

République Algérienne Démocratique et Populaire



Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie

جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة والحياة



DÉPARTEMENT DESSCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BELLAOUARI Faiza

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

THÈME

Évaluation de l'Activité Antioxydante et Antimicrobienne de l'Huile
Essentielle de *Mentha pulegium* L. Originaires de la Région de
Mostaganem

Soutenu le 30 / 06 /2025

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président	Dr. BENGUENDOZ Abdenour	MCA	U. Mostaganem
Encadrant	Dr.SISBANE Ismahène	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Dr.BOUZIANE Nabil	MCB	U. Mostaganem

Année universitaire : 2024/2025



Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Dieu (ALLAH) Tout-Puissant, et le remercie de m'avoir accordé la force, le courage et la patience pour mener à bien ce travail et le finaliser. Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

*Je remercie chaleureusement mon directeur de mémoire, **Dr.SISBANE.I** pour ses précieux conseils, son accompagnement rigoureux et son soutien constant tout au long de cette étude. Ses orientations et ses remarques constructives ont grandement contribué à l'enrichissement de ce travail.*

*Je tiens également à exprimer mes remerciements à **Dr. BENOTMANE. K** pour sa disponibilité, ses conseils et son intérêt pour ce travail.*

*Je ne saurais oublier d'adresser mes remerciements les plus sincères à **Dr. BENGUENDOZ. A** et au **Dr. BOUZIANE. N**, pour leur disponibilité, avoir eu l'amabilité d'accepter d'examiner et de discuter ce travail.*

Je remercie toutes les personnes ayant participé à cette étude, notamment celles qui ont facilité l'accès aux ressources nécessaires à la réalisation de mes recherches, et celles qui m'ont aidé dans l'exécution des expériences en laboratoire.

Je n'oublie pas mes amis et collègues de promotion qui m'ont apporté leur aide et leurs encouragements.

Enfin, Je remercie mes proches, notamment ma famille, pour leur soutien infaillible et leur patience pendant toute la durée de mes recherches. Leur encouragement a été une source de motivation précieuse.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma chère famille, à mon père et à ma mère, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi tout au long de mon parcours académique. Merci pour votre soutien infailible, vos sacrifices et votre encouragement constant.

*Je tiens également à remercier ma sœur **SOUMIA**, mes frères **FARID** et **MOHAMMED**, pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté sous toutes ses formes, que ce soit par des mots réconfortants ou par leur présence à mes côtés.*

À mes amis, qui ont été une source d'inspiration et de motivation, et qui m'ont soutenu tout au long de ce parcours.

Enfin, je dédie cette étude à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin dans cette aventure, et sans qui ce travail n'aurait pas été possible.

Faiza

Résumé

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'activité antioxydante et antimicrobienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium L.* récoltée dans la région de Mostaganem. L'extraction de l'huile essentielle a permis d'obtenir un rendement de 0.75 %.

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée par la méthode du DPPH, révélant un pouvoir antioxydant notable avec une valeur d'IC₅₀ de 22.17 µg/ml.

L'activité antibactérienne a été étudiée par la méthode de diffusion sur disque, testé contre six souches pathogènes : *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les résultats ont montré une bonne sensibilité des bactéries à Gram positif ainsi que Gram négative *E. coli*, tandis que *P. aeruginosa* et *S. typhi* se sont révélées résistantes. La concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB) ont également été déterminées afin de mieux caractériser l'efficacité de l'huile essentielle.

Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de *Mentha pulegium L.* présente un potentiel antioxydant intéressant ainsi qu'une activité antimicrobienne ciblée, notamment contre les bactéries à Gram positif.

Mots clés : *Mentha pulegium L.*, huile essentielle, activité antioxydante, activité antibactérienne.

ملخص

كان الهدف من هذه الدراسة هو تقييم النشاط المضاد للأكسدة والمضاد للميكروبات للزيت العطري لنبات *Mentha pulegium*L. الذي تم حصاده في منطقة مستغانم. أنتج استخلاص الزيت العطري 0.75%.

تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستخدام طريقة DPPH، وكشف عن قوة كبيرة مضادة للأكسدة مع قيمة IC_{50} بقيمة 22.17 ميكروغرام/مل.

