés sulfatés (Leone et al, 2016). Ces graines contiennent entre 9,17 % et 53,36 % de glucides. Les fibres représentent environ 24 % du poids sec des graines non décortiquées et 3 % des graines décortiquées. Leurs teneurs en glucose (2,57 g/100 g dw), en fructose (0,03 g/100 g dw) et en saccharose (2,91 g/100 g dw) sont faibles par rapport à d'autres plantes. Ainsi, elles conviennent à l'alimentation des diabétiques (Saa et al, 2019).

Tableau 6 : la composition nutritionnelle des graines entières de *Moringa oleifera* (Saa et al, 2019).

Constituants	Mbah et al (2012)	Abiodun et al (2012)	Ljartimi et al (2013)	Bridgemohnan et al (2014)	Compaoré et al (2011)
Humidité (%)	2.1	6.8	4.7	10.6	5.4
Cendres (%)	5.0	2.6	4.1	4.8	3.7
Fibres	4.7	1.4	7.7	5.0	2.6
Lipides	43.6	30.6	45.8	13.4	38.2
Protéines	35.4	26.7	28.0	18.9	37.2
Glucides (%)	9.2	32.0	10.6	53.4	12.9

1.3.5. Les bienfaits de *Moringa*

- Les extraits de *Moringa oleifera* possèdent des propriétés antioxydantes : les extraits aqueux des graines, des fruits et des feuilles préviennent les dommages oxydatifs de

l'ADN et agissent en synergie avec le trolox. Leur efficacité suit la séquence : feuilles > fruits > graines (Tshabalala et al, 2019).

- Potentiel anticancéreux : l'extrait des feuilles de *M. oleifera* montre une efficacité anticancéreuse *in vitro* contre le carcinome hépatocellulaire, l'adénocarcinome colorectal et l'adénocarcinome du sein (Sachan et al, 2024).
- Elle est employée comme antihypertenseur, anxiolytique, antidiarrhéique et diurétique. (Tshabalala et al, 2019).
- L'écorce bouillie est utilisée pour traiter les calculs rénaux, les maladies oculaires et les patients convalescents. Elle aide également à prévenir l'élargissement de la rate et la formation de glandes tuberculeuses dans le cou (Outani et al, 2023).
- Potentiel de neuroprotection : chez les souris atteintes de démence par la conotoxine, les feuilles de *M. oleifera* agissent comme neuroprotecteurs et améliorent la fonction cognitive (Sachan et al, 2024).

I.3.6. Activité antimicrobienne de *Moringa*

Les racines de *Moringa oleifera* possèdent des propriétés antimicrobiennes grâce à la pterygospermine et au 4-a-L-rhamnosyloxy benzyl isothiocyanate. Ces composés agissent contre *Helicobacter pylori*, responsable des ulcères gastroduodénaux (Moummou et Meftah, 2024).

Les extraits des graines de *Moringa oleifera* ont démontré un potentiel antimicrobien par diffusion sur disque. Ils se révèlent actifs contre divers micro-organismes, notamment des bactéries telles que *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Shigella shinga*, ainsi que contre les champignons microscopiques surtout *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, des levures, des helminthes et des dermatophytes, elle a aussi une activité antifongique contre *Epidermophyton xoccosum*, *Trichophyton rubrum*, *Microsporum canis*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Rhizopus solani* et *Fusarium solani* (Kumar et al, 2021).

Chapitre II :
Méthodes d'extraction des huiles des graines

Il existe un large éventail de méthodes pour extraire les huiles essentielles et les huiles des graines, qu'elles soient traditionnelles ou émergentes. Le choix de la méthode d'extraction est crucial, car il influence directement la composition chimique des huiles extraites. Afin d'obtenir une concentration optimale du composé actif recherché, une sélection rigoureuse s'impose. Les sections suivantes détailleront les méthodes d'extraction les plus pertinentes, qu'elles soient traditionnelles ou innovantes (Reyes-Jurado et al, 2015).

II.1. Méthodes traditionnelles

II.1.1. Pressage ou expression à froid

La pression à froid, technique d'extraction la plus ancienne, minimise la production de chaleur, préservant ainsi les composés sensibles des huiles (Reyes-Jurado et al, 2015). Le terme expression désigne tout procédé physique consistant à écraser ou briser les glandes de la biomasse contenant l'huile d'intérêt afin de la libérer (Forde et al, 2014). Ce procédé est reconnu comme une technologie respectueuse de l'environnement (Wandhekar et al, 2023). Cette extraction est essentielle pour les agrumes en raison de la sensibilité thermique des aldéhydes présents dans leurs huiles essentielles. Elle consiste à briser les poches d'huile essentielle situées dans l'écorce des agrumes, le processus génère une émulsion aqueuse, qui est ensuite centrifugée pour isoler l'huile essentielle pure (figure 4) (Stratakos et Koidis, 2016). Autrefois réalisée manuellement, l'expression à froid a été industrialisée au début du XXe siècle pour répondre à la demande croissante et aussi réduire les coûts. Les systèmes modernes, comme la « *Food Machinery Corporation-in-line* » (FMC), permettent une extraction simultanée du jus et de l'essence, sans contact entre les deux phases (Boukhatem et al, 2019). Les huiles obtenues par pression à froid ne contiennent aucune trace de solvant d'extraction. Lors du processus d'extraction, la température reste modérée, préservant ainsi les nutriments et évitant l'oxydation ainsi que la formation de toxines nocives dans les huiles des graines (Fakhfakh et al, 2019). L'appellation 'pressée à froid', prisée sur le marché, est réservée aux huiles des graines extraites à une température inférieure à 60°C (Cenkowski et al, 2006).

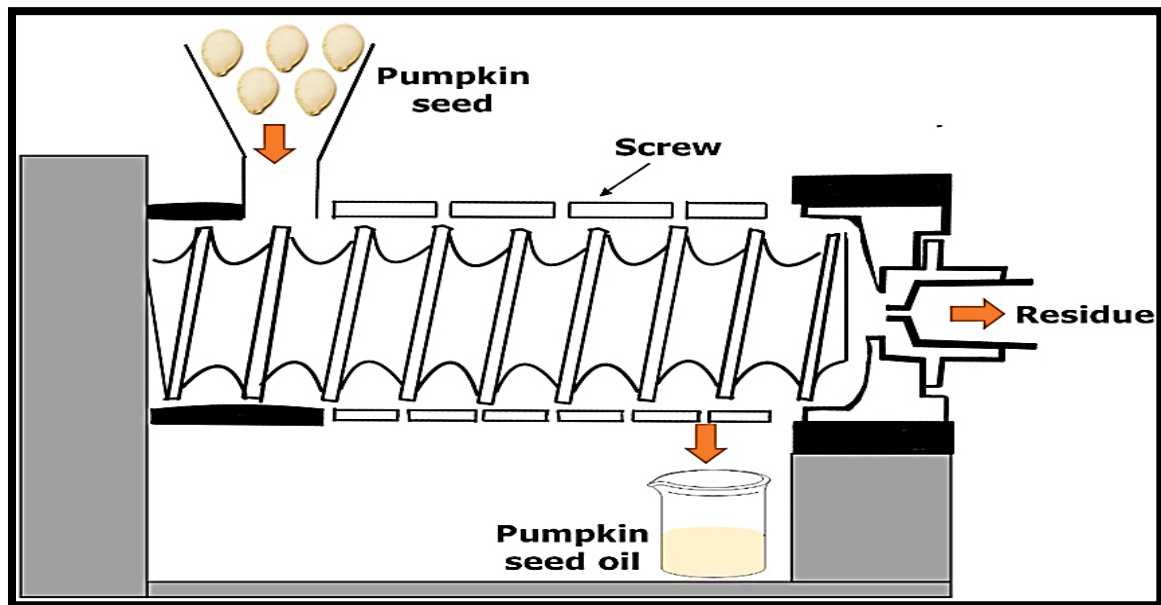


Figure 4 : Méthode de pressage à froid (Hu et al, 2024)

II.1.1.1. Avantages d'expression à froid

- La pression à froid conserve les composés bénéfiques pour la santé, tels que les acides gras polyinsaturés, les tocophérols, les stérols et les polyphénols, ce qui permet d'obtenir des huiles à forte activité antioxydante et à profil nutritionnel avantageux. Cette méthode préserve également les qualités sensorielles des huiles, augmentant ainsi leur acceptabilité auprès des consommateurs et leur attrait commercial (Rabiej-Kozioł et al, 2023).
- La pression à froid préserve la valeur nutritionnelle de l'huile en conservant les composants bioactifs. Elle évite la formation d'acides gras trans et le cholestérol, tout en améliorant la saveur et l'arôme. Cette méthode est bénéfique tant pour la cuisine que pour les soins de la peau, tout en favorisant la santé (Chandra et al, 2020).

II.1.1.2. Inconvénients d'expression à froid

- Cette méthode entraîne un faible rendement, une extraction plus complexe et une pureté moindre (Reyes-Jurado et al, 2015).
- Durée de conservation : les huiles pressées à froid, dépourvues d'additifs et de conservateurs, ont généralement une durée de conservation de six mois et la richesse en graisses insaturées des huiles pressées à froid les rend sensibles aux températures élevées, donc une exposition à la chaleur peut entraîner une dégradation de l'huile, ce qui la rend impropre à la consommation (Wandhekar et al, 2023).

II.1.2. L'hydrodistillation

Une technique d'extraction souvent employée en alternative à la distillation à la vapeur. Reconnue comme l'une des méthodes traditionnelles les plus répandues (Khan et Dwivedi, 2018). Elle consiste à plonger la matière végétale dans un bain d'eau porté à ébullition, généralement sous pression atmosphérique. Les composés volatils non miscibles à l'eau sont alors entraînés par la vapeur. Après condensation, le mélange de vapeur d'eau et d'huile essentielle est séparé par décantation. Ce procédé peut être réalisé avec ou sans cohobage, c'est-à-dire le recyclage des eaux de condensation (Figure 5) (Brahim, 2018). Elle reste largement employée jusqu'aujourd'hui pour l'extraction des huiles essentielles à partir de matières premières sèches. La durée du procédé d'hydrodistillation peut varier de plusieurs heures en fonction des équipements utilisés et du type de matière végétale traitée. Ces deux facteurs influencent à la fois le rendement et la composition de l'extrait (Melloul et Zehioua, 2023).

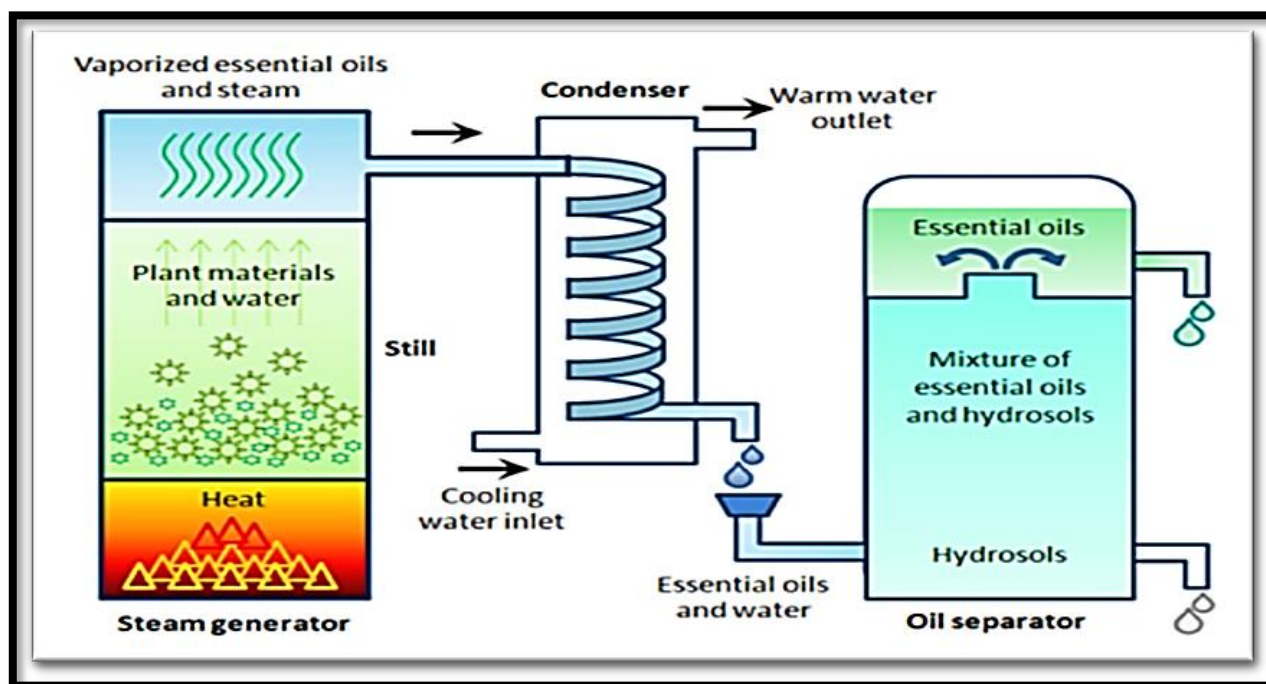


Figure 5 : Illustration schématique de la méthode d'hydrodistillation (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

II.1.2.1. Avantages d'hydrodistillation

- Les composants volatils de l'huile sont moins sensibles à l'hydrolyse et à la polymérisation, grâce au contrôle de l'humidité au fond de l'alambic et à la conductivité thermique des parois (Rasul, 2018).

- Assure un contact direct entre la matière végétale et l'eau, favorisant l'extraction des composés volatils (**Brahim, 2018**).
- Permet d'obtenir un rendement d'huile plus élevé (**Rasul, 2018**).
- Elle permet d'obtenir une essence de qualité supérieure et produit une huile essentielle hautement concentrée (**Brahim, 2018**).

II.1.2.2. Inconvénients d'hydrodistillation

- Dégradation de certaines substances odorantes sous l'effet de la température d'ébullition de l'eau (**Brahim, 2018**).
- Une exposition prolongée à l'eau chaude peut provoquer l'hydrolyse de certains constituants, notamment les esters (**Rasul, 2018**).
- Procédé relativement agressif pour la matière végétale (**Brahim, 2018**).
- L'extraction complète des composés volatils reste impossible (**Rasul, 2018**).

II.2. Méthodes innovantes

II.2.1. Extraction assistée par micro-ondes (MAE)

L'extraction assistée par micro-ondes (MAE) est une technique qui exploite l'énergie des micro-ondes pour chauffer les solvants en contact avec un échantillon, facilitant ainsi le transfert des analytes de la matrice de l'échantillon vers le solvant. Son principal atout réside dans sa capacité à chauffer rapidement le mélange solvant-échantillon, ce qui en fait une méthode particulièrement efficace (**Eskilsson et Björklund, 2000**). MAE est une technique d'extraction rapide et efficace qui utilise le rayonnement micro-ondes pour chauffer le mélange solvant-échantillon (figure 6). Ce chauffage instantané, qui se produit à l'intérieur de l'échantillon, entraîne une rupture des liaisons hydrogène et des modifications de la structure cellulaire, accélérant ainsi l'extraction. Elle est particulièrement adaptée à l'extraction de composés thermolabiles en raison des basses températures utilisées. Les facteurs influençant l'extraction par MAE comprennent la puissance des micro-ondes, le temps d'exposition, la pression, la viscosité de l'échantillon, l'humidité, la nature de la matrice, ainsi que la nature et le volume du solvant. Les progrès de l'extraction par micro-ondes ont permis le développement de diverses techniques, notamment l'extraction assistée par micro-ondes avec solvant (**Reyes-Jurado et al, 2015**).

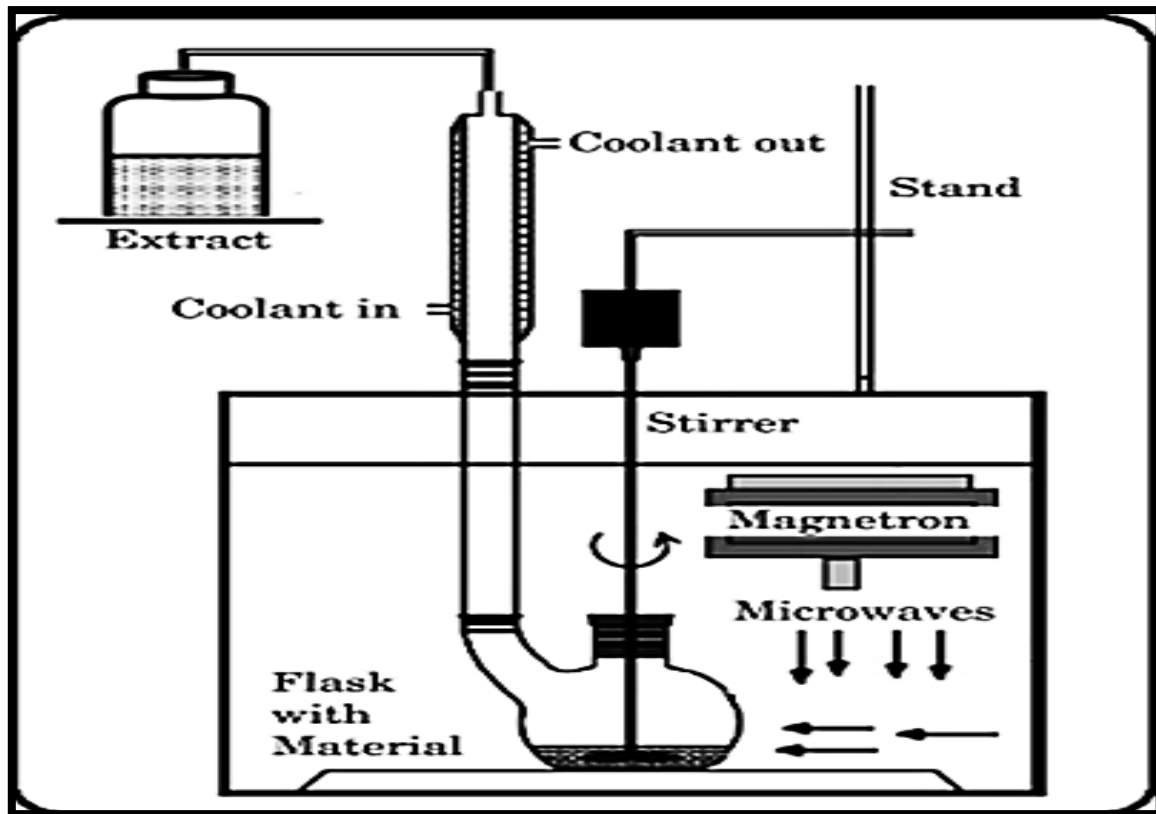


Figure 6 : Modèle schématique d'extraction assistée par micro-ondes (Shahid et al, 2016).

II.2.1.1. Avantages de MAE

- Une diminution du temps de traitement de 8 heures à seulement 1 heure, une meilleure efficacité énergétique et l'utilisation de l'éthanol comme solvant écologique, en faisant ainsi une solution plus durable pour la production d'huile alimentaire (Souza et al, 2024).
- Cette rapidité s'explique principalement par la différence du mode de chauffage entre la technique micro-onde et le chauffage conventionnel. Dans ce dernier, il faut d'abord chauffer le récipient avant que la chaleur ne se propage à la solution, ce qui prend du temps. En revanche, les micro-ondes agissent directement sur la solution, réduisant ainsi le gradient de température et optimisant l'efficacité énergétique du processus (Eskilsson et Björklund, 2000).
- L'utilisation des micro-ondes permet une réduction significative du temps d'extraction et de la quantité de solvant nécessaire, ce qui diminue naturellement l'impact environnemental en limitant les émissions de CO₂ dans l'atmosphère (Reyes-Jurado et al, 2015).
- Cette technique permet également d'obtenir de meilleurs rendements en métabolites secondaires. Un autre atout majeur est son automatisation, garantissant ainsi une reproductibilité accrue (López-Salazar et al, 2023).

II.2.1.2. Inconvénients de MAE

L'irradiation micro-ondes peut provoquer des réactions chimiques indésirables ou des transformations des métabolites secondaires recherchés. Les conditions d'extraction sévères, comme une pression élevée, peuvent également modifier la structure chimique des composés extraits, réduisant ainsi le rendement. Bien que la MAE puisse être utilisée pour certains composés thermolabiles, de manière générale, sont sensible à la chaleur générée par les micro-ondes, et donc cette technique n'est pas toujours adaptée (**Zhange et al, 2011**).

II.2.2. Extraction par fluides supercritiques

L'extraction par fluide supercritique s'est imposée comme une alternative aux techniques classiques d'extraction liquide-solide, remplaçant des procédés tels que la macération, la percolation, la lixiviation et l'extraction accélérée par solvant (**Melloul et Zehioua, 2023**).

L'extraction par fluide supercritique (SFE) repose sur l'utilisation de solvants soumis à des conditions de température et de pression dépassant leurs seuils critiques. Dans cet état, les fluides supercritiques (FSC) présentent des propriétés hybrides entre celles des liquides et des gaz, influencées par divers paramètres tels que la pression, la température et leur composition. Ces fluides allient la densité des liquides à la capacité de diffusion des gaz, ce qui en fait des solvants à la fois efficaces et sélectifs. Le dioxyde de carbone (CO₂) est particulièrement prisé dans ce procédé en raison de son absence de toxicité et de sa capacité à opérer sous des conditions de pression modérées et de températures proches de l'ambiante (**Reyes-Jurado et al, 2015**). Elle attire un intérêt croissant en raison de leur caractère écologique et durable, offrant une solution efficace pour l'obtention de composés biologiquement actifs à partir de divers sous-produits végétaux (**Herzyk et al, 2024**). Un procédé d'extraction par fluide supercritique se déroule en deux étapes principales : extraction des composés solubles à l'aide du fluide supercritique et séparation des extraits par une simple détente, entraînant la précipitation des composés isolés (figure 7) (**Louaer et Zermane, 2019**). La SFE vise principalement à isoler et à extraire sélectivement des composés tels que les polyphénols, les huiles d'intérêt, les vitamines et les antioxydants, reconnus pour leurs bienfaits sur la santé. Grâce à l'utilisation du dioxyde de carbone en phase supercritique comme solvant, cette technique supprime le besoin de solvants organiques potentiellement nocifs, tels que l'éthanol et le méthanol, tout en préservant l'intégrité des composés bioactifs sensibles à la chaleur (**Herzyk et al, 2024**). Dans le domaine de l'extraction d'huile, cette technique a été utilisée sur une large gamme de graines, notamment l'abricot, le colza, le soja, le tournesol, le raisin, le

gland, la noix et les graines de *moringa* (Lavenburg et al, 2021). Les rendements en huile des graines étaient de 65,1 % pour l'extraction par fluide supercritique au CO₂ (45°C et 35 MPa) et de 41,2 % pour l'extraction par pression à vis (Cenkowski et al, 2006).

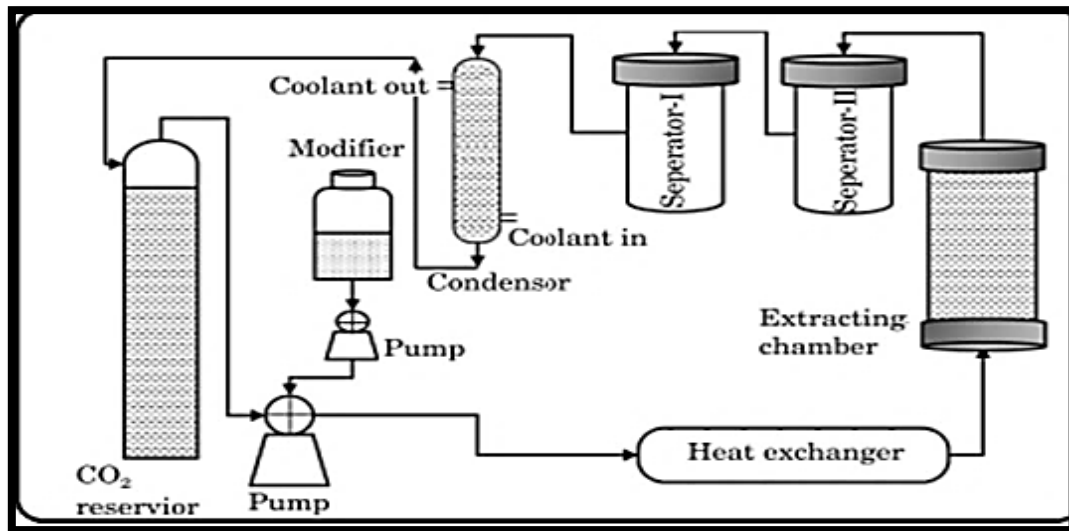


Figure 7 : Modèle schématique d'extraction par fluides supercritiques (Shahid et al, 2016).

II.2.2.1. Avantages de SFE

- Les fluides supercritiques possèdent des propriétés physico-chimiques avantageuses, notamment une diffusivité élevée, une faible viscosité et une faible tension de surface, favorisant ainsi une extraction efficace (Penchev, 2010).
- Respect de l'environnement : Le CO₂ est un solvant écologique, non toxique et non inflammable, reconnu par des organismes tels que la FDA (*Food and Drug Administration*). Il représente une alternative plus sûre aux solvants organiques classiques (Herzyk et al, 2024).
- Grâce à une température critique relativement basse (31 °C), ce procédé limite les risques de thermo-dégradation des composés, ainsi que les phénomènes d'hydrolyse et d'isomérisation (Penchev, 2010).
- Amélioration de la conservation : Ce procédé permet d'augmenter la durée de conservation de certains produits alimentaires en éliminant les composés indésirables, comme dans le cas de la décontamination du riz (Louaer et Zermane, 2019).

II.2.2.2. Inconvénients de SFE

- Complexité technique : L'optimisation du procédé requiert une expertise approfondie pour maîtriser les paramètres d'extraction et garantir une efficacité maximale. **(Herzyk et al, 2024)**.
- Coût élevé : Ce procédé nécessite un investissement initial important, ce qui le rend plus onéreux que les méthodes d'extraction traditionnelles **(Penchev, 2010)**.
- Consommation énergétique : Le maintien des conditions supercritiques (température et pression élevées) entraîne une demande énergétique importante, ce qui peut affecter la rentabilité du procédé **(Herzyk et al, 2024)**.

Partie 2 : Protocole expérimental

Ce travail a pour but d'évaluer l'efficacité des huiles issues des graines à l'égard des microorganismes pathogènes. Il comprend une première étape de sélection du matériel végétal, garantissant la qualité des graines utilisées. Ensuite, l'extraction des huiles est réalisée selon la technique adaptée : la pression à froid afin de préserver leurs propriétés bioactives. Enfin, l'évaluation de l'activité antimicrobienne est menée à travers des tests spécifiques : qualitatifs sur milieux gélosés par la diffusion sur disque et dans des puits, visant à identifier leur potentiel inhibiteur sur divers microorganismes et quantitatifs permettant de mesurer les concentrations minimales inhibitrices (CMI) des huiles étudiées vis à vis les microorganismes examinés.

1. Matériel végétal

1.1. Présentation des graines

Le matériel végétal utilisé comprend des graines soigneusement sélectionnées en fonction de leur qualité et de leur potentiel bioactif. Pour faciliter leur collecte, les graines ont été soigneusement récoltées, lavées à l'eau distillée, puis séchées à l'air libre à température ambiante jusqu'à atteindre une teneur en humidité de 10 %. Elles ont ensuite été stockées à 25 °C et conservées pendant environ deux mois avant l'extraction de l'huile (**Polyzos et al, 2024**).

Selon les études analysées, les graines qui font l'objectif de cette étude ont différentes origines :

- Les graines de nigelle (*Nigella sativa*) ont été récoltées dans la région de Souk El Arbaa, au Maroc (34°39'57"N, 5°58'54"W) (**Zouirech et al, 2022**).
- Les graines de citrouille la variété locale « Nychaki » (*Cucurbita maxima* L. cv. Nychaki) ont été semées directement en pleine terre en rangées individuelles le 27 juillet 2022. La récolte des fruits s'est effectuée le 7 décembre 2022, dès lors qu'ils avaient atteint leur maturité commerciale, caractérisée par leur taille maximale et leur teinte spécifique. L'expérimentation a été conduite sur la ferme expérimentale de l'Université de Thessalie, à Velestino, en Grèce (39°37'18.6" N, 22°22'55.1" E, altitude d'environ 120 m) (**Polyzos et al, 2024**).
- Les graines de Moringa séchées, âgées de 3 mois, issues du village de Baumata (NTT, Indonésie) et récoltées entre d'Août et Septembre 2022 (Numéro de détermination : 03/LBM/IT/11/2021) (**Korassa et al, 2023**).

1.2. Extraction des huiles

L'extraction des huiles des graines par pression à froid est réalisée sans utilisation de produits chimiques ni de chauffage excessif afin de préserver les propriétés physicochimiques des huiles.

L'extraction par pression à froid des huiles des graines de citrouille, de moringa et de nigelle a été réalisée à l'aide de presses à vis fonctionnant à basse température afin de préserver leurs propriétés. Les graines brutes ou décortiquées sont introduites progressivement dans la presse. Une presse à vis en acier inoxydable est utilisée, fonctionnant à des vitesses de rotation variant selon les graines (Le pressage varie selon le type des graines, 40 tours/min pour la citrouille (Akin et al, 2018), 45 tours/min pour le moringa (Sebii et al, 2024) et 17 tours/min pour la nigelle (Argon et Gokyer, 2016)). La température est maintenue en dessous de 40 °C pour éviter l'altération de l'huile (pour la citrouille et le moringa 40°C et pour la nigelle 25 °C (Argon et Gokyer, 2016)). L'huile est extraite sous la pression exercée par la rotation de vis, tandis que les tourteaux sont évacués (Sebii et al, 2024). L'huile est stockée temporairement pour permettre la décantation des sédiments, elle est ensuite filtrée à l'aide de papiers filtres à pores fins (1 µm) (Argon et Gokyer, 2016). Une étape de centrifugation peut être ajoutée pour éliminer les résidus solides (Sebii et al, 2024). L'huile est stockée dans des bouteilles en verre foncé (Akin et al, 2018) ou en fûts en acier inoxydable (Argon et Gokyer, 2016) pour la protéger de la lumière et de l'oxydation. Certaines huiles sont bullées avec de l'azote pour prolonger leur conservation (Sebii et al, 2024). Pendant le stockage, la température et l'humidité sont contrôlées (4 °C pour certaines huiles (huile de citrouille) (Akin et al, 2018), 25 °C et 60 % humidité relative (HR) pour d'autres (l'huile de la nigelle) (figure 8) (Argon et Gokyer, 2016).

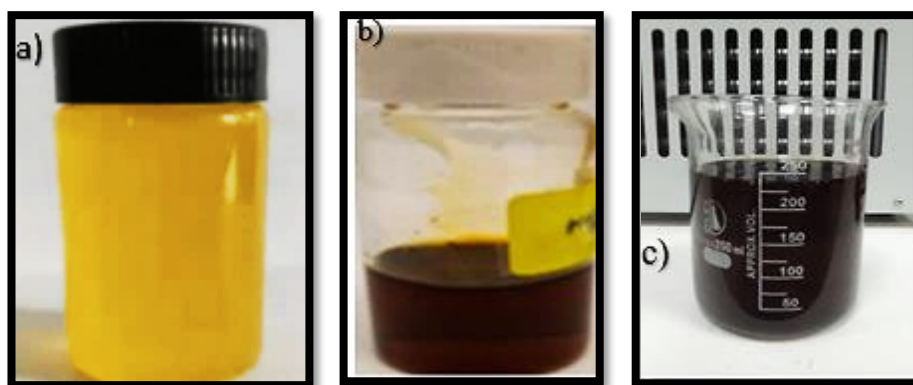


Figure 8 : Huiles extraites des graines : a) Moringa, b) Nigelle, c) Citrouille (Fu et al, 2021 ; Alrashidi et al, 2022 ; Durgut, 2025).

2. Etude de l'activité antimicrobienne

2.1. Les microorganismes examinés

L'activité antimicrobienne des huiles de *Nigella sativa* (NO - huile de nigelle), *Moringa oleifera* (MO - huile de moringa) et *Cucurbita spp* (CO - huile de citrouille) a été étudiée contre certaines bactéries et champignons microscopiques pathogènes couramment connues. Les bactéries étudiées sont consignées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques des bactéries examinées.

Espèce bactérienne	Morphologie et GRAM	Métabolisme respiratoire	Mobilité	Caractéristiques distinctives	Référence
<i>Bacillus cereus</i>	Bacille GRAM positif, sporulé	Aérobic / Anaérobic facultatif	Mobile (flagelles péritriches)	Responsable d'intoxications alimentaires	Drobniewski, 1993
<i>Bacillus subtilis</i>	Bacille GRAM positif	Aérobic / Anaérobic facultatif, catalase (+)	Mobile (flagelles péritriches)	Forme des spores, très répandue dans la nature	González-León et al., 2023
<i>Enterobacter cloacae</i>	Bacille GRAM négatif	Anaérobic facultatif	Mobile	Opportuniste, infections nosocomiales fréquentes	Hu et al., 2022
<i>Escherichia coli</i>	Bacille GRAM négatif	Anaérobic facultatif	Mobile	Présente dans l'intestin des animaux à sang chaud, cause des infections urinaires, septicémie/méningite et la maladie entérique/diarrhéique	Basavaraju et Gunashree, 2022 ; Nataro et Kaper, 1998
<i>Micrococcus flavus</i>	Coccus GRAM positif	Aérobic, hétérotrophe	Immobile	Catalase (+), oxydase (+)	Liu et al., 2007
<i>Proteus mirabilis</i>	Bacille GRAM négatif	Anaérobic facultatif	Mobile (flagelles péritriches)	Opportuniste, infections urinaires fréquentes	Li et al., 2022
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacille GRAM négatif	Aérobic stricte	Mobile (flagelles polaires)	Pathogène opportuniste, infections diverses	Veron, 1983; Michel-Briand et Baysse, 2002
<i>Salmonella Typhimurium</i>	Bacille GRAM négatif	Anaérobic facultatif	Mobile (flagelles péritriches)	Pathogène intestinal, diarrhées et intoxications alimentaires	Yang et al., 2020; Bhardwaj et Bhatia, 2023

<i>Staphylococcus aureus</i>	Coccus GRAM positif, en grappes	Anaérobie facultatif	Immobile	Réduction des nitrates (+), coagulase variable, cause intoxication alimentaire, Syndrome d'épidermolyse staphylococcique, Syndrome du choc toxique	Gulzar et Zehra, 2018 ; Ondusko et Nolt, 2018
-------------------------------------	---------------------------------	----------------------	----------	--	---

Le tableau 8 regroupe les caractéristiques des champignons microscopiques étudiés.

Tableau 8 : Caractéristiques des champignons examinés

Espèce fongique	Caractéristiques	Référence
<i>Aspergillus flavus</i>	Champignon saprophyte du sol, contamine les cultures et produit des aflatoxines cancérigènes, pathogène opportuniste chez l'homme et l'animal.	Amaike et Keller, 2011
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Produit des conidies aériennes de petite taille (2-3 µm), pouvant atteindre les alvéoles pulmonaires et causer des infections respiratoires.	Latgé, 1999
<i>Aspergillus niger</i>	Produit des spores brunes à noires, responsable des mycoses non invasives (otomycose, kératite, aspergillose allergique, aspergillome).	Schuster et al., 2002 ; D'hooghe et al., 2019
<i>Aspergillus versicolor</i>	Présent dans le sol, les aliments et l'air intérieur ; produit des mycotoxines comme la stérigmatocystine et les aflatoxines, impact sur la qualité de l'air.	Jomat et al., 2023
<i>Candida albicans</i>	Levure opportuniste, présente sur les muqueuses et la peau, responsable d'infections fongiques invasives et systémiques.	Mir et al., 2022 ; Wang et al., 2024
<i>Fusarium oxysporum</i>	Présent dans les sols et la rhizosphère, possède un mode de vie saprophyte et peut persister dans l'environnement.	Fravel et al., 2003
<i>Malassezia furfur</i>	Champignon lipophile et dimorphe, naturellement présent sur la peau humaine, impliqué dans le pityriasis versicolor et la dermatite séborrhéique	Vijayakumar et al., 2006
<i>Penicillium spp</i>	Champignons ubiquistes et opportunistes, certaines espèces sont phytopathogènes production	Nguyen et al., 2017

	abondante de conidiospores, adaptation à divers environnements.	
<i>Penicillium verrucosum</i>	Pathogène affectant les stocks alimentaires, producteur d'ochratoxine A, une toxine néphrotoxique.	Köpke et al., 2007

2.1.1. Réactivation des souches microbiennes testées

Les souches bactériennes ont été ensemencées par la technique des stries sur gélose nutritive (annexe n°1) et par touche centrale pour les souches fongiques examinées (Sayeed et al, 2012). Ces micro-organismes ont ensuite été cultivés sur un milieu nutritif adapté à leur croissance pendant 24 heures à 37 °C pour les bactéries et à 30 °C pour les levures et les moisissures pendant plus de 48h afin d'obtenir des colonies jeunes bien isolées serviront par la suite pour la préparation des inocula (figure 9) (Barrahi et al, 2020).