تمت دراسة النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار القرصي، وتم اختباره ضد ست سلالات مسببة للأمراض: المكورات العنقودية الذهبية، السالمونيلا التيفية، العصيات المخاطية، الإشريكية القولونية، العصيات الرقيقة الزائفة والزائفة الزنجارية. أظهرت النتائج حساسية جيدة في البكتيريا موجبة الجرام والإشريكية القولونية سالبة الجرام، بينما أثبتت بكتيريا الزائفة الزنجارية الهوائية والسالمونيلا التيفية مقاومة البكتيريا. كما تم تحديد الحد الأدنى للتركيز المثبط (CMI) والحد الأدنى للتركيز المبيد للجراثيم (CMB) من أجل تحديد فعالية الزيت العطري بشكل أفضل.

تشير هذه النتائج إلى أن الزيت العطري لـ *Mentha pulegium*L له إمكانات مثيرة للاهتمام كمضاد للأكسدة ونشاط مضاد للميكروبات المستهدفة، خاصة ضد البكتيريا موجبة الجرام.

الكلمات المفتاحية: *Mentha pulegium* L، زيت عطري، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للبكتيريا.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the antioxidant and antimicrobial activity of *Mentha pulegium*L. essential oil harvested in the Mostaganem region. Essential oil extraction yielded 0.75%.

Antioxidant activity was assessed by the DPPH method, revealing notable antioxidant power with an IC₅₀ value of 22.17 µg/ml.

Antibacterial activity was studied by the disk diffusion method, tested against six pathogenic strains: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*. Results showed good sensitivity of Gram-positive bacteria and Gram-negative *E. coli*, while *P. aeruginosa* and *S. typhi* proved resistant. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) were also determined to better characterize the efficacy of the essential oil.

These results suggest that *Mentha pulegium*L.essential oil has interesting antioxidant potential and targeted antimicrobial activity, particularly against Gram-positive bacteria.

Key words: *Mentha pulegium*, essential oil, antioxidant activity, antibacterial activity.

Liste des abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation
ATCC	American Type Culture Cells
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle.
FRAP	FerricReducingAntioxidant Power
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
FID	Détecteur à Ionisation de Flamme
<i>M. pulegium</i>	<i>Mentha pulegium</i>
TTC	Chlorure de 2,3,5-triphenyltétrazolium
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>P. aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>S. typhi</i>	<i>Salmonella typhi</i>
°C	Degré Celsius
μ	Micro
cm	Centimètre
HD	Hydrodistillation
HE	Huile Essentielle
Kg	kilogramme
Mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
Ph	Potentiel d'Hydrogène
Nm	Nanomètre
R%	Rendement
TPTZ	Complexe tripyridyle triazine
%	Pourcentage

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux composés non volatils dans les espèces de *Mentha*.

Tableau2 : Constituants de l'huile essentielle de *M. pulegium*.

Tableau 3 : Composés minoritaires et non volatils dans *Mentha pulegium*.

Tableau 4 : Lessouches bactériennes utilisées.

Tableau5 : Caractères organoleptiques de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Tableau6 : Le rendement de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Tableau 7 : Les paramètres physicochimiques d'HE de *Mentha pulegium*.

Tableau8 : Résultats de Criblage phytochimique de L'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Tableau 9 : L'activité antioxydante d'HE de *Mentha pulegium*.

Tableau 10 : Diamètres des zones d'inhibition (en mm) des microorganismes pathogènes par l'huile essentielle de *Mentha pulegium* et l'antibiotique CIP (ciprofloxacine).

Tableau 11 : Rapports CMB/CMI de l'HE de *Mentha pulegium* vis-à-vis des souches bactériennes testées.

Liste des figures

Figure 1 : La plante *Mentha pulegium*.

Figure2 : Répartition géographique de la plante *Mentha pulegium*L. dans le monde.

Figure3 : Structure chimique des principaux composés de *M. pulegium*.

Figure4 : Montage d'extraction parentraînement à la vapeur d'eau.

Figure5 : Montage de l'expression à froid.

Figure6 : Montage d'Hydrodistillation.

Figure7 : le protocole expérimental.

Figure8 : la carte géographique de la région de Mostaganem.

Figure9 : La partie aérienne fraîche et sèche de plante *Mentha pulegium*L.