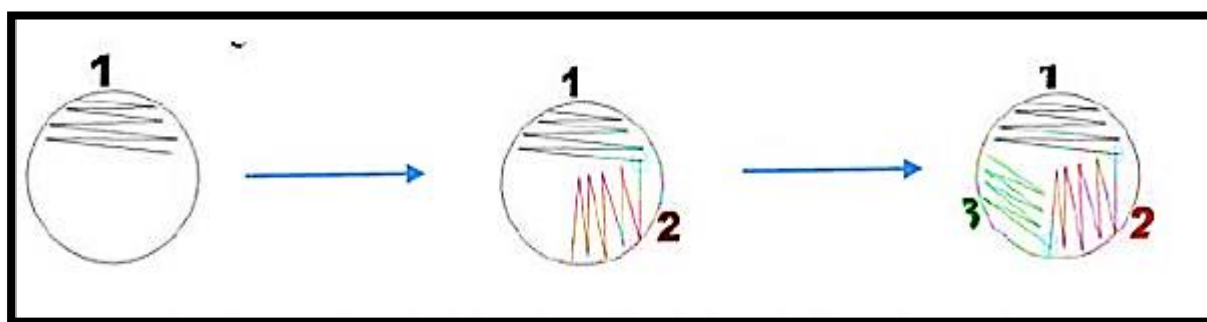


Figure 9 : Schéma explicatif du repiquage par la méthode des stries (Bouhekouk et al, 2018)

2.1.2. Préparation de l'inoculum

À partir des cultures jeunes, trois à quatre colonies bien isolées de chaque souche bactérienne sont prélevées à l'aide d'une anse en fil métallique, puis transférées dans 5 ml de bouillon Trypticase soja, de bouillon nutritif ou de solution saline à 0,9 %. Les suspensions bactériennes sont incubées à 30°C ou à la température optimale de croissance jusqu'à ce que la turbidité atteigne ou dépasse celle du standard 0,5 MacFarland. La comparaison visuelle de la turbidité de la suspension à celle du standard de MacFarland, bien agité avant son utilisation, sur un fond blanc avec une ligne noire contrastante et sous un éclairage adéquat (Tendencia, 2004). Pour les souches fongiques, cinq colonies d'un diamètre minimal de 1 mm provenant de cultures âgées de 48 heures sont prélevées et suspendues dans 5 ml de solution saline stérile à

0,85 %, puis homogénéisées par agitation au vortex pendant 15 secondes. La concentration cellulaire est standardisée selon une méthode spectrophotométrique par mesure de la turbidité de la suspension à 530 nm. Cette dernière est ensuite ajustée par une solution saline stérile comme diluant, pour qu'elle corresponde à une valeur de référence de turbidité, conformément aux indications du Manuel de microbiologie clinique (Pfaller et al, 1988).

2.1.3. Ensemencement

La suspension bactérienne est ensemencée par écouvillon stérile bien imbibé et essoré de l'excès du liquide par pressage contre la paroi interne du tube. L'inoculum est étalé sur la surface de la gélose par des stries uniforme. Pour assurer une répartition homogène, la boîte de Pétri est pivotée de 60° et l'opération est répétée deux fois. Les boîtes sont ensuite gardées à température ambiante pour sécher la surface de la gélose pendant 3 à 5 minutes (maximum 15 minutes) afin que l'excès d'humidité soit absorbé avant de poursuivre (Tendencia, 2004). Par contre, la suspension fongique est déposée au fond d'une boîte de Pétri. Recouverte immédiatement d'une première couche de gélose fondue *PDA* ou Sabouraud (annexe n°2). Le contenu est mélangé manuellement pour assurer une répartition homogène des spores ou des cellules fongiques dans tout le volume. Les boîtes sont gardées à température ambiante jusqu'à solidification complète de la première couche. Ensuite, une fine couche supplémentaire de gélose stérile (préparée de la même manière) est coulée en surface pour recouvrir l'inclusion. Cela permet d'obtenir une surface plane, de protéger l'inoculum et de faciliter l'application des substances à tester (Plusquellec et al, 1995).

2.2. Etude qualitative de l'activité antimicrobienne des huiles extraites

L'activité antimicrobienne des huiles des graines étudiées est évaluée selon deux méthodes qualitatives sur milieu solide : la méthode de diffusion sur disque de papier Whatman N°4 (Mariem et al, 2021) et la méthode des puits. La gélose Muller Hinton (annexe n°3) pour les tests antibactériens et la gélose *PDA* (*potato dextrose agar*) pour les tests antifongiques (Ibrahim et al, 2010).

2.2.1. Méthode de diffusion sur disque

La méthode de diffusion sur disque est une technique phénotypique classique utilisée pour tester la sensibilité des microorganismes aux antimicrobiens, reconnue pour sa simplicité et son faible coût (Rivera et al, 2023). Cette méthode est utilisée aussi bien pour l'activité antibactérienne et l'activité antifongique. De ce fait, des volumes de 10 µl d'huiles extraites

des graines sont déposés sur des disques Whatman stériles de 6 mm de diamètre, déjà positionnés sur les milieux de cultureensemencés préalablement par le microorganisme analysé. De même, des disques des témoins positifs d'antibiotique streptomycine et d'antifongique cycloheximide et du témoin négatif (le solvant DMSO pur) sont aussi déposés sur des disques Whatman stériles (figure 10) (Mariem et al, 2021).

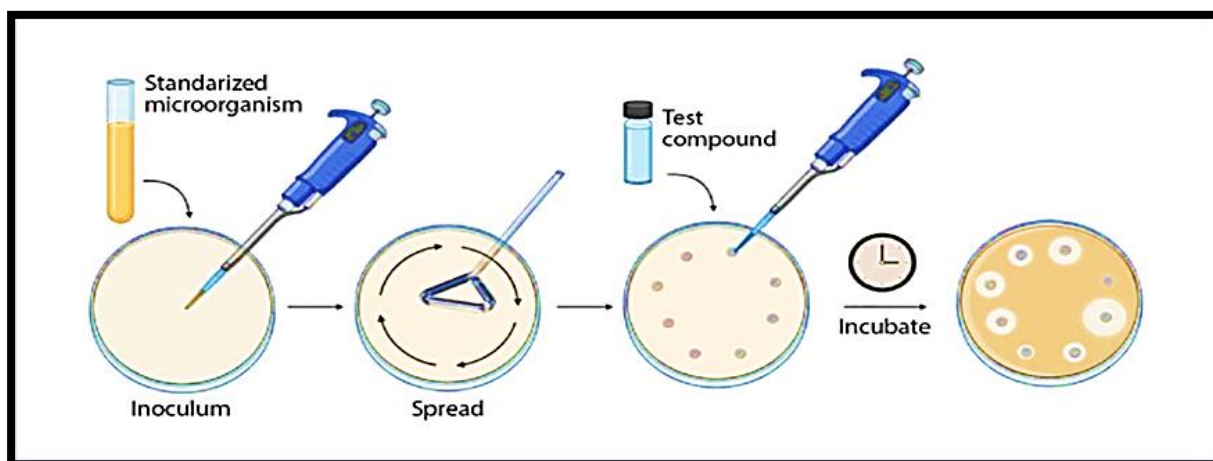


Figure 10 : La méthode de diffusion sur disque (Correa et al, 2020).

2.2.2. Méthode de diffusion dans des puits

Selon cette méthode, des boîtes de Pétri sont coulées par la gélose Mueller-Hinton à une épaisseur de 8 mm, après solidification les boîtes sontensemencées par écouvillonnage avec une dilution du micro-organisme à tester, préparée selon l'échelle de McFarland (Belhaoues, 2013). Pour évaluer l'activité antifongique, un milieu de culture *PDA* préalablement coulé dans des boîtes de Pétri. Après solidification, les boites sontensemencées avec 1ml d'inoculum (Benzohra, 2019). Puis à l'aide d'un emporte-pièce stérile (6 mm de diamètre), des puits sont creusés dans les géloses (*PDA* et Mueller-Hinton). Chaque puits est rempli avec un volume convenable (généralement 15 μ L) de l'extrait (l'huile dans notre cas) à l'aide de la micropipette. Le Ceftriaxone est utilisé comme contrôle positif et le solvant seul (DMSO) comme contrôle négatif (figure 11) (Dieye et al, 2021).

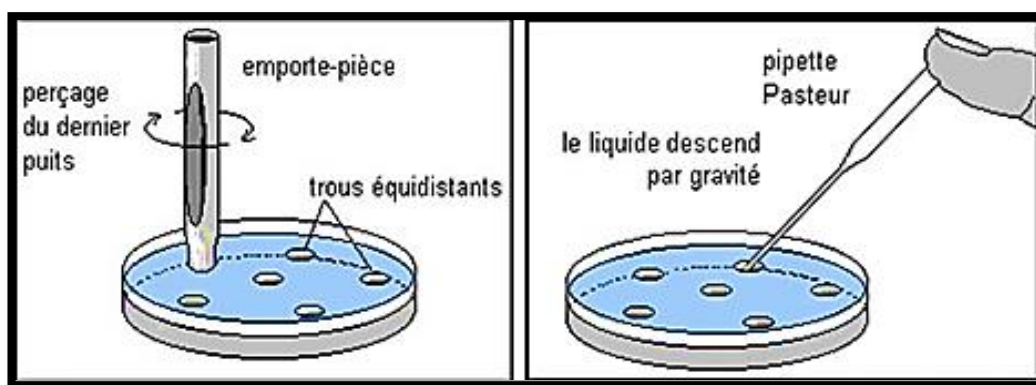


Figure 11 : La méthode de diffusion dans des puits creusé sur milieu gélosé (Benzohra, 2019)

2.2.3. Incubation

Après préparation des boîtes, selon les deux méthodes, l'incubation est effectuée dans une étuve à 37 °C pendant 24 heures pour les bactéries et à 25°C pendant 48 heures à 7jours pour les champignons microscopiques (Sayeed et al, 2012).

2.2.4. Evaluation de l'activité antimicrobienne

L'effet positif des extraits ou des huiles dans notre cas, se manifeste par l'apparition d'une zone d'inhibition (halo clair autour du disque ou du puits) qui indique la présence d'une activité antimicrobienne (Sayeed et al, 2012). La lecture se base sur la mesure du diamètre de la zone d'inhibition en millimètre. Selon la classification de Ponce et al. (2003), les résultats sont interprétés selon quatre niveaux d'activité :

- Résistant (-) : diamètre inférieur à 8 mm.
- Sensible (+) : diamètre entre 9 et 14 mm.
- Très sensible (++) : diamètre entre 15 et 19 mm.
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre supérieur à 20 mm.

Concernant les souches fongiques, la mesure des diamètres de croissance mycélienne des colonies est réalisée. Le taux d'inhibition de la croissance mycélienne, exprimé en pourcentage (%), est calculé selon la formule suivante (Samb et al, 2022) :

$$I (\%) = D - d / D * 100$$

- I (%) : Taux d'inhibition
- D : Diamètre de la croissance mycélienne avec méthanol
- d : Diamètre de la croissance mycélienne en présence d'extrait

2.3. Etude quantitative de l'activité antimicrobienne des huiles extraites

2.3.1. Détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI)

La CMI correspond à la plus faible concentration d'une substance antimicrobienne capable d'inhiber la croissance des micro-organismes. La détermination des CMI des huiles extraites des graines vis-à-vis des souches testées est effectuée selon la méthode de microdilution en milieu liquide dans des plaques à 96 puits (**Dieye et al, 2022 ; Abdallah et al, 2019**). La CMI est évaluée que pour les huiles ayant montré un diamètre d'inhibition égal ou supérieur à 12 mm. Pour déterminer les concentrations minimales d'inhibition, le milieu Muller Hinton liquide a été préparé et autoclavé avant son utilisation (**Mariem et al, 2021**). Chaque puits de la microplaque reçoit, 100 μ L de milieu de culture liquide approprié (Mueller-Hinton ou Sabouraud). 100 μ L de chaque extrait (huile) à une concentration de 50mg/mL est ajouté dans le premier puits. Après homogénéisation, 100 μ L du mélange est transférée dans le puits suivant, et ainsi de suite. Ces dilutions donnent une gamme de concentration allant de 25mg/mL à 0,049mg/mL. Ensuite, 50 μ L de la suspension microbienne est ajoutés dans chaque puits. Cette procédure est répétée deux fois (figure 12). Les trois premiers puits contiennent les témoins (contrôles), le puits témoin négatif contient uniquement le milieu de culture stérile et l'huile extrait testée, sans ajout de microorganisme. Il permet de vérifier l'absence de contamination et d'évaluer si l'extrait présente une turbidité intrinsèque susceptible d'interférer avec l'interprétation des résultats. Le puits témoin croissance contient le milieu de culture stérile et l'inoculum microbien mais sans ajout de l'huile testée. Il sert à confirmer la viabilité de la souche testée et sa capacité à se développer dans les conditions expérimentales. Le puits témoin positif contient le milieu de culture stérile, l'inoculum microbien et un antimicrobien de référence. Il permet de comparer l'efficacité de l'huile testée par rapport aux agents antimicrobiens standards (**CLSI, 2012**). L'incubation s'est déroulée à 37 °C pour les bactéries et à 30 °C pour la levure pendant 24 heures. La CMI d'un extrait vis-à-vis une souche correspond à la plus faible concentration dans le dernier puits où aucune croissance microbienne n'a été observée.

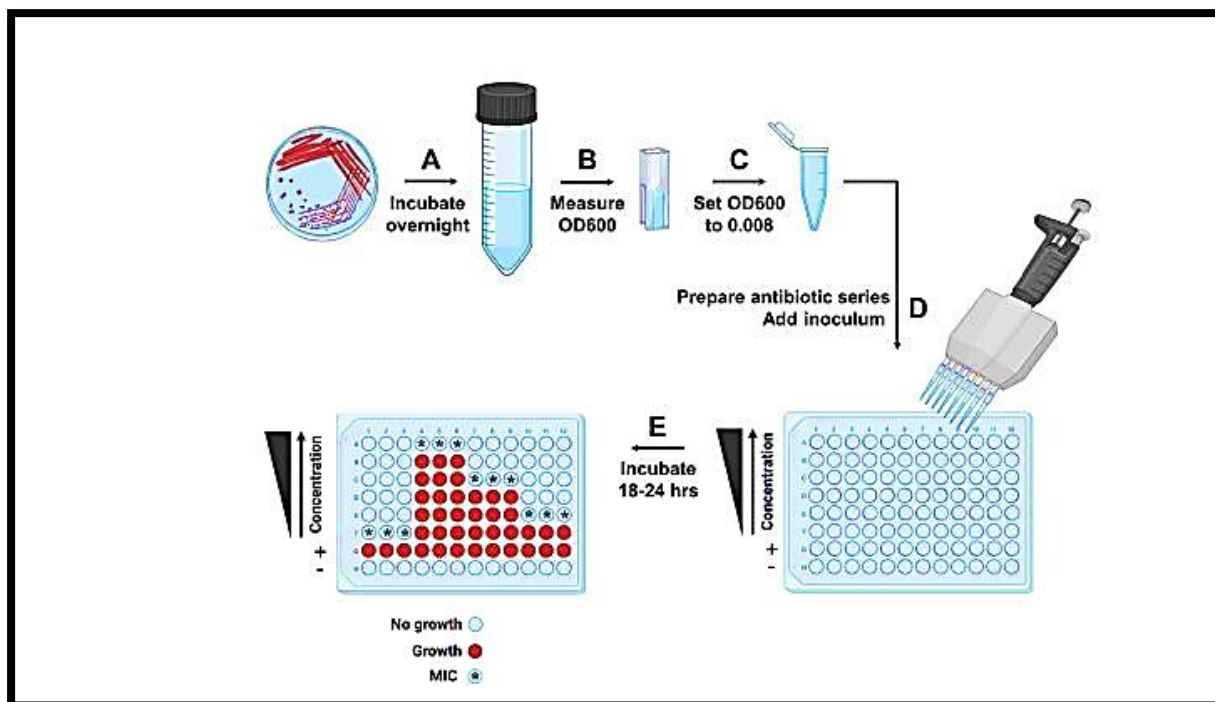


Figure 12 : La méthode de microdilution sur milieu liquide (Kadeřábková et al, 2024).

2.3.2. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)

La concentration minimale bactéricide (CMB) désigne la plus faible concentration d'un agent antimicrobien permettant l'élimination de 99,99 % d'un inoculum bactérien standardisé qui permet de laisser au plus 0,01% de germes survivants par rapport à l'inoculum initial (Muylaert & Mainil, 2013). Pour la déterminer, les contenus des puits témoins et ceux dans lesquels aucun trouble n'a été observé ont été prélevés à l'aide d'une anse calibrée, en commençant par le puits ayant une concentration supérieure à la CMI. Ces prélèvements ont ensuite été ensemencés sur gélose *Muller Hinton*, incubée à 37 °C pendant 24 heures pour les bactéries. Pour les levures et les moisissures, les cultures ont été réalisées sur gélose Sabouraud supplémentée en chloramphénicol, incubée à 25 °C pendant 48 heures. Chaque test a été effectué en triplicate. La CMB (exprimée en %) de l'huile testée a été déterminée en identifiant la première boîte ne montrant aucune croissance microbienne (Taarabt et al, 2017).

2.3.3. Détermination du rapport CMB/CMI

La caractérisation de l'activité antibactérienne d'un composé est qualifiée de bactéricide ou de bactériostatique selon le rapport entre la concentration minimale bactéricide (CMB) et la concentration minimale inhibitrice (CMI). Ce ratio permet l'interprétation suivante (Jean et al, 2024) :

- Un rapport CMB/CMI compris entre 1 et 4 indique une action bactéricide.
- Un rapport compris entre 4 et 16 suggère une activité bactériostatique.

Partie 3 : Discussion générale

La recherche de nouvelles sources de substances à effet antimicrobien occupe une place de choix dans les différents domaines de la recherche actuelle, et ceci pour faire face l'émergence des phénomènes de la résistance et la multirésistance des bactéries pathogènes à l'égard des antibiotiques commercialisés sur le marché. Ainsi, la tournée vers la nature en exploitant les plantes médicinales est devenue l'une des voies prometteuses, qui peut abriter des molécules bioactives avec peu et voir très peu d'effets secondaires indésirables. Dans ce monde végétal, on s'est intéressé à l'étude des huiles extraites des graines de certaines plantes en particulier : la nigelle, la citrouille et le moringa.

1. Activité antimicrobienne des huiles des graines étudiées

1.1. Huile des graines de nigelle

L'huile de *Nigella sativa* (NSO) a démontré une efficacité antibactérienne significative contre toutes les souches bactériennes testées (surtout *P.mirabilis* et *E.coli*)(figure13).

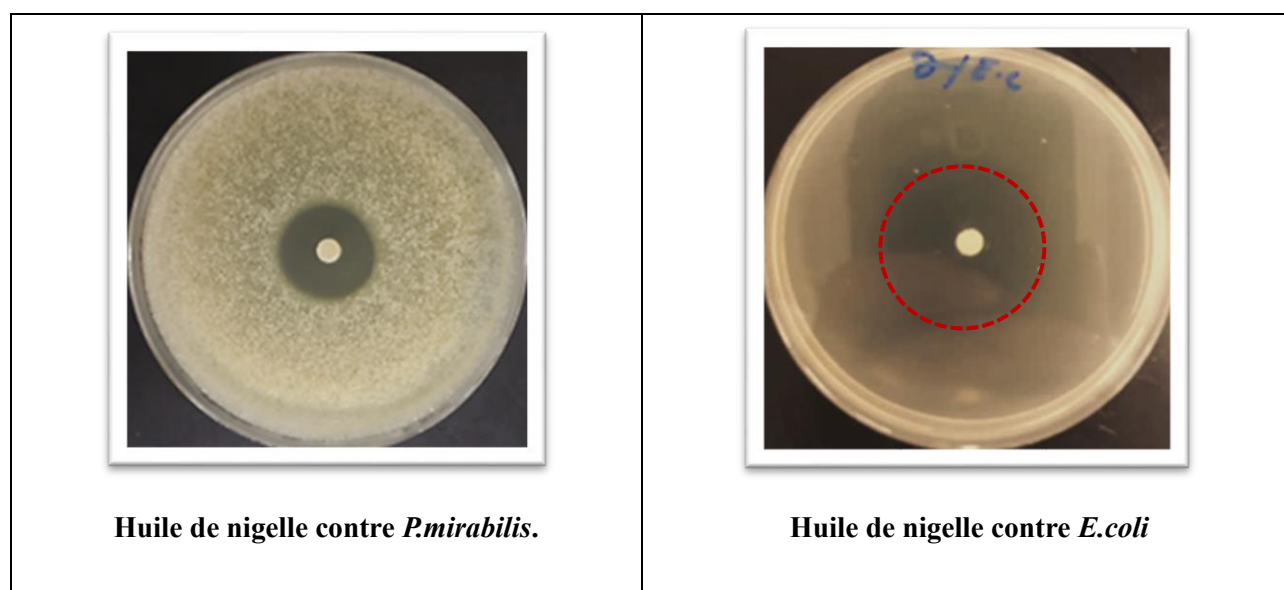


Figure 13 : L'activité antibactérienne *in vitro* de l'huile extraite des graines *Nigella sativa* (Zouirech et al, 2022)

Elle présente une activité antibactérienne prometteuse, comparable à celle de la streptomycine et de l'oxacilline (deux antibiotiques commerciaux), en particulier contre *E. coli*, avec un diamètre d'inhibition de 39 mm, une valeur qui représente presque 7 fois plus que celle obtenue avec les antibiotiques (témoins positifs) utilisés, qui ont donné 6 mm de diamètre d'inhibition contre toutes les bactéries testées (tableau 9).

Tableau 9 : Les diamètres d'inhibition de la croissance bactérienne (en mm) (Zouirech et al, 2022)

Souche bactérienne	<i>N. sativa</i> EO	Streptomycine	Oxacilline
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6633	≈ 14 mm	≈ 6 mm	≈ 6 mm
<i>Escherichia coli</i> K12	≈ 39 mm	≈ 6 mm	≈ 6 mm
<i>Bacillus subtilis</i> DSM 6333	≈ 30 mm	≈ 6 mm	≈ 6 mm
<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 29906	≈ 24 mm	≈ 6 mm	≈ 6 mm

Cette huile a donné une concentration minimale inhibitrice (CMI) de 1.34 µg/mL pour *E. coli* et *Bacillus subtilis*, une concentration intéressante et inférieure à celle évaluée pour *Staphylococcus aureus* et *Proteus mirabilis*, qui nécessitent une concentration plus élevée (2.69 µg/ml). Cependant, la streptomycine n'a été efficace que contre *S. aureus* avec une CMI mesurée à 1,56 µg/ml, mais les autres bactéries (*E. coli*, *Bacillus subtilis* et *Proteus mirabilis*) se sont montrées résistantes aux différentes concentrations testées de la streptomycine (figure 14). En effet, plusieurs études ont déjà mis en évidence l'efficacité des huiles de *Nigella sativa* et de leurs composants isolés contre diverses infections bactériennes, son principal composé bioactif, la thymoquinone, qui présente une activité antibactérienne notable. Les différences observées dans les diamètres d'inhibition pourraient être dues à des différences dans la composition chimique de l'huile. L'huile de *Nigella sativa* révèle une forte activité antibactérienne, y compris contre des souches bactériennes résistantes aux antibiotiques (à Gram négatif et à Gram positif). Ces résultats suggèrent que les molécules bioactives présentes dans cette huile pourraient représenter une alternative prometteuse aux antibiotiques conventionnels dans la lutte contre la résistance bactérienne (Zouirech et al, 2022).

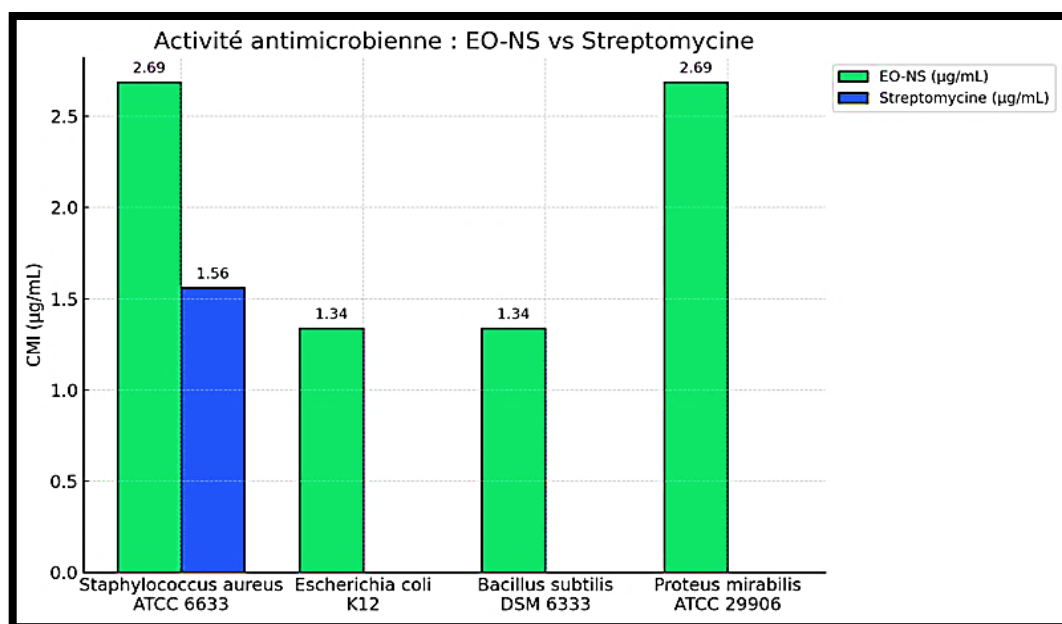


Figure 14 : Concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'huile extraite des graines de nigelle *Nigella sativa* (Zouirech et al, 2022)

L'analyse de l'activité antifongique *in vitro* de l'huile de *Nigella sativa* contre *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium oxysporum* et *Candida albicans*, effectuée selon la méthode de diffusion sur disque, a mis en évidence une activité antifongique importante (figure15).

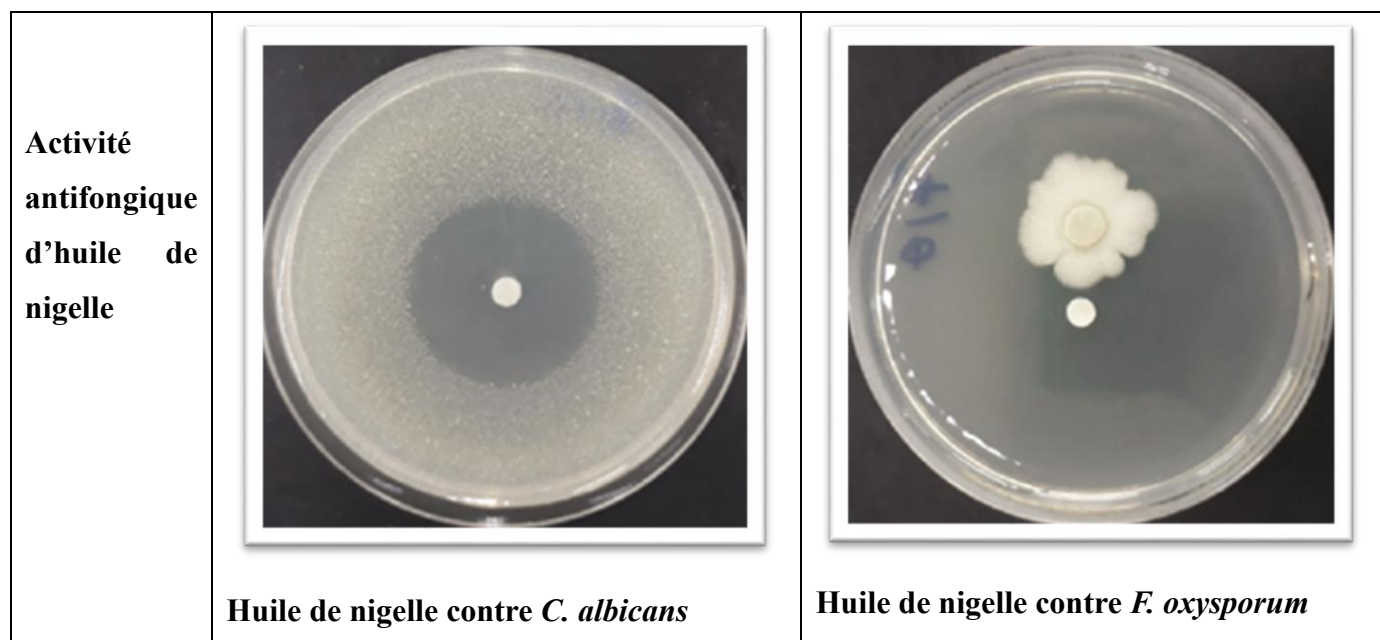


Figure 15 : Activité antifongique de l'huile extraite des graines de *Nigella sativa* (Zouirech et al, 2022)

L'huile de *Nigella sativa* montre une activité antifongique avec un pourcentage d'inhibition de 42% et une CMI de 0,67 µg/mL comparativement au fluconazole qui n'a pas d'effet contre *C. albicans*, ce qui suggère une efficacité remarquable de cette huile contre cette levure pathogène. Par contre, cette huile semble inefficace contre *A. niger*, (ni inhibition de la croissance, ni CMI mesurée), tandis que l'effet du fluconazole sur *A. niger* montre une faible inhibition (8,20%) et une CMI élevée 7,125 µg/mL, bien que nécessitant une concentration relativement élevée. Cette huile et le fluconazole n'ont aucune activité contre *Aspergillus flavus*. Ce champignon semble résistant à ces deux traitements. L'huile des graines de nigelle est significativement plus efficace que le fluconazole contre *F. oxysporum*, à la fois en termes de pourcentage d'inhibition 67.45% pour l'huile et 30.77% pour le fluconazole et avec des CMI respectives de 2,69µg/mL et 3,125µg/mL (figure 16). Les résultats obtenus montrent que cette huile exerce un effet inhibiteur sur les champignons pathogènes. Cet effet est dû à sa composition chimique, notamment à la présence de composés tels que l'O-cymène, le carvacrol, l' α -thujène et le trans-sabinène hydraté, qui sont tous reconnus par leurs propriétés antifongiques puissantes (Zouirech et al, 2022).

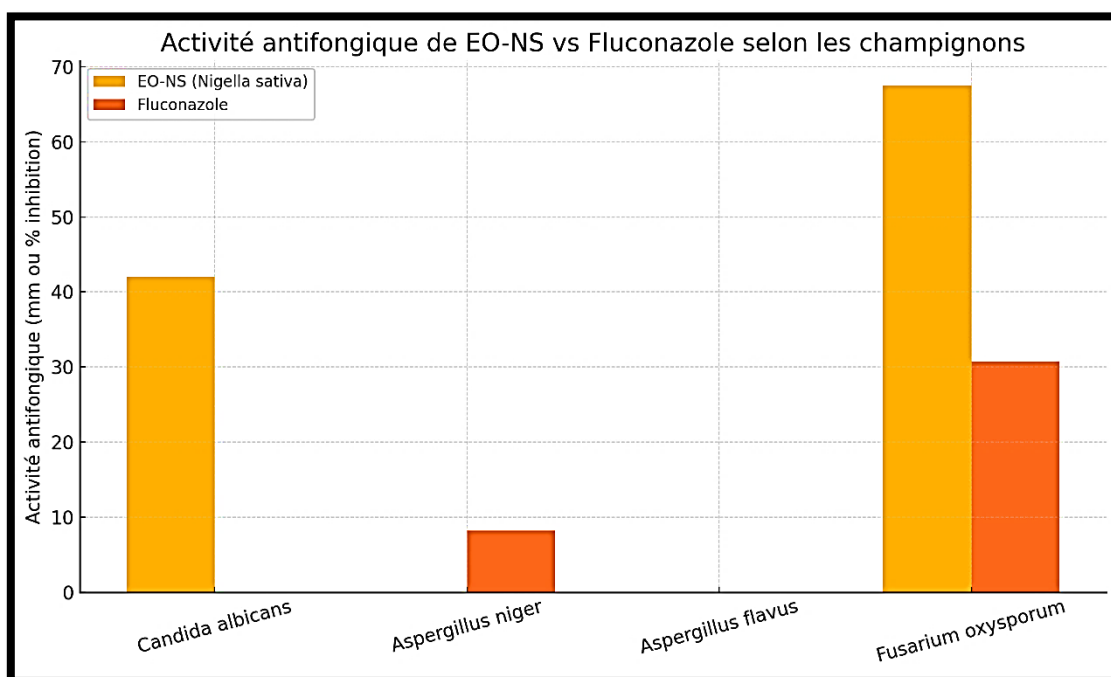


Figure 16 : Activité antifongique des huiles des graines *Nigella sativa* (Zouirech et al, 2022).

D'après les résultats de Harzallah et al, (2012) l'huile fixe de *Nigella sativa* a démontré un potentiel antimicrobien notable, bien que son efficacité varie en fonction des souches microbiennes ciblées (figure 17). Les diamètres des zones d'inhibition (ZI) enregistrés varient de 7 à 16,66 mm pour les bactéries, et de 8 à 13,33 mm pour les levures du genre *Candida*.

Parmi les bactéries testées, *Staphylococcus aureus* (ZI = 16,66 mm) et *Salmonella typhimurium* (ZI = 15,33 mm) ont présenté les réponses les plus marquées. Par contre, une activité moindre a été observée contre *Staphylococcus epidermidis* (ZI = 6 mm) et *Escherichia coli* (ZI = 7 mm). Une action inhibitrice intéressante de l'huile de nigelle contre *Listeria monocytogenes* (ZI=14.66 mm) qui est deux fois plus supérieure à celle obtenue avec la gentamicine ($6 \times 10 \mu\text{g}/\text{disc}$). Concernant les levures, les espèces *Candida glabrata*, *C. albicans*, *C. krusei* et *C. parapsilosis* ont été sensibles à l'huile, avec des ZI comprises entre 10,33 mm et 13,33 mm. La souche *C. parapsilosis* s'est distinguée par une sensibilité accrue (ZI = 13,33 mm), suggérant un potentiel intéressant de cette huile contre des agents pathogènes opportunistes fréquemment associés aux infections fongiques

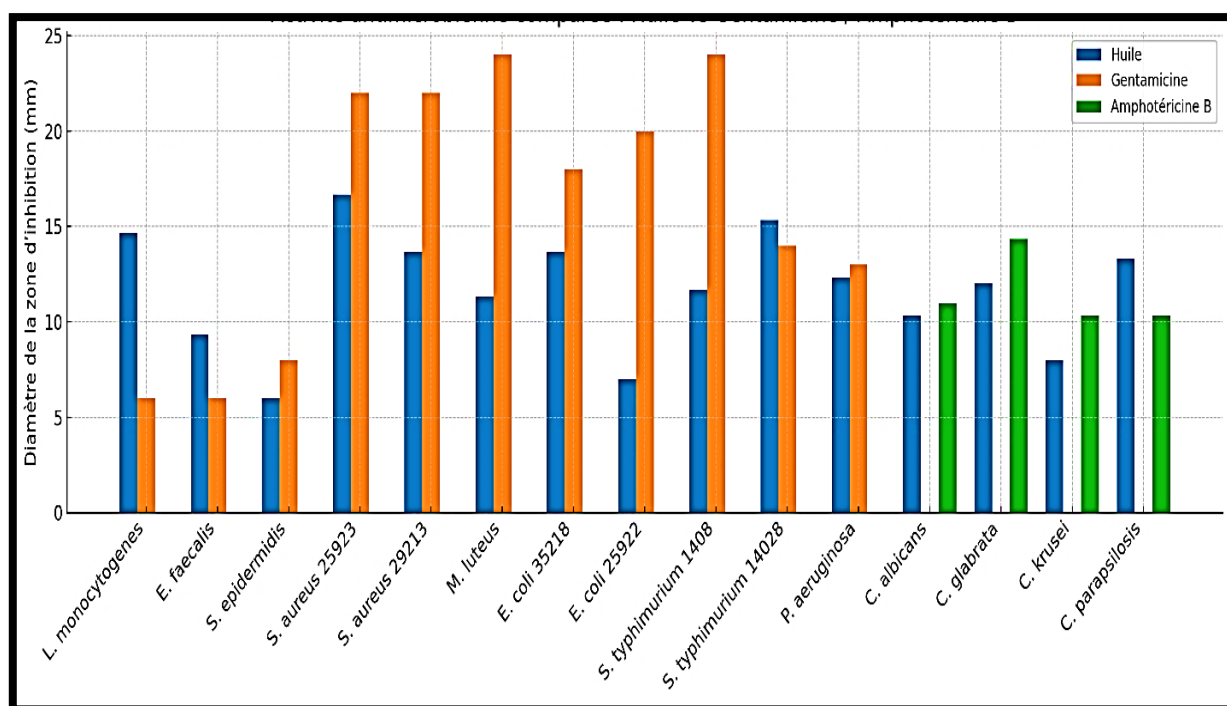


Figure 17 : Activité antimicrobienne de l'huile des graines de *Nigella sativa* (Harzallah et al, 2012)

1. 2. Huile des graines de citrouille

Les activités antibactériennes de l'huile des graines de courge sont illustrées dans la figure 18. L'huile des graines analysée a montré une activité antibactérienne significative contre les souches testées, à savoir *Bacillus cereus*, *Micrococcus flavus*, *Enterobacter cloacae*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*. Les valeurs des CMI observées (4 mg/mL, 1 mg/mL, 2 mg/mL, 1 mg/mL, 2 mg/mL et 2 mg/mL respectivement) sont comparables ou inférieures à celles des composés (conservateurs de référence) E211 (4mg/mL, 0.5mg/mL, 0.5mg/mL, 1mg/mL, 2mg/mL et 4mg/mL respectivement) et E224

(1mg/mL, 2mg/mL, 4mg/mL, 1mg/mL, 2mg/mL et 1mg/mL respectivement) utilisés comme témoins positifs. Cela est particulièrement vrai pour *M. flavus*, où les valeurs des CMI sont similaires à celles de ces deux composés.