Figure10 : Les étapes d'extraction par l'entraînement à la vapeur d'eau.

Figure11 : Dispositif de la distillation par l'entraînement à la vapeur d'eau.

Figure 12 : L'aromatogramme.

Figure13 : Les étapes de la méthode de l'aromatogramme

Figure 14 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.

Figure15 : Activité anti-radicalaire d'huile essentielle de *Mentha pulegium*L

Figure 16 : Activité anti-radicalaire du standard l'acide ascorbique

Figure17 : L'effet antimicrobien de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L.

Figure 18 : La CMI des souches bactériennes étudiées.

Figure19 : La CMB des souches bactériennes étudiées

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	1

Partie 1. Revue bibliographique

Chapitre 1. Aperçu général sur la plante *Mentha pulegium* L.

1.1. Définition du genre <i>Mentha</i>	5
1.2. Présentation botanique de la plante <i>Mentha pulegium</i>	5
1.3. Position systématique de l'espèce <i>pulegium</i>	6
1.4. Répartition géographique	6
1.5. Composition phytochimique	7
1.5.1. Composés volatils	7
1.5.2. Composés non volatils	8
1.6. Composition des huiles essentielle de <i>Mentha pulegium</i>	8
1.7. Caractérisation de l'huile essentielle de la <i>Mentha pulegium</i> L.....	10
1.8. Autres caractéristiques spécifiques	10
1.9. Usages traditionnels et applications	10

Chapitre 2. Potentiel bioactif des huiles essentielles

2.1. Définition.....	13
2.2. Composition chimique des huiles essentielles	13
2.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....	16
2.3.1. L'entraînement à la vapeur d'eau	16
2.3.2. Extraction par expression à froid	17
2.3.3. Hydrodistillation	18
2.4. Techniques d'analyses des huiles essentielles.....	18
2.4.1. CPG	18
2.4.2. GC-MS.....	19
2.5. Activités biologiques des huiles essentielles	19
2.5.1. Activité antioxydante.....	19
2.5.2. Activité antimicrobienne	20
2.5.3. Activités Antifongiques et insecticides	21
2.6. Applications potentielles des huiles essentielles.	21
2.6.1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques.	21
2.6.2. Usages en conservation alimentaires	22
2.7. Limites et précautions d'emploi	22

Partie 2. Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude	27
2. Matériel Végétal	27
2.1. La plante : <i>Mentha pulegium</i> L.....	27
2.2. Préparation de plante	28
2.3. Préparation de la poudre	28
3. L'extraction de l'huile essentielle de la plante	28
3.1. Entrainement à la vapeur d'eau	28
4. Analyses de l'huiles essentielle	30
4.1. Analyse organoleptique	30
4.2. Analyse physicochimique	30
4.2.1. Le rendement	30
4.2.2. La Densité	31
4.2.3. Potentiel d'hydrogène(pH)	31
4.2.4. Test de solubilité	31
5. Préparation de l'extrait méthanolique	31
6. Criblage phytochimique	32
7. Activités biologiques	32
7.1. Activité antioxydante.....	32
7.1.1. Piégeage du radical libre DPPH	32
7.2. Activité antibactérienne	33
7.2.1. Méthode de diffusion sur disque (aromatogramme).....	33
7.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	36
7.4. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)	37

Résultats et Discussion

1. Analyse de l'huile essentielle	39
1.1. Analyse organoleptique	39
1.2. Analyse physicochimique de l'huile essentielle.....	39
1.2.1. Le rendement	39
1.2.2. La densité	40
1.2.3. Le potentiel d'hydrogène	40
1.2.4. Teste de solubilité	40
2. Criblage phytochimique	41
3. Activités biologiques	41
3.1. Activité antioxydant	41
3.1.1. Piégeage du radical libre DPPH.....	41
3.2. Activité antibactérienne	43
4. La concentration minimale inhibitrice etLa concentration minimale bactéricide (CMI)(CMB).....	45
Conclusion.....	49
Références bibliographiques	52

Annexes

Introduction

Introduction

Les plantes médicinales et aromatiques sont utilisées depuis des siècles dans les systèmes de santé traditionnels à travers le monde. Leur richesse en métabolites secondaires bioactifs, tels que les phénols, les flavonoïdes et les composés terpéniques, leur confère des propriétés thérapeutiques intéressantes, notamment antioxydantes et antimicrobiennes (Bakkali et *al.*, 2008 ; Miguel, 2010). Aujourd'hui, l'intérêt pour ces ressources naturelles s'inscrit dans une démarche de recherche d'alternatives aux produits chimiques de synthèse, souvent associés à des effets indésirables ou à l'apparition de résistances.