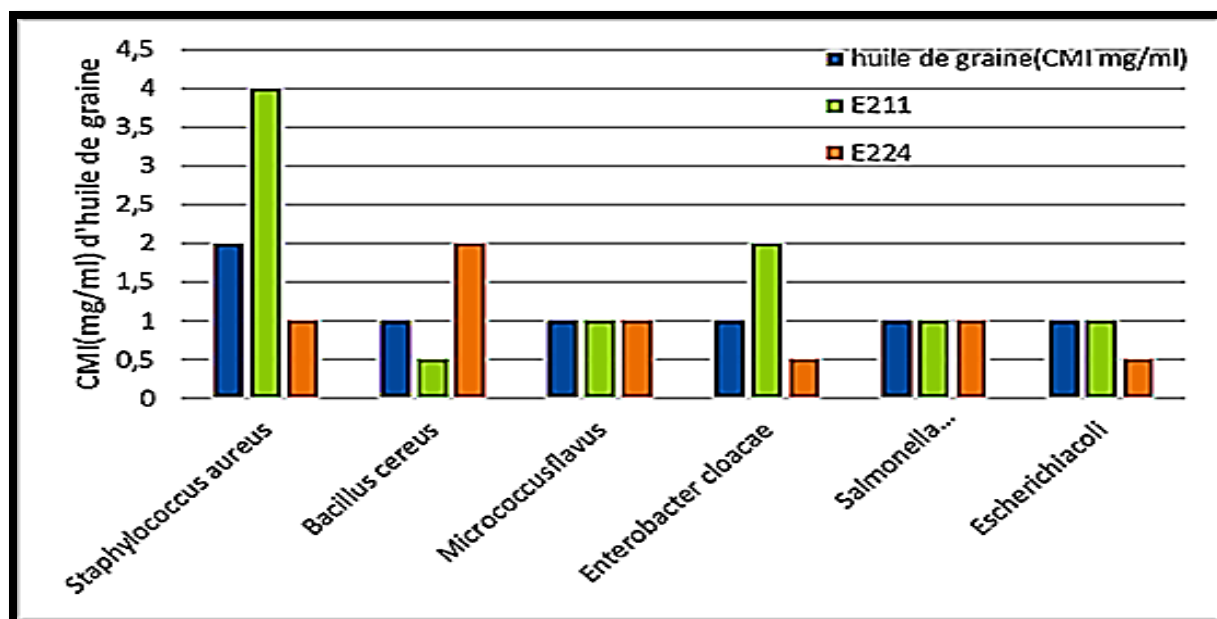


Figure 18 : Les activités antibactériennes de l'huile des graines de citrouille (Polyzos et al, 2024).

De même, l'huile des graines de courge a révélé une activité antifongique notable contre la majorité des champignons microscopiques testés, notamment *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium verrucosum* et *Trichoderma viride* (figure 19). Les valeurs des CMI obtenues (4 mg/mL, 8 mg/mL, 1 mg/mL, 2 mg/mL, 1 mg/mL et 2 mg/mL respectivement) étaient similaires ou inférieures à celles des conservateurs de référence E211 (1 mg/mL, 2 mg/mL, 2 mg/mL, 4 mg/mL, 1 mg/mL et 2 mg/mL respectivement) et E224 (1 mg/mL), utilisés comme témoins positifs. En particulier l'huile des graines s'est révélée inefficace contre *Aspergillus fumigatus*, donnant une valeur de CMI 4mg/mL supérieure à celles des conservateurs utilisés. Ces résultats divergents dans la littérature scientifique sur l'activité antimicrobienne des graines et des extraits d'huile de courge et indiquent des variations notables dans la composition phytochimique, influencées par des éléments tels que la variabilité génétique, les conditions environnementales et culturelles, la méthode d'extraction, ainsi que la partie de la plante analysée (Polyzos et al, 2024).

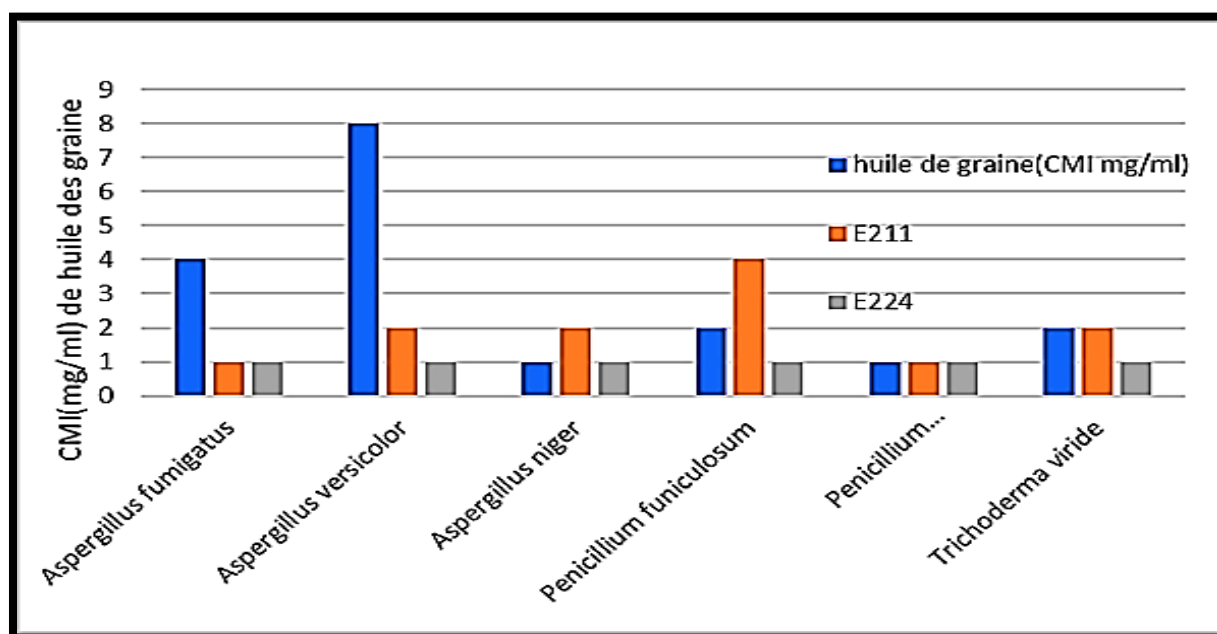


Figure 19 : Activité antifongique de l'huile des graines de citrouille (Polyzos et al, 2024).

Par ailleurs, l'étude de **Sener et al., (2007)** effectué sur deux échantillons d'huiles (CP-I et CP-II) extraites à partir des graines de *Cucurbita pepo*. L'activité antibactérienne de ces huiles est étudiée selon la méthode quantitative de micro-dilution, vis à vis des bactéries de référence (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*). Les antibiotiques ampicilline et ofloxacine sont les témoins positifs. Le potentiel antifongique de ces huiles est aussi étudié contre la levure *Candida albicans*, avec le kétoconazole et le fluconazole comme témoins positifs (tableau 10). Les huiles CP-I et CP-II montrent une faible activité contre les souches bactériennes : *E. coli*, *P. aeruginosa*, *P. mirabilis*, *S. aureus* et *B. subtilis* avec des CMI élevées de 64 à 128 µg/mL. Par contre, une forte activité contre *Klebsiella pneumoniae* et *Acinetobacter baumannii* à une concentration de 16 µg/mL est enregistrée. Tandis que leur effet inhibiteur sur les autres bactéries testées s'est avéré négligeable. À l'inverse, les antibiotiques standards utilisés ampicilline et ofloxacine sont très efficaces, avec des CMI comprises entre 0,12 et 2 µg/mL. Par ailleurs, l'activité antifongique de ces huiles est remarquable et évaluée avec une CMI de 8 µg/mL contre *Candida albicans*, comparativement aux antifongiques standards kétoconazole et fluconazole qui ont donné des CMI respectives de 2 µg/mL et 4 µg/mL. Ces résultats confirment que les huiles CP-I et CP-II, possèdent une bonne activité antifongique vis à vis *Candida albicans*, mais leur activité antibactérienne est limitée.

Tableau 10 : Activité antimicrobienne exprimée en concentrations minimales inhibitrices ($\mu\text{g/mL}$), des huiles des graines de citrouille (Sener et al, 2007).

Micro-organismes / Huiles	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>P. mirabilis</i>	<i>K. pneumoniae</i>	<i>A. baumannii</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>C. albicans</i>
<i>C. pepo</i> ssp. <i>pepo-I</i> (CP-I)	64	128	64	16	16	128	128	8
<i>C. pepo</i> ssp. <i>pepo-II</i> (CP-II)	64	128	64	16	16	128	128	8
Ampicilline	2	-	2	2	0.12	<0,12	0.12	-
Ofloxacin	0.12	1	<0,12	0.12	0.12	0.5	0.5	-
Kétoconazole	-	-	-	-	-	-	-	2
Fluconazole	-	-	-	-	-	-	-	4

(-) : absence d'activité

1. 3. Huile des graines de moringa

L'huile et le résidu des graines de moringa extrait à l'eau froide sont évalués *in vitro* selon les méthodes de diffusion sur disque et par micro-dilution sur un ensemble de bactéries pathogènes à savoir *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella typhimurium*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Escherichia coli*. L'effet inhibiteur des différents extraits de moringa (à une concentration de 250 mg/ml) sur la croissance bactérienne a été initialement évalué, et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 11. Conformément aux critères généralement admis pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits des graines de plantes, les extraits de moringa sont jugés actifs contre les souches bactériennes testées lorsque la zone d'inhibition observée dépasse 6 mm de diamètre (Ruttarattanamongkol et Petrasch, 2015).

Tableau 11 : Activité antibactérienne des graines, de l'huile des graines et des extraits des résidus de *Moringa Oleifera* (MO) (Ruttarattanamongkol et Petrasch, 2015).

Bactérie	Graine de MO	Huile de graine de MO ²	Résidu de MO ³
<i>Staphylococcus aureus</i>	–	+	–
<i>Bacillus subtilis</i>	+	+	+
<i>Salmonella typhimurium</i>	+	+	+
<i>Enterobacter aerogenes</i>	+	+	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+	+
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+

(+) : Diamètre de la zone inhibition > à 6 mm.

(-) : Diamètre de la zone d'inhibition < à 6 mm.

MO : Graine de *Moringa oleifera*.

MO² : Huile extraite des graines de *Moringa oleifera*.

MO³ : Résidu solide (tourteau) après extraction de l'huile des graines de *Moringa oleifera*.

De plus, l'activité antifongique de l'huile des graines de moringa contre *malassezia furfur* est illustrée dans la figure 20 qui exprime l'évolution du diamètre de la zone d'inhibition en fonction des différentes concentrations en huile des graines de moringa. Selon le diamètre de la zone d'inhibition, la puissance antimicrobienne est analysée comme suit : faible (< 5 mm), moyenne (5 à 10 mm), forte (10 à 20 mm) et très forte (> 20 mm). L'huile de ces graines démontre une forte puissance antifongique contre *M. furfur* 14,5mm et 18,5mm aux concentrations respectives de 7,5 % et 10 %, et une puissance très forte 26,3mm à 12,5 % (selon les critères établis). Le contrôle positif, le kétoconazole, est classé dans la catégorie très forte, contrairement au contrôle négatif (Tween 80 à 1 %) qui n'a présenté aucune zone d'inhibition, indiquant une absence d'activité inhibitrice. L'activité antifongique de l'huile des graines de moringa contre *M. furfur* est de type concentration-dépendante de telle sorte une concentration plus élevée entraîne une zone d'inhibition plus importante. Cette variation de diamètre reflète la capacité différente de l'huile à inhiber la croissance fongique selon sa concentration, qui influence également sa vitesse de diffusion et par conséquent son effet

inhibiteur. Des résultats comparables ont été rapportés par **El-Mohamedy et al, (2014)**, où l'huile des graines de moringa à une concentration de 2 % a permis de réduire la croissance de *Fusarium sp*, mais cette huile à 2,5% inhibe la croissance des champignons pathogènes tels que *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina phaseolin*. En effet, l'extrait de graines de moringa a montré une activité antifongique directement proportionnelle à sa concentration entre 5 et 25 % (**Korassa et al, 2023**).

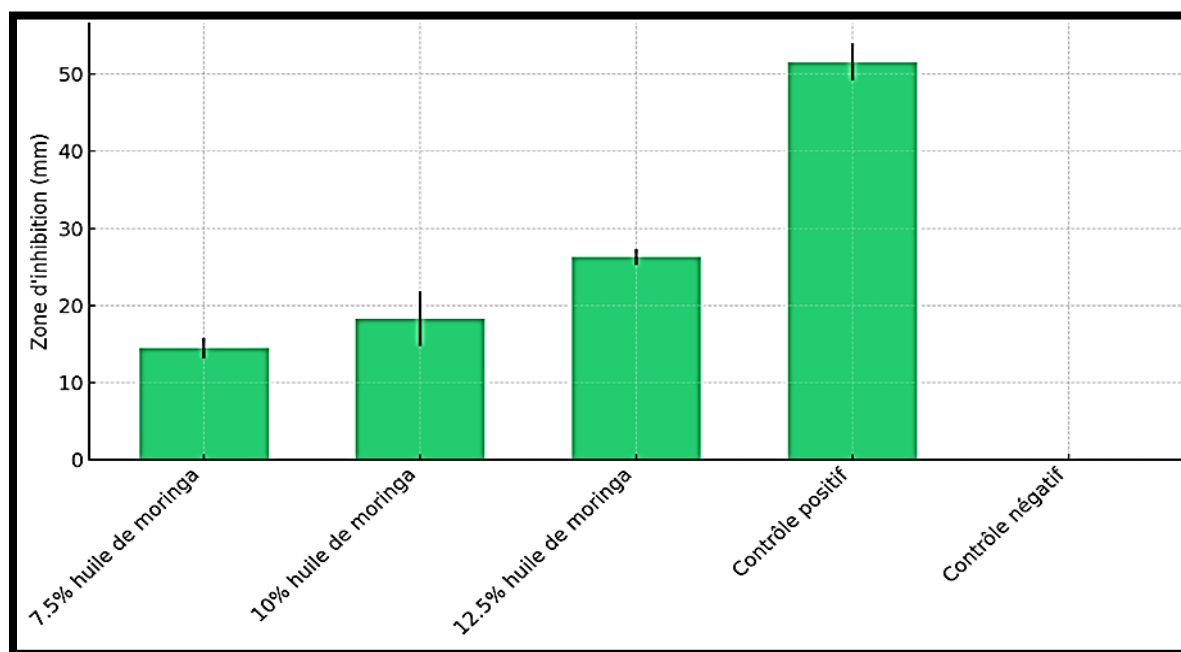


Figure 20 : Activité antifongique de l'huile des graines de moringa contre *M. furfur* (**Korassa et al, 2023**)

2. Comparaison de l'efficacité des huiles étudiés

Parmi les huiles des graines étudiées (nigelle, courge et moringa), l'huile de *Nigella sativa* ressort comme la plus efficace contre les microorganismes pathogènes testés (bactéries et champignons microscopiques). Cette efficacité exceptionnelle se manifeste par des diamètres d'inhibition élevés (jusqu'à 39 mm contre *E. coli*), des concentrations minimales inhibitrices très faibles (jusqu'à 0,67 µg/mL contre *Candida albicans*), ainsi qu'une activité comparable ou même supérieure à celle de plusieurs antibiotiques et antifongiques de référence (streptomycine, oxacilline et fluconazole). Contrairement aux huiles de courge et de moringa, dont l'efficacité reste limitée voir modérée selon les souches ciblées, l'huile de nigelle démontre une activité à large spectre, touchant aussi bien des bactéries Gram positif que des bactéries Gram négatif, y compris des souches résistantes, et plusieurs espèces fongiques pathogènes. Cette efficacité est attribuée à sa composition chimique riche en substances

bioactives puissantes, notamment la thymoquinone, mais aussi d'autres composants comme l'O-cymène ou le carvacrol (Forouzanfar et al, 2014).

2.1. Activité antimicrobienne des huiles d'autres graines

Parallèlement, parmi les huiles extraites des graines des fruits on trouve, l'huile extraite des graines de raisin de la variété balkanique *Vitis vinifera L.* (Tamjanika) qui dispose une activité notable contre les bactéries et les champignons microscopiques, principalement grâce à sa richesse en polyphénols, notamment en proanthocyanidines. Ces composés bioactifs perturbent les membranes cellulaires des micro-organismes et entravent leur métabolisme (Memar et al, 2019). Selon Dordevski et al, (2022). Cette huile a démontré une efficacité inhibitrice marquée vis-à-vis plusieurs bactéries pathogènes, telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* et *Micrococcus flavus*. Cette activité antibactérienne est largement attribuée à la présence de composés phénoliques qui altèrent l'intégrité des membranes cellulaires. Par ailleurs, la même étude rapporte une action antifongique contre divers agents responsables des dermatomycoses, notamment *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Microsporum canis* et *Microsporum gypseum*. Les concentrations minimales inhibitrices de l'huile des graines de raisin mesurés allant de 20 à 40 mg/mL selon les souches étudiées, soulignant ainsi le potentiel thérapeutique de cette huile contre les infections fongiques. De leur côté, Mayer et al. (2008) ont mis en évidence le rôle essentiel des proanthocyanidines et des polyphénols spécifiques abondants dans les pépins de raisin, dans l'action antimicrobienne. Ces molécules interagissent avec les protéines microbiennes et les enzymes, et par conséquent modifient la perméabilité des membranes cellulaires et inhibent ainsi la prolifération bactérienne.

Aussi, l'huile extraite des graines de grenade dispose une activité antimicrobienne significative, attribuée principalement à sa richesse en composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes et les acides gras insaturés. Ces molécules jouent un rôle essentiel en déstabilisant les membranes cellulaires des micro-organismes et en interférant avec leurs processus métaboliques (Debib et al, 2022). L'étude menée par Badr et al. (2020) s'est principalement intéressée à l'effet de l'huile des graines de grenade sur la production des mycotoxines par des champignons phytopathogènes comme *Aspergillus flavus* et *Fusarium culmorum*. Les résultats ont montré que cette huile, riche en acide punicoïque, polyphénols et antioxydants, possède une capacité notable pour inhiber la biosynthèse des mycotoxines. En particulier, l'application de l'huile de grenade a permis de réduire la production d'aflatoxines

B1 par *Aspergillus flavus* à 63,3 %, et celle de zéaralénone par *Fusarium culmorum* à 78,5 %. Concernant l'activité antibactérienne, l'huile des graines de grenade (PGO) a montré une efficacité renforcée contre six souches bactériennes. Les bactéries Gram-positif (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*) ont montré une plus grande sensibilité à l'huile de grenade par rapport aux bactéries Gram-négatif (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Shigella sonni*), où les concentrations minimales inhibitrices des bactéries Gram-positif étaient généralement plus faibles, variant entre 50 et 180 mg/mL pour le PGO, tandis que celles des bactéries Gram-négatif étaient plus élevées, variant entre 70 et 220 mg/mL. Cette efficacité antimicrobienne est fortement associée à la teneur élevée en polyphénols et en acides gras insaturés tels que l'acide linoléique et l'acide oléique. Ces composés sont capables d'interagir avec les protéines microbiennes, d'inhiber les enzymes essentielles et de perturber la perméabilité des membranes, ce qui conduit à la mort des cellules pathogènes (Cairone et al, 2023).

Par ailleurs, l'huile essentielle des graines de moutarde a été évaluée pour son effet antimicrobien notable, qui est principalement attribué à la présence de composés soufrés, en particulier l'isothiocyanate d'allyle (AITC). Selon Patel et al, (2023), l'isothiocyanate d'allyle, isolé à partir de la moutarde, possède une activité antimicrobienne significative. Les chercheurs ont caractérisé ce composé et ont démontré son efficacité contre plusieurs souches microbiennes, notamment *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, et *Candida albicans*. L'isothiocyanate d'allyle agit par perturbation des membranes cellulaires des micro-organismes, ce qui conduit à la perte d'intégrité structurale et par conséquent la mort cellulaire. De manière complémentaire, Mejía-Garibay et al, (2015) ont étudié l'huile essentielle de *Brassica nigra* (moutarde noire) et ont confirmé son activité antifongique notable, tant en application directe qu'en contact par phase vapeur. Les champignons testés incluent *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, et *Botrytis cinerea*. L'efficacité antifongique est directement liée à la concentration en isothiocyanates, principalement l'AITC, qui présente une forte capacité de diffusion et d'action inhibitrice sur ces champignons pathogènes. L'effet, antimicrobien de l'huile des graines de moutarde est principalement attribué à sa richesse en isothiocyanate d'allyle, un composé bioactif soufré. Sa structure chimique réactive permet de perturber les systèmes biologiques des pathogènes, ce qui en fait un agent antimicrobien promoteur d'origine naturelle. Le tableau 12 récapitule les composés bioactifs des huiles des graines étudiées.

Tableau 12 : Les composés actifs des huiles des graines étudiées.

Huile de graine	Nom scientifique	Composés actifs	Référence
1/ Nigelle	<i>Nigella sativa</i>	Thymoquinone, carvacrol, thymol, nigellone	Gürel et Polat, (2024).
2/ Citrouille	<i>Cucurbita pepo</i>	Acides gras insaturés, tocophérols, phytostérols	Shajan et al, (2024).
3/ Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	Acide béhénique, flavonoïdes, phytostérols	Chhikara et al, (2021)
4/ Moutarde	<i>Brassica nigra</i>	Isothiocyanate d'allyle	Patel et al. (2023).
5/ Grenade	<i>Punica granatum</i>	Polyphénols flavonoïdes, acide punicoïque	Cairone et al, (2023).
6/ Raisin	<i>Vitis vinifera</i>	Polyphénols	Mayer et al. (2008).

Les graines représentent une structure végétale spécialisée résultant de la fécondation, distincte des racines et des parties aériennes telles que les tiges et les feuilles. Contrairement à ces dernières, qui assurent principalement des fonctions physiologiques telles que l'absorption de l'eau et des nutriments (racines) ou la photosynthèse (feuilles), les graines sont avant tout des organes de réserve et de reproduction. Elles se distinguent par une accumulation importante de composés énergétiques et fonctionnels, notamment les lipides, les protéines de réserve et divers métabolites secondaires. Chez les plantes oléagineuses, les graines présentent des teneurs particulièrement élevées en huiles riches en acides gras essentiels, bien supérieures à celles trouvées dans les autres tissus végétaux. Cette richesse en substances bioactives, telles que les flavonoïdes, les polyphénols ou encore les antioxydants, confère aux graines des propriétés nutritionnelles, médicinales et antimicrobiennes significatives, absentes ou faiblement représentées dans les racines ou les parties aériennes (**Sripathy et Groot, 2023**).

2.2. Applications potentielles des huiles des graines à activité antimicrobienne

L'huile de *Nigella sativa* présente de multiples applications potentielles, tant dans le domaine alimentaire que cosmétique, en raison de ses propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires remarquables. Dans l'industrie agroalimentaire, elle constitue une alternative naturelle prometteuse aux conservateurs synthétiques (**Hassanien et al., 2015**). Grâce à sa richesse en composés bioactifs tels que la thymoquinone, le p-cymène, le carvacrol et l' α -thujène, elle permet de limiter l'oxydation des lipides et de freiner la

croissance des micro-organismes responsables de la dégradation des aliments. Utilisée traditionnellement comme épice et conservateur dans divers plats, l'huile de nigelle est désormais intégrée dans des formulations alimentaires modernes, notamment pour les produits laitiers, les viandes, les pains ou les sauces. Par ailleurs, selon **Nasiri et al. (2022)**, cette huile offre également un intérêt thérapeutique en dermatologie. Appliquée localement, elle se montre efficace pour soulager les affections cutanées telles que l'acné, l'eczéma ou le psoriasis, en réduisant les inflammations et en favorisant la cicatrisation sans effets secondaires notables. Sa bonne tolérance cutanée et son efficacité en font un ingrédient de choix dans les soins cosmétiques naturels, notamment pour les peaux sensibles ou à tendance acnéique. Ainsi, l'huile de *Nigella sativa* s'impose comme un produit polyvalent, conjuguant sécurité, efficacité et naturalité dans les secteurs alimentaires et dermocosmétiques.

L'huile des pépins de courge (*Cucurbita Pepo*) est un corps gras aux propriétés émoullientes, capable de former un film occlusif à la surface de la peau, limitant ainsi la perte insensible en eau. Elle est particulièrement indiquée pour les peaux sèches, desquamées, abîmées ou matures. En cosmétique, elle entre fréquemment dans la composition des soins anti-âge, des produits protecteurs ou encore des formulations capillaires (**Wargala et al, 2023**). Au-delà de ses vertus pharmacologiques et nutritionnelles, cette huile se distingue par ses caractéristiques sensorielles uniques : couleur, odeur, goût et arôme, qui la différencient nettement des autres huiles alimentaires. Très prisée comme assaisonnement dans plusieurs pays d'Europe du Sud-Est, tels que l'Autriche, la Slovénie, la Croatie et la Hongrie, son usage culinaire tend à s'étendre à d'autres régions. Elle se marie parfaitement avec des salades, des sauces, des plats de légumes, mais également avec des tartinades, du fromage de brebis, des soupes, des plats à base d'œufs et même certaines pâtisseries (**Ramadan, 2019**).

L'huile de graines des moringa quant à elle, présente un fort potentiel dans le domaine de la nutrition animale. Grâce à sa richesse en acides gras insaturés, elle constitue une source d'énergie précieuse pour les ruminants, notamment les vaches laitières à haut rendement. En outre, sa teneur en antioxydants et en composés bioactifs permet de moduler favorablement la fermentation ruminale. Ces propriétés en font une alternative intéressante aux additifs alimentaires chimiques, notamment les antibiotiques, afin d'améliorer la digestibilité et la valorisation des rations alimentaires, contribuant ainsi à une meilleure productivité animale (**Ebeid et al, 2019**). Parallèlement, l'huile des graines de moringa est utilisée depuis l'Égypte ancienne dans des préparations dermatologiques. De couleur jaune pâle et dotée d'un goût agréable, elle est réputée pour sa qualité comparable à celle de l'huile d'olive. Ces propriétés

font d'elle un composé précieux dans l'industrie cosmétique, où elle est valorisée pour ses bienfaits nourrissants et protecteurs pour la peau (Warra, 2014).

3. Autres activités biologiques des huiles extraites des graines étudiées

3.1. Activité anticancéreuse

Il a été établi que les huiles extraites des graines exercent une influence bénéfique sur le système immunitaire au niveau biochimique, indépendamment de leur action directe sur les cellules tumorales (Bhalla et al, 2013). L'étude de Batool et al, (2022) a évalué l'effet combiné de l'huile des graines de palmier nain et de citrouille sur le cancer de la prostate. Cette étude, menée auprès de 47 patients âgés en moyenne de 53,3 ans, a révélé qu'après trois mois, la combinaison des deux huiles entraînait une baisse du taux sérique de l'antigène prostatique spécifique. De plus, une administration orale quotidienne de 20 à 40 mg/kg d'huile de pépins de courge pendant 20 jours s'est avérée efficace pour inhiber l'hyperplasie prostatique induite par la testostérone. Concernant *Nigella sativa*, son huile est reconnue pour sa capacité à stimuler les cellules NK (*Natural Killers*), suggérant un potentiel d'application en immunothérapie. Néanmoins, ses composants pourraient exercer des effets prooxydants, pouvant, dans certains cas, favoriser des processus cancérigènes (Sowunmi et al, 2023). Par ailleurs, l'étude de Salem, (2005) montre l'effet de l'huile volatile des graines de *N. sativa* sur différentes lignées cellulaires cancéreuses humaines et a mis en évidence une cytotoxicité marquée sur plusieurs types cellulaires. Enfin, l'huile des graines de moringa a également démontré des propriétés antitumorales. Les résultats des recherches récentes ont montré que cette huile possède une forte activité cytotoxique, attribuée à la présence de composés tels que le thymol, l'eugénol et l'hydroxytoluène butylé. En outre, la richesse en composés phénoliques de l'huile essentielle des graines de moringa pourrait expliquer ses effets thérapeutiques notables (Shahbaz et al, 2024).

3.2. Activité antioxydante

Les antioxydants sont couramment intégrés aux procédés industriels afin de limiter les effets délétères sur la santé humaine et améliorer la stabilité des produits alimentaires durant leur conservation (Kiralan et al, 2021). L'huile extraite des graines de *Nigella sativa* suscite un intérêt croissant en raison de sa composition exceptionnelle en substances bioactives. Sur le plan de l'activité antioxydante, la thymoquinone et le thymol émergent comme les constituants les plus efficaces, la thymoquinone, se distingue par sa capacité marquée à piéger les radicaux libres, avec un fort potentiel démontré dans les essais *in vitro* (Alrashidi et al,

2022). L'efficacité antioxydante globale de l'huile essentielle de *Nigella sativa* et de ses principaux composants a été évaluée à l'aide du test au DPPH, révélant des activités variables selon les molécules (**Al-Naqeeb et al, 2009**).

Les activités antioxydantes des huiles des pépins de courge ont été évaluées à l'aide du test de blanchiment β -carotène/acide linoléique, une méthode de référence pour mesurer l'inhibition de la peroxydation lipidique. Les résultats obtenus de l'étude de **Badraa et al, (2016)** ont été comparés à ceux d'un antioxydant de synthèse, le BHT, connu pour sa forte capacité antioxydante. Cette huile a démontré une inhibition de la peroxydation lipidique supérieure à celle du BHT. Selon **Benalia et al, (2015)**, les extraits huileux issus de certaines graines de citrouille présentent une capacité notable à piéger les radicaux libres. Ainsi, la réintégration des graines de *Cucurbita pepo* dans l'alimentation quotidienne apparaît non seulement acceptable, mais pourrait également représenter une pratique culturelle pertinente dans la prévention ou le contrôle des pathologies liées au stress oxydatif.

De sa part, l'huile extraite des graines de moringa présente également d'importantes propriétés antioxydantes. L'étude de **Shahbaz et al, (2024)** montre que, sous l'effet d'antioxydants présents dans les échantillons testés, la forme ferrique du complexe Fe^3 /ferricyanure était réduite en forme ferreuse. L'augmentation des concentrations d'extrait ainsi que d'huile essentielle de *Moringa oleifera* s'est traduite par un accroissement du pouvoir réducteur, indiquant une capacité potentielle à neutraliser les radicaux libres en les transformant en molécules plus stables et en interrompant ainsi la cascade de formation des espèces réactives de l'oxygène. Par ailleurs, il a été observé que l'huile des graines de moringa contribue efficacement à la réduction du radical libre DPPH. L'activité de piégeage des radicaux libres s'est également améliorée proportionnellement à l'augmentation des quantités d'huile de moringa et de vitamine E.

3.3. Activité antidiabète

L'huile des graines de *Cucurbita sp* est reconnue par ses effets préventifs contre le diabète ainsi que pour ses nombreux bienfaits sur la santé. De nos jours, l'huile et l'extrait des graines de courge suscitent un intérêt croissant en raison de leur haute valeur nutritionnelle et de leurs propriétés médicinales (**Wargala et al, 2023**). En complément des recherches *in vivo*, selon **Batool et al, (2022)** plusieurs essais cliniques ont été réalisés afin d'évaluer l'efficacité de l'huile de citrouille dans la prise en charge du diabète de type 2. Les résultats indiquent que la citrouille contribue à la régulation de la glycémie en stimulant la sécrétion d'insuline et en

limitant diverses complications liées au diabète. Ainsi, elle pourrait exercer un effet protecteur contre l'hyperglycémie chez les patients diabétiques. Aussi, *Nigella sativa* a démontré une efficacité notable dans la réduction de la glycémie, accompagnée d'une élévation des niveaux d'insuline et de peptide C. Par ailleurs, une étude indique qu'un traitement à base d'huile de *N. sativa* administré à raison de 3 g trois fois par jour pourrait améliorer le contrôle glycémique. Ainsi, *N. sativa* et la thymoquinone (TQ) apparaissent comme des options thérapeutiques prometteuses pour les patients atteints de diabète de type 1 et 2, en raison de leur capacité à préserver l'intégrité des cellules bêta et à favoriser une sécrétion suffisante d'insuline, éléments essentiels au soutien de la glycogénèse et à la régulation des taux élevés de glucose sanguin (**Sowunmi et Kaka, 2023**). *Moringa oleifera* est aussi reconnue pour ses propriétés thérapeutiques remarquables et son potentiel d'utilisation dans la médecine traditionnelle pour le traitement du diabète sucré (**Dhakad et al, 2019**). L'huile extraite des graines de moringa joue également un rôle clé dans le processus de cicatrisation des plaies chez les patients diabétiques. L'étude de **Shahbaz et al, (2024)** a évalué les effets de l'acide oléique et de l'huile des graines de *M. oleifera* sur la guérison des lésions diabétiques. Les résultats ont montré que l'application d'huile de graines de moringa accélère la cicatrisation des plaies chez les souris diabétiques par rapport aux témoins, bien que l'acide oléique soit révélé encore plus efficace. Toutefois, il existe actuellement peu de données fiables concernant l'efficacité de *M. oleifera* dans la régulation des niveaux glycémiques.

Conclusion et perspectives

Dans le cadre de la valorisation des ressources naturelles comme alternative aux produits chimiques de synthèse, nous avons mené ce travail qui porte sur l'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles extraites des graines de Nigelle, de Citrouille et de Moringa. Ces graines sont connues par leurs richesses en composés nutritifs et divers métabolites secondaires responsables de multiples activités biologiques, mettant en lumière leur activité contre des microorganismes pathogènes. Les résultats de l'analyse des études actuelles démontrent que ces huiles présentent un potentiel thérapeutique important, non seulement contre des bactéries et des champignons pathogènes, mais aussi dans d'autres domaines à savoir l'anticancéreux, l'antioxydant et l'antidiabétique.

Cette étude comparative des huiles extraites de *Nigella sativa*, de *Cucurbita spp* et de *Moringa oleifera* a confirmé leur potentiel antimicrobien et leurs activités biologiques. L'huile de nigelle s'est révélée la plus efficace, montrant une action marquée contre une large gamme de microorganismes pathogènes atteignant un diamètre d'inhibition de 39 mm contre *Escherichia coli* et une CMI très faible de 1,34 µg/mL, ainsi qu'une activité antifongique exceptionnelle contre *Candida albicans*, avec un taux d'inhibition de 42 % et une CMI de seulement 0,67 µg/mL. Ces performances sont supérieures à celles des antibiotiques et des antifongiques de référence, qui s'expliquent par sa composition riche en molécules bioactives comme la thymoquinone.

L'huile de citrouille a également démontré un potentiel antimicrobien bien observé, confirmant son intérêt dans une approche thérapeutique naturelle.

Quant à l'huile de moringa, bien que des effets aient été détectés, les résultats restent plus limités et suggèrent la nécessité des recherches approfondies pour mieux en cerner les mécanismes et les applications.

Sur le plan professionnel, ces résultats encouragent l'intégration prioritaire de l'huile de nigelle dans des préparations pharmaceutiques, sans négliger le potentiel complémentaire des autres huiles. D'un point de vue universitaire, cette investigation ouvre des perspectives stimulantes pour explorer d'avantage les propriétés spécifiques de chaque huile, notamment dans des modèles expérimentaux et cliniques. Ainsi, l'étude contribue à enrichir la réflexion sur le développement des solutions naturelles innovantes pour lutter les infections microbiennes et prévenir certaines maladies chroniques.

L'analyse de ces résultats suggère des perspectives prometteuses pour orienter ce travail dans l'avenir. Il serait intéressant de :

- Étendre l'étude à d'autres huiles extraites des graines et explorer plus en profondeur leur interaction avec différents types de pathogènes ;
- Évaluer leur potentiel dans des modèles cliniques et *in vivo* pour confirmer l'efficacité de ces huiles dans des conditions réelles de traitement ;
- Explorer les mécanismes moléculaires sous-jacents à leurs activités antimicrobiennes et biologiques pour mieux cibler les applications thérapeutiques ;
- Développer des stratégies innovantes d'extraction des huiles pour préserver au mieux la qualité des composés bioactifs, maximisant ainsi leur potentiel ;
- Intégrer ces huiles dans des approches thérapeutiques alternatives aux antibiotiques et antifongiques chimiques, contribuant ainsi à la réduction des résistances aux antimicrobiens ;
- Offrir des solutions naturelles pour le traitement et la prévention des maladies infectieuses.

Références bibliographiques

A

- **Abd El-Aziz, A. B., & Abd El-Kalek, H. H. (2011).** *Antimicrobial proteins and oil seeds from pumpkin (Cucurbita moschata).* *Nature and Science*, 9(3), 105-119.
- **Abdallah, R., Frikha, D., Maalej, S., & Sassi, S. (2019).** *Evaluation in vitro de l'activité antibactérienne et antifongique de quatre espèces algales marines. in vitro evaluation of the antibacterial and antifungal activities of marine algae.* *Journal de l'Information Médicale de Sfax*, 38-44.
- **Abdul-Majeed, B. A., Hassan, A. A., & Kurji, B. M. (2013).** *Extraction of oil from Eucalyptus camadulensis using water distillation method.* *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, 14(2), 7-12.
- **Abo-Neima, S. E., El-Sheekh, M. M., Al-Zaban, M. I., & El-Sayed, A. I. (2023).** *Antibacterial and anti-corona virus (229E) activity of Nigella sativa oil combined with photodynamic therapy based on methylene blue in wound infection: in vitro and in vivo study.* *BMC microbiology*, 23(1), 274.
- **Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S. A., Najmi, A. K., Siddique, N. A., ... & Anwar, F. (2013).** *A review on therapeutic potential of Nigella sativa: A miracle herb.* *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 3(5), 337-352.
- **Ajulo, S., & Awosile, B. (2024).** *Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS 2022): Investigating the relationship between antimicrobial resistance and antimicrobial consumption data across the participating countries.* *PLoS One*, 19(2), e0297921
- **Akin, G., Arslan, F. N., Elmasa, S. K., & Yilmaz, I. (2018).** *Cold-pressed pumpkin seed (Cucurbita pepo L.) oils from the central Anatolia region of Turkey: Characterization of phytosterols, squalene, tocopherols, phenolic acids, carotenoids and fatty acid bioactive compounds.* *Grasas y aceites*, 69(1), e232-e232.
- **Ali, S. A. M., Muddathir, A. M., & Hassan, A. B. (2022).** *The physical and chemical characteristics of seeds oil of local Sudanese pumpkin (Cucurbita moschata Duchesne).* *Journal of oleo science*, 71(11), 1605-1612.
- **Al-Naqeeb, G., Ismail, M., & Al-Zubairi, A. S. (2009).** *Fatty acid profile, α -tocopherol content and total antioxidant activity of oil extracted from Nigella sativa seeds.* *International Journal of Pharmacology*, 5(4), 244-250.

- **Alrashidi, M., Derawi, D., Salimon, J., & Yusoff, M. F. (2022).** *The effects of different extraction solvents on the yield and antioxidant properties of Nigella sativa oil from Saudi Arabia. Journal of Taibah University for Science*, 16(1), 330-336.
- **Alviano, D. S., & Alviano, C. S. (2009).** *Plant extracts: search for new alternatives to treat microbial diseases. Current pharmaceutical biotechnology*, 10(1), 106-121
- **Amaike, S., & Keller, N. P. (2011).** *Aspergillus flavus. Annual review of phytopathology*, 49(1), 107-133.
- **Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007).** *Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 21(1), 17-25.
- **Argon, Z., & Gokyer, A. (2016).** *Determination of physicochemical properties of Nigella sativa seed oil from Balıkesir region, Turkey. Chemical and Process Engineering Research*, 41, 43-46.
- **Arslan, F. N., Akin, G., & Yılmaz, İ. (2017).** *Physicochemical characteristics, pesticide residue and aflatoxin contamination of cold pressed pumpkin seed (Cucurbita pepo L.) oils from central Anatolia region of Turkey. Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 18(2), 468-483.

B

- **Badr, A. N., Ali, H. S., Abdel-Razek, A. G., Shehata, M. G., & Albaridi, N. A. (2020).** *Bioactive components of pomegranate oil and their influence on mycotoxin secretion. Toxins*, 12(12), 748.
- **Bardaa, S., Ben Halima, N., Aloui, F., Ben Mansour, R., Jabeur, H., Bouaziz, M., & Sahnoun, Z. (2016).** *Pumpkin seed oil (Cucurbita pepo L.): evaluation of its functional properties on wound healing in rats. Lipids, health and disease*, 15, 1-12.
- **Barrahi, M., Esmail, A., Elhartiti, H., Chahboun, N., Benali, A., Amiyare, R., ... & Ouhssine, M. (2020).** *Chemical composition and evaluation of antibacterial activity of fennel (Foeniculum vulgare Mill) seed essential oil against some pathogenic bacterial strains. Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(4), 295-307.
- **Barret, J. (2024).** *Clonage, ingénierie et transfert de grands fragments de génome chez Bacillus subtilis (Doctoral dissertation, Université de Bordeaux).*

- **Basavaraju, M., & Gunashree, B. S. (2022).** *Escherichia coli: an overview of main characteristics. Escherichia coli-Old and New Insights.*
- **Batool, M., Ranjha, M. M. A. N., Roobab, U., Manzoor, M. F., Farooq, U., Nadeem, H. R., ... & Ibrahim, S. A. (2022).** *Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (Cucurbita sp.). Plants, 11(11), 1394.*
- **Belhaoues Farah, M. M. (2013).** *Activité antibactérienne des nanoparticules métalliques (AgNO₃, ZnO, CuO) vis-à-vis de Staphylococcus aureus et Pseudomonas aeruginosa.*
- **Ben-Moussa, M. T., Khelil, K., Harkat, H., Lakehal, S., & Hadeif, Y. (2020).** *Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de Brocchia cinerea VIS. D'Algérie. Med Sci, 7(2), 122-8.*
- **Benzohra, I. E. (2019).** *Activité antifongique de l'extrait méthanolique de R'tem (Retama raetam) sur la croissance mycélienne et la sporulation de Fusarium oxysporum f. sp. albedinis, agent de Bayoud du Palmier dattier. Journal Algérien des Régions Arides, 13(2), 1-11.*
- **Bhalla, Y., Gupta, V. K., & Jaitak, V. (2013).** *Anticancer activity of essential oils : a review. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93(15), 3643-3653.*
- **Bhardwaj, S., & Bhatia, S. (2023).** *Microbes used as anticancer agents and their potential application in biomedicine. In Recent Advances and Future Perspectives of Microbial Metabolites (pp. 173-215). Academic Press.*
- **Boucekouk, C., Kara, F. Z., Tail, G., Saidi, F., & Lazar, M. (2018).** *Bio-aphicidal potential of Algerian Pteridium aquilinum Linne essential oil against Aphis fabae (Hemiptera: Aphididae).*
- **Boukhatem, M. N., Ferhat, A., & Kameli, A. (2019).** *Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. Une, 3(4), 1653-1659.*
- **Butt, M. S., & Sultan, M. T. (2010).** *Nigella sativa: reduces the risk of various maladies. Critical reviews in food science and nutrition, 50(7), 654-665.*

C

- **Cairone, F., Salvitti, C., Iazzetti, A., Fabrizi, G., Troiani, A., Pepi, F., & Cesa, S. (2023).** *In-depth chemical characterization of Punica granatum L. seed oil. Foods, 12(8), 1592*
- **Cenkowski, S., Yakimishen, R., Przybylski, R., & Muir, W. E. (2006).** *Quality of extracted sea buckthorn seed and pulp oil. Canadian biosystems engineering, 48, 3.*

- **Chandra, S., Kumar, M., Dwivedi, P., & Shinde, L. P. (2020).** *Functional and nutritional health benefit of cold-pressed oils: a review. Journal of Agriculture and Ecology*, 9, 21-29.
- **Chhikara, N., Kaur, A., Mann, S., Garg, M. K., Sofi, S. A., & Panghal, A. (2021).** *Bioactive compounds, associated health benefits and safety considerations of Moringa oleifera L.: An updated review. Nutrition & Food Science*, 51(2), 255-277.
- **Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2012).** *Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically; Approved standard—ninth edition. CLSI document M07-A9. Wayne, PA: CLS*
- **Constantin, O. E., Stănciuc, N., Aprodu, I., & Râpeanu, G. (2024).** *Pumpkin and Pumpkin By-Products: A Comprehensive Overview of Phytochemicals, Extraction. Health Benefits, and Food Applications. Foods*, 13, 2694.
- **Correa, M. G., Martínez, F. B., Vidal, C. P., Streitt, C., Escrig, J., & de Dicastillo, C. L. (2020).** *Antimicrobial metal-based nanoparticles: A review on their synthesis, types and antimicrobial action. Beilstein journal of nanotechnology*, 11(1), 1450-1469.

D

- **D'hooge, E., Becker, P., Stubbe, D., Normand, A. C., Piarroux, R., & Hendrickx, M. (2019).** *Black aspergilli: A remaining challenge in fungal taxonomy? Medical mycology*, 57(6), 773-780.
- **DADDA, H., OULD AOUMEUR, F., SABOUNI, S., & ABEKHTI, A. (2022).** *Comparaison du métabolisme et de croissance des bactéries en fonction de la composition du milieu de culture (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).*
- **Debib, A., Menadi, S., Sahnouni, F., Boukhatem, M. N., & KACED, A. (2022).** *Bacterial inhibitory effect of Algerian pomegranate (Punica Granatum L.) extracts (Peel, juice, and seed) against multidrug resistant Bacteria. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(4), e4622-e4622.
- **Dhakad, A. K., Ikram, M., Sharma, S., Khan, S., Pandey, V. V., & Singh, A. (2019).** *Biological, nutritional, and therapeutic significance of Moringa oleifera Lam. Phytotherapy Research*, 33(11), 2870-2903.
- **Dhiman, A. K., Sharma, K. D., & Attri, S. (2009).** *Functional constituents and processing of pumpkin: A review. Journal of Food Science and Technology*, 46(5), 411.

- Dieye, P. I., Ndiaye, S., Dione, F., Diop, A., Dieng, A., Diop, A., ... & Sarr, S. O. (2021). *Étude corrélée de l'activité antibactérienne et antifongique des extraits de Jatropha chevalieri et de Cordylla pinnata, et de leurs profils chromatographiques. Journal of Applied Biosciences, 159(1), 16396-16410.*
- Dimić, I., Pavlić, B., Rakita, S., Cvetanović Kljakić, A., Zeković, Z., & Teslić, N. (2022). *Isolation of cherry seed oil using conventional techniques and supercritical fluid extraction. Foods, 12(1), 11.*
- Djilani, A., & Dicko, A. (2011). *A novel method for extraction of oils from oleaginous seeds. Journal of the Brazilian Chemical Society, 22, 2018-2021.*
- Đorđevski, N., Stojković, D., Živković, J., Pljevljakušić, D., Ristanović, E., Nikolić, B., & Ćirić, A. (2022). *Tamjanika, a Balkan native variety of Vitis vinifera L.: Chemical characterization, antibacterial, and anti-dermatomycosis potential of seed oil. Food Science & Nutrition, 10(4), 1312-1319.*
- Dotto, J. M., & Chacha, J. S. (2020). *The potential of pumpkin seeds as a functional food ingredient: A review. Scientific African, 10, e00575.*
- Drobniewski, F. A. (1993). *Bacillus cereus and related species. Clinical microbiology reviews, 6(4), 324-338.*
- Durgut, M. R. (2025). *Optimized Biodiesel Production from Pumpkin (Cucurbita pepo L.) Seed Oil: A Response Surface Methodology for Microwave-Assisted Transesterification. Processes, 13(2), 572.*

E

- Ebeid, H. M., Shaaban, M. M., Gawad, R. M. A., Saleh, H. M., & Aboamer, A. A. (2019). *Effect of moringa oleifera seed oil as natural feed supplement on the productive performance of lactating ewes. Egyptian Journal of Nutrition and Feeds, 22(2), 273-282.*
- El-Mohamedy, R. S., Abdalla, A. M., & Adam, S. M. (2014). *Preliminary studies on response of Moringa oleifera plants to infection with some soil borne plant pathogenic fungi. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci, 3(12), 389-397.*
- Eskilsson, C. S., & Björklund, E. (2000). *Analytical-scale microwave-assisted extraction. Journal of chromatography A, 902(1), 227-250.*

F

- **Fakhfakh, J., Ben-Youssef, S., Naushad, M., & Allouche, N. (2019).** *Different extraction methods, physical properties and chemical composition of date seed oil. Sustainable agriculture reviews 34: date palm for food, medicine and the environment, 125-153.*
- **Forde, C. J., Meaney, M., Carrigan, J. B., Mills, C., Boland, S., & Hernon, A. (2014).** *Biobased fats (lipids) and oils from biomass as a source of bioenergy. Bioenergy Research: Advances and Applications, 185-201.*
- **Forouzanfar, F., Bazzaz, B. S. F., & Hosseinzadeh, H. (2014).** *Black cumin (Nigella sativa) and its constituent (thymoquinone): a review on antimicrobial effects. Iranian journal of basic medical sciences, 17(12), 929.*
- **Fravel, D., Olivain, C., & Alabouvette, C. (2003).** *Fusarium oxysporum and its biocontrol. New phytologist, 157(3), 493-502.*
- **Fu, X., Su, J., Hou, L., Zhu, P., Hou, Y., Zhang, K., ... & Xu, J. (2021).** *Physicochemical and thermal characteristics of Moringa oleifera seed oil. Advanced Composites and Hybrid Materials, 4, 685-695*

G

- **González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2023).** *Bacillus subtilis y Trichoderma: Características generales y su aplicación en la agricultura. TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas, 25(1), 1-14.*
- **Gulzar, M., & Zehra, A. (2018).** *Staphylococcus aureus: A brief review. Int J Vet Sci Res, 4(1), 020-022.*
- **Gürel, Ş. H., & Polat, D. Ç. (2024).** *Nigella sativa L.: an overview. Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 49(1), 21*

H

- Hannan, M. A., Rahman, M. A., Sohag, A. A. M., Uddin, M. J., Dash, R., Sikder, M. H., ... & Kim, B. (2021). *Black cumin (Nigella sativa L.): A comprehensive review on phytochemistry, health benefits, molecular pharmacology, and safety*. *Nutrients*, 13(6), 1784.
- Harzallah, H. J., Noumi, E., Bekir, K., Bakhrouf, A., & Mahjoub, T. (2012). *Chemical composition, antibacterial and antifungal properties of Tunisian Nigella sativa fixed oil*. *African Journal of Microbiology Research*, 6(22), 4675-4679.
- Hassanien, M. F., Assiri, A. M., Alzohairy, A. M., & Oraby, H. F. (2015). *Health-promoting value and food applications of black cumin essential oil: an overview*. *Journal of food science and technology*, 52, 6136-6142.
- Herzyk, F., Pilakowska-Pietras, D., & Korzeniowska, M. (2024). *Supercritical extraction techniques for obtaining biologically active substances from a variety of plant byproducts*. *Foods*, 13(11), 1713.
- Hu, J., Li, J., Liu, C., Zhang, Y., Xie, H., Li, C., ... & Cao, X. (2022). *Molecular characteristics of global β -lactamase-producing Enterobacter cloacae by genomic analysis*. *Bmc Microbiology*, 22(1), 255.
- Hu, Z., Hu, C., Li, Y., Jiang, Q., Li, Q., & Fang, C. (2024). *Pumpkin seed oil: a comprehensive review of extraction methods, nutritional constituents, and health benefits*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(2), 572-582.
- Hussain, A., Kausar, T., Din, A., Murtaza, A., Jamil, M. A., Noreen, S., & Iqbal, M. A. (2021). *Antioxidant and antimicrobial properties of pumpkin (Cucurbita maxima) peel, flesh and seeds powders*. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 11(6), 42-51.

I

- Ibrahim, S. E., Yuan, Q., Ahmed, I. F., Khalil, O., & El Badri, A. (2010). *In vitro antimicrobial activity of summer squash (Cucurbita pepo L.)*. *University of Africa Journal of Science*, 1, 77-89.

J

- Jacobo-Valenzuela, N., Maróstica-Junior, M. R., de Jesús Zazueta-Morales, J., & Gallegos-Infante, J. A. (2011). *Physicochemical, technological properties, and health-*

benefits of Cucurbita moschata Duchense vs. Cehualca: A Review. Food research international, 44(9), 2587-2593.

- Jean, Kossi & Tokoudagba, Marie & Ba, Rafiatou & Assanhou, Assogba & Akovobahou, Noelie & Gbaguidi, Fernand & Baba-Moussa, Lamine. (2024). *Cytotoxicité in vitro et activité antibactérienne des fractions de l'extrait hydro éthanolique de Abrus precatorius (Fabaceae)*. 45. 1-7.
- Jomat, O., Géry, A., Leudet, A., Capitaine, A., Garon, D., & Bonhomme, J. (2023). *Spectrometric Characterization of Clinical and Environmental Isolates of Aspergillus Series Versicolores*. *Journal of Fungi*, 9(9), 868.

K

- Kadeřábková, N., Mahmood, A. J. S., & Mavridou, D. A. I. (2024). *Antibiotic susceptibility testing using minimum inhibitory concentration (MIC) assays*. *npj antimicrobials and resistance*, 2(1), 37. <https://doi.org/10.1038/s44259-024-00051-6>.
- Kiralan, M., Kiralan, SS, Ozkan, G., & Ramadan, MF (2021). *Composition and functionality of Nigella sativa fixed oil. Black cumin (Nigella sativa) seeds: chemistry, technology, functionality and applications*, 319-333.
- Köpke, U., Thiel, B., & Elmholt, S. (2007). *Strategies to reduce mycotoxin and fungal alkaloid contamination in organic and conventional cereal production systems*. In *Handbook of organic food safety and quality* (pp. 353-391). Woodhead Publishing.
- Korassa, Y. B., Saptarini, N. M., Mustarichie, R., Hendriani, R., Blegur, F., Tenda, P. E., & Mamulak, Y. I. (2023). *Antifungal Activity of Moringa (Moringa Oleifera Lamk.) Seed Oil from East Nusa Tenggara, Indonesia, against Malassezia Furfur Causes Seborrheic Dermatitis*. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 50(5).
- Kumar, N., Pratibha, & Pareek, S. (2021). *Bioactive compounds of moringa (moringa species)*. *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*, 503-524.

L

- Latgé, J. P. (1999). *Aspergillus fumigatus and aspergillosis*. *Clinical microbiology reviews*, 12(2), 310-350.

- Lavenburg, V. M., Rosentrater, K. A., & Jung, S. (2021). *Extraction methods of oils and phytochemicals from seeds and their environmental and economic impacts. Processes*, 9(10), 1839.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2016). *Moringa oleifera seeds and oil: Characteristics and uses for human health. International journal of molecular sciences*, 17(12), 2141.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2016). *Moringa oleifera seeds and oil: Characteristics and uses for human health. International journal of molecular sciences*, 17(12), 2141.
- Li, Z., Peng, C., Zhang, G., Shen, Y., Zhang, Y., Liu, C., ... & Wang, F. (2022). *Prevalence and characteristics of multidrug-resistant Proteus mirabilis from broiler farms in Shandong Province, China. Poultry science*, 101(4), 101710.
- Liu, X. Y., Wang, B. J., Jiang, C. Y., & Liu, S. J. (2007). *Micrococcus flavus sp. nov., isolated from activated sludge in a bioreactor. International journal of systematic and evolutionary Microbiology*, 57(1), 66-69.
- López-Salazar, H., Camacho-Díaz, B. H., Ocampo, M. A., & Jiménez-Aparicio, A. R. (2023). *Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A Review. Bioresources*, 18(3), 6614.
- Louaer, M., & Zermane, A. (2019). *Etude de l'extraction des huiles végétales des noyaux de dattes et graines de sésame par Co2 supercritique (Doctoral dissertation, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques)*.
- L. Rezig, M. Chouaibi, W. Meddeb, K. Msaada, S. Hamdi. (2019). *Chemical composition and bioactive compounds of Cucurbitaceae seeds : potential sources for new trends of plant oils Process Safe. Environ. Protect.*, 127 , pp. 73-81
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.05.005>

M

- Maitra, S., Bhadra, P., & Shankar, T. (2021). *Medicinal and Aroma-therapeutic Use of Plants. Aromatherapy and its Benefits. Renu Publishers, New Delhi*, 15-29..
- Mariem, Saada & Ben Jemaa, Mariem & Ayari, Eskander & Msaada, Kamel. (2021). *Effet de la provenance sur la composition chimique et l'activité antibactérienne des huiles essentielles des graines de la coriandre (Coriandrum sativum L.)*

- **Maryam, M., & Manzoor, A. (2023).** *Exploring the commercial versatility of Moringa oleifera: A valuable resource for diverse industries. Journal of Plant Sciences, 1(1), 1-9.*
- **Mayer, R., Stecher, G., Wuerzner, R., Silva, R. C., Sultana, T., Trojer, L., ... & Bonn, G. K. (2008).** *Proanthocyanidins: target compounds as antibacterial agents. Journal of agricultural and food Chemistry, 56(16), 6959-6966.*
- **Mejía-Garibay, B., Palou, E., & López-Malo, A. L. (2015).** *Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (Brassica nigra) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact. Journal of Food Protection, 78(4), 843–848*
- **Melloul, S., & Zehioua, R. (2023).** *Conception de fluide supercritique pour l'extraction a fluide supercritique d'huile des plantes naturelles (Doctoral dissertation, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques).*
- **Memar, M. Y., Adibkia, K., Farajnia, S., Kafil, H. S., Yekani, M., Alizadeh, N., & Ghotaslou, R. (2019).** *The grape seed extract: a natural antimicrobial agent against different pathogens. Reviews and Research in Medical Microbiology, 30(3), 173-182.*
- **Michel-Briand, Y., & Baysse, C. (2002).** *The pyocins of Pseudomonas aeruginosa. Biochimie, 84(5-6), 499-510.*
- **Mir, M. A., Jan, S., Hamdani, S. S., Malik, U. A., & Alshehri, B. (2022).** *Human pathogenic microbes (bacterial and fungal) and associated diseases. Hum. Pathog. Microbes, 1-30.*
- **Mokhtar, M., Bouamar, S., Di Lorenzo, A., Temporini, C., Daglia, M., & Riazi, A. (2021).** *The influence of ripeness on the phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of pumpkins (Cucurbita moschata Duchesne). Molecules, 26(12), 3623.*
- **Moniruzzaman, M., Jinnah, M. M., Islam, S., Biswas, J., Pramanik, M. J., Uddin, M. S., & Zaman, S. (2022).** *Biological activity of Cucurbita maxima and Momordica charantia seed extracts against the biofilm-associated protein of Staphylococcus aureus: An in vitro and in silico studies. Inform. Med. Unlocked, 2022, 33, 101089.*
- **Montesano, D., Blasi, F., Simonetti, M. S., Santini, A., & Cossignani, L. (2018).** *Chemical and nutritional characterization of seed oil from Cucurbita maxima L.(var. Berrettina) pumpkin. Foods, 7(3), 30.*
- **Moon, T., Cavanagh, H. M., & Wilkinson, J. M. (2006).** *Which is Better for Disc Diffusion Assays of Essential Oils—IsoSensitest or Nutrient Agar?. Journal of Essential Oil Research, 18(5), 578-580*

- **Moummou, H., & Meftah, I. (2024).** *Natural Medicine: In-Depth Exploration of Moringa oleifera's Bioactive Compounds and Antimicrobial Effects. In The Global Burden of Disease and Risk Factors-Understanding and Management. IntechOpen.*
- **Muylaert, A., & Mainil, J. (2013).** *Résistance bactériennes aux antibiotiques, les mécanismes et leur" contagiosité". In Annales de Medecine vétérinaire (Vol. 156). ULg- Université de Liège, Liège, Belgium.*
- **M.Z. Amin, T. Islam, M.R. Uddin, M.J. Uddin, M.M. Rahman, M.A. Satter. (2019).** *Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (Cucurbita maxima Linn.)Heliyon, 5 (9) , p. e02462*
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02462>

N

- **Nasiri, N., Ilaghi Nezhad, M., Sharififar, F., Khazaneha, M., Najafzadeh, M. J., & Mohamadi, N. (2022).** *The Therapeutic Effects of Nigella sativa on Skin Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022(1), 7993579.*
- **Nataro, JP and Kaper, JB (1998).** *Diarrheic Escherichia coli. Journal of Clinical Microbiology, 11 (1), 142-201*
- **Nguyen, P. A., Strub, C., Fontana, A., & Schorr-Galindo, S. (2017).** *Crop molds and mycotoxins: Alternative management using biocontrol. Biological Control, 104, 10-27.*

O

- **Ondusko, D. S., & Nolt, D. (2018).** *Staphylococcus aureus. Pediatrics in review, 39(6), 287-298*
- **Outani, B. A., Adamou, H., Mahamadou, A., & Delmas, P. (2023).** *Moringa (Moringa oleifera Lam): A review on its importance worldwide. East Afr. Sch. J. Agric. Life Sci, 6, 112-120.*

P

- **Paarakh, P. M. (2010).** *Nigella sativa Linn.—A comprehensive review.*
- **Pareek, A., Pant, M., Gupta, M. M., Kashania, P., Ratan, Y., Jain, V., ... & Chuturgoon, A. A. (2023).** *Moringa oleifera: an updated comprehensive review of its*

- pharmacological activities, ethnomedicinal, phytopharmaceutical formulation, clinical, phytochemical, and toxicological aspects. International journal of molecular sciences, 24(3), 2098.*
- **Patel, H. K. (2024).** *A review on synergistic effects of pumpkin seeds and guava on human health. Canadian Journal of Clinical Pharmacology, 899–907.*
<https://doi.org/10.53555/pd30jd40>
 - **Patel, J. K., Chaudhari, A., Goswami, H., & Patil, P. B. (2023).** *Investigation of antimicrobial activity and characterization of isolated allyl isothiocyanate. International Journal of Drug Delivery Technology, 13, 1406–1411.*
 - **Penchev, P. I. (2010).** *Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT ; Académie bulgare des sciences. Institut de génie chimique (Sofia, Bulgarie)).*
 - **Pfaller, M. A., Burmeister, L., Bartlett, M. S., & Rinaldi, M. G. (1988).** *Multicenter evaluation of four methods of yeast inoculum preparation. Journal of clinical microbiology, 26(8), 1437-1441.*
 - **Plusquellec, A., Corre, S., Jacq, E., Beucher, M., & Legal, Y. (1995).** *Adaptation d'une technique en milieu gélosé au contrôle bactériologique des coquillages. Mar. Life, 5(2), 1-1.*
 - **Polyzos, N., Fernandes, Â., Calhelha, R. C., Petrović, J., Soković, M., Ferreira, I. C., ... & Petropoulos, S. A. (2024).** *Biochemical composition of pumpkin seeds and seed by-products. Plants, 13(17), 2395*
 - **Ponce A.G., Fritz R., del Valle C. and Roura, S.I. (2003).** *Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. LWT - Food Science and Technology, 36, p: 679–684*

Q

- **Qadariyah, L., Mahfud, M., Sulistiawati, E., & Swastika, P. (2018).** *Natural dye extraction from teak leaves (Tectona Grandis) using ultrasound assisted extraction method for dyeing on cotton fabric. In MATEC Web of Conferences (Vol. 156, p. 05004). EDP Sciences.*

R

- **Rabiej-Kozioł, D., Momot-Ruppert, M., Stawicka, B., & Szydłowska-Czerniak, A. (2023).** *Health benefits, antioxidant activity, and sensory attributes of selected cold-pressed oils. Molecules, 28(14), 5484.*
- **Ramadan, M. F. (Ed.). (2019).** *Fruit oils: Chemistry and functionality (p. 911). Switzerland: Springer.*
- **Rexhepi, F. (2020).** *Antioxidant activity of pumpkin seed oil and its effect on oxidative stability of sunflower oil monitored by FTIR spectroscopy technique. Eur. J. Mater. Sci. Eng, 5, 51-57.*
- **Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. (2015).** *Essential oils: antimicrobial activities, extraction methods, and their modeling. Food Engineering Reviews, 7, 275-297.*
- **Rivera, A., Viñado, B., Benito, N., Docobo-Pérez, F., Fernández-Cuenca, F., Fernández-Domínguez, J., ... & Navarro, F. (2023).** *Recommendations of the Spanish Antibiogram Committee (COESANT) for in vitro susceptibility testing of antimicrobial agents by disk diffusion. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica, 41(9), 571-576.*
- **Ruttarattanamongkol, K., & Petrasch, A. (2015).** *Antimicrobial activities of Moringa oleifera seed and seed oil residue and oxidative stability of its cold pressed oil compared with extra virgin olive oil. Songklanakarin Journal of Science & Technology, 37(5).*

S

- **Saa, R. W., Fombang, E. N., Ndjantou, E. B., & Njintang, N. Y. (2019).** *Treatments and uses of Moringa oleifera seeds in human nutrition: A review. Food science & nutrition, 7(6), 1911-1919.*
- **Sachan, P., Goswami, M., & Goswami, K. (2024).** *Moringa oleifera (Moringaceae) an in-depth review of its nutritional classification and therapeutic application. Research in Pharmacy. <https://doi.org/10.25081/rip.2024.v14.8807>*
- **Sahli, M., Boutebba, A., & Tahar, A. (2015).** *Contribution to determining the biochemical composition of the water Chestnut trapa natans L. Lake Oubeira elkala and development of nutrient Agar. Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 16(3), 269*
- **Salem, M. L. (2005).** *Immunomodulatory and therapeutic properties of the Nigella sativa L. seed. International immunopharmacology, 5(13-14), 1749-1770.*

- Samb, D., Abou Moussa Sow, M. D., Mbaye, N., Mbow, B., & Fofana, M. (2022). *Composition chimique et activité antifongique d'extraits d'Euphorbia hirta L. J. Soc. Ouest-Afr. Chim, 51, 87-92.*
- Sayeed, M. A., Hossain, M. S., Chowdhury, M. E. H., & Haque, M. (2012). *In vitro antimicrobial activity of methanolic extract of Moringa oleifera Lam. fruits. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 1(4), 94.*
- Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, J. C., & Van Dijck, P. W. (2002). *On the safety of Aspergillus niger—a review. Applied microbiology and biotechnology, 59, 426-435.*
- Sebi, H., Karra, S., Ghribi, A. M., Danthine, S., Blecker, C., Attia, H., & Besbes, S. (2024). *Moringa, Milk Thistle, and Jujube Seed Cold-Pressed Oils: Characteristic Profiles, Thermal Properties, and Oxidative Stability. Foods, 13(9), 1402.*
- Sener, B., Orhan, I., Ozcelik, B., Kartal, M., Aslan, S., & Ozbilen, G. (2007). *Antimicrobial and antiviral activities of two seed oil samples of Cucurbita pepo L. and their fatty acid analysis. Natural Product Communications, 2(4), 1934578X0700200409.*
- Shahbaz, M., Naeem, H., Batool, M., Imran, M., Hussain, M., Mujtaba, A., ... & Al Jbawi, E. (2024). *Antioxidant, anticancer and anti-inflammatory potential of Moringa seeds and seed oil: a comprehensive approach. Food Science & Nutrition, 12 (9), 6157-6173.*
- Shahid, M. O. H. A. M. M. A. D., Yusuf, M. O. H. D., & Mohammad, F. (2016). *Plant phenolics: A Review on Modern extraction techniques. Recent Progress in Medicinal Plants, 41, 265-287.*
- Shajan, A. E., Dash, K. K., Bashir, O., & Shams, R. (2024). *Comprehensive comparative insights on physico-chemical characteristics, bioactive components, and therapeutic potential of pumpkin fruit. Future Foods, 9, 100312.*
- Souza, D. E. S., Melo, J. J. C. D., Santos, F. F. D., Vasconcelos, A. L. D. S., Jesus, A. D. S. D., Freitas, L. D. S., ... & Soares, C. M. F. (2024). *Microwave-Assisted vs. Conventional Extraction of Moringa oleifera Seed Oil: Process Optimization and Efficiency Comparison. Foods, 13(19), 3141.*
- Sowunmi, K., & Kaka, Z. (2023). *Antioxidant Activity of Nigella sativa Essential Oil. In Recent Developments in Antioxidants from Natural Sources. IntechOpen*
- Sripathy, K. V., & Groot, S. P. (2023). *Seed development and maturation. In Seed science and technology: Biology, production, quality (pp. 17-38). Singapore: Springer Nature Singapore.*

- **Stratakis, A. C., & Koidis, A. (2016).** *Methods for extracting essential oils. Essential oils in food preservation, flavor and safety*, 31-38.

T

- **Taarabt, K. O., Koussa, T., & Alfeddy, M. N. (2017).** *Caractéristiques physicochimiques et activité antimicrobienne de l'huile essentielle du Laurus nobilis L. au Maroc. Afrique Science*, 13(1), 349-359.
- **Tanwar, B., & Goyal, A. (Eds.). (2021).** *Oilseeds: health attributes and food applications* (p. 20220004233). Singapore: Springer.
- **Tendencia, E. A. (2004).** *Disk diffusion method. Laboratory manual of standardized methods for antimicrobial sensitivity tests for bacteria isolated from aquatic animals and environment*, 13-29.
- **Tshabalala, T., Ncube, B., Madala, N. E., Nyakudya, T. T., Moyo, H. P., Sibanda, M., & Ndhlala, A. R. (2019).** *Scribbling the cat: a case of the "miracle" plant, Moringa oleifera. Plants*, 8(11), 510.

V

- **Valdez-Arjona, L. P., & Ramírez-Mella, M. (2019).** *Pumpkin waste as livestock feed: Impact on nutrition and animal health and on quality of meat, milk, and egg. Animals*, 9(10), 769.
- **Veron, M. (1983).** *Biologie de Pseudomonas aeruginosa. Médecine et maladies infectieuses*, 13(6), 352-356.
- **Vijayakumar, R., Muthukumar, C., Kumar, T., & Saravanamuthu, R. (2006).** *Characterization of Malassezia furfur and its control by using plant extracts. Indian journal of Dermatology*, 51(2), 145-148.

W

- **Wang, Y., Zhou, Y., Lu, J., Yu, H., & Wang, Y. (2024).** *A novel, rapid, ultrasensitive diagnosis platform for detecting Candida albicans using restriction endonuclease-*

mediated real-time loop-mediated isothermal amplification. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 14, 1450199.

- **Wargala, E., Chrzanowska, A., Bernatek-Samoraj, W. I. K. T. O. R. I. A., & Kot, I. (2023).** *Pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed oil—cosmetic, food and medical raw material. Herba Polonica, 69(3), 7-14.*
- **Warra, A. A. (2014).** *A review of Moringa oleifera Lam. Seed oil prospects in personal care formulations. Res. Rev. J. Pharm. Nanotechnol, 2, 31-34.*

Y

- **Yang, C., Li, H., Zhang, T., Chu, Y., Zuo, J., & Chen, D. (2020).** *Study on antibiotic susceptibility of Salmonella typhimurium L forms to the third and forth generation cephalosporins. Scientific reports, 10(1), 3042.*

Z

- **Zhang, H. F., Yang, X. H., & Wang, Y. (2011).** *Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: Current status and future directions. Trends in Food Science & Technology, 22(12), 672-688.*
- **Zouirech, O., Alyousef, A. A., El Barnossi, A., El Moussaoui, A., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., & Derwich, E. (2022).** *Phytochemical analysis and antioxidant, antibacterial, and antifungal effects of essential oil of black caraway (Nigella sativa L.) seeds against drug-resistant clinically pathogenic microorganisms. BioMed Research International, 2022, 1-12.*

Annexes

1/ Préparation de la gélose nutritive (Sahli et al, 2015)

1. Dispersion des ingrédients : 10 g de farine de graines de châtaigne d'eau sont mélangés avec 100 mL d'eau distillée.
2. Agitation et chauffage : Le mélange est agité sur un agitateur magnétique (300 tours/min) pendant 10 minutes, puis chauffé jusqu'à formation d'une bouillie.
3. Filtration et réajustement : La bouillie est filtrée à l'aide d'un papier filtre Wattman, et le filtrat est complété à 100 ml avec de l'eau distillée.
4. Ajout et solubilisation de l'agar-agar : 0,2 g d'agar-agar est ajouté, puis dissous par agitation dans les mêmes conditions.
5. Stérilisation : La solution obtenue est répartie dans des flacons et autoclavée pendant 20 minutes.
6. Gélification et incubation : Chaque boîte de Pétri contenant le milieu, d'un pH de 5,63 et gélifiant rapidement à température ambiante, est incubée à 37 °C et 28 °C pendant 24 heures afin de vérifier l'absence de contamination.

2/ Préparation du milieu *PDA* (Ben-Moussa et al, 2020)

1. Préparation de l'infusion de pommes de terre : 200 g de pommes de terre coupées (non épluchées mais bien lavées) sont mis à bouillir dans de l'eau pendant une demi-heure.
2. Filtration et ajustement du volume : Le bouillon obtenu est soumis à une décantation, puis filtré au moyen d'un coton. On ajoute de l'eau distillée afin d'obtenir un volume total d'un litre.
3. Introduction des ingrédients : 20 g de dextrose et 20 g d'agar-agar en poudre sont solubilisés dans le mélange.
4. Stérilisation : La préparation est soumise à une stérilisation en autoclave à température 120°C pendant une durée de 15 minutes

3/ Préparation du milieu Muller-Hinton (DADDA et al, 2022)

Il s'agit d'un milieu gélosé de référence utilisé pour analyser la sensibilité des bactéries face aux agents antimicrobiens

Composition

Hydrolysate acide de caséine (peptone) 17,5 g

Extrait de viande 2,0 g

Amidon 1,5 g

Calcium 20 à 25 mg

Magnésium 10 à 12,5 mg

Agar 15,0 g

Le pH est ajusté à 7. Le milieu est stérilisé par autoclavage à 120°C pendant 20 minutes

Année universitaire 2024-2025	Présenté par : LEULMI Boutheina LEULMI Djihane
Activité antimicrobienne de quelques huiles extraites des graines	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Mycologie et biotechnologie fongique.	
<p>Résumé</p> <p>Dans le cadre de cette étude qui consiste à l'évaluation de l'activité antimicrobienne de quelques huiles extraites des graines, à savoir celles de la nigelle (<i>Nigella sativa</i>), de la citrouille (<i>Cucurbita spp</i>) et de moringa (<i>Moringa oleifera</i>). Ces huiles montrent un potentiel antimicrobien intéressant contre divers pathogènes, expliqué par une composition riche en molécules bioactives, notamment des flavonoïdes, des polyphénols et des acides gras essentiels, qui confèrent à ces huiles des propriétés protectrices et curatives. D'après l'analyse des études actuelles, l'activité antimicrobienne des huiles étudiées est estimée par une étude qualitative (diffusion sur disques et puits) confirmé par une étude quantitative pour la détermination des CMI et des CMB, vis-à-vis des souches bactériennes et fongiques pathogènes. Les résultats ont mis en évidence une efficacité significative contre diverses souches bactériennes et fongiques. Parmi les huiles testées, celle de <i>Nigella sativa</i> s'est révélée la plus performante, avec un diamètre d'inhibition de 39 mm contre <i>Escherichia coli</i> et une concentration minimale inhibitrice de 0,67 µg/mL contre <i>Candida albicans</i>. Ces valeurs, nettement supérieures à celles obtenues avec les antimicrobiens de référence, suggèrent un fort potentiel thérapeutique de cette huile dans le traitement des maladies infectieuses. Cette étude confirme les vertus antimicrobiennes accordées à ces graines. L'éventuelle utilisation de leurs huiles comme alternative naturelle aux antibiotiques de synthèse chimique est également envisageable, en particulier leur rôle dans la diminution des résistances microbiennes.</p>	
<p>Mots clés : Huiles des graines, <i>Nigella sativa</i>, <i>Moringa oleifera</i>, <i>Cucurbita spp</i>, activité antimicrobienne, méthodes d'extraction.</p>	
<p><u>Membre du jury :</u></p> <p>Présidente : Mme LABBANI Fatima-Zohra Kenza (MCA - E N S de Constantine).</p> <p>Encadrante : Mme LEGHLIMI Hind (MCA - UFM Constantine 1)</p> <p>Examinatrice : Mme ABDELAZIZ Ouided (MCA- UFM Constantine1)</p>	