Mentha pulegium L., communément appelée menthe pouliot, est une plante aromatique de la famille des Lamiaceae, largement distribuée dans les régions méditerranéennes. Elle est connue pour son huile essentielle, particulièrement riche en pulégone, un composé bioactif possède des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes intéressantes. Cette plante est traditionnellement utilisée en phytothérapie, mais suscite également un intérêt croissant dans le domaine agroalimentaire en tant qu'alternative naturelle aux conservateurs synthétiques (Abdelli et *al.*, 2016 ; Bouazza et *al.*, 2022).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* se caractérise par une richesse en composés bioactifs tels que le pulégone, l'iso-menthone et le menthol, qui lui confèrent une forte activité antimicrobienne et antioxydante (Lopez et *al.*, 2005 ; Mahboubi et Haghi, 2008). Ces propriétés suscitent un intérêt croissant dans divers secteurs, notamment les industries pharmaceutiques, cosmétiques et agroalimentaires.

Ces huiles essentielles présentent des propriétés qui permettent leur utilisation comme antibiotiques naturels, bio-insecticides et agents de conservation alimentaire d'origine végétale. Elles constituent ainsi une alternative aux produits chimiques de synthèse jugés nocifs (Abdelli et *al.*, 2016).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L.

Dans cette optique, l'évaluation de l'activité antioxydante et antimicrobienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L récoltée dans la région de Mostaganem, revêt une double importance. D'une part, elle permet de valoriser une ressource végétale locale aux propriétés

bioactives prometteuses ; d'autre part, elle contribue à la recherche de solutions naturelles susceptibles d'améliorer la qualité microbiologique et la stabilité oxydative des aliments. Cette approche s'inscrit dans une stratégie de développement durable, visant à réduire l'usage d'additifs de synthèse dans les filières alimentaires.

Ce travail est structuré en deux grandes parties. La première théorique, comprend deux chapitres : le premier propose un aperçu général de la plante *Mentha pulegium* L., tandis que le second s'intéresse au potentiel bioactif des huiles essentielles.

La seconde partie, expérimentale, présente d'abord le matériel et méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude. Ensuite les résultats obtenus, accompagnés d'une analyse et d'une discussion.

Enfin, une conclusion vient clore ce travail en récapitulant les principaux renseignements tirés de l'ensemble des investigations menées.

Partie 1. Revue bibliographique

Chapitre 1 Aperçu général sur la plante
Mentha pulegium L

1.1. Définition du genre *Mentha*

Le genre *Mentha*, appartenant à la famille des Lamiaceae, regroupe des plantes herbacées vivaces et aromatiques connues sous le nom commun de menthes, et plusieurs espèces largement exploitées à l'échelle industrielle. Leur culture est bien maîtrisée et largement documentée. Les extraits issus de ces plantes sont traditionnellement utilisés dans le domaine alimentaire, notamment en raison de leur richesse en composés phénoliques antioxydants, très recherchés pour leurs propriétés bénéfiques. Les espèces du genre *Mentha* sont répandues à travers le monde, notamment en Europe, en Asie, en Afrique, en Australie et en Amérique du Nord. Ces plantes présentent une grande adaptabilité écologique et se développent dans une large variété d'environnements (Salehi et al., 2018). La composition chimique, notamment des huiles essentielles, est polymorphe mais caractéristique (Šarić-Kundalić et al., 2009 ; Yousefian et al., 2023).

Le genre *Mentha*, rattaché à la famille des Lamiaceae, présente une taxonomie particulièrement complexe. Il comprend environ 42 espèces et 15 hybrides reconnus, auxquels s'ajoutent des centaines de sous-espèces et de cultivars répartis à travers le monde (Cornara et al., 2023).

1.2. Présentation botanique de la plante *Mentha pulegium* L.

Mentha pulegium, communément appelée menthe pouliot en Europe, est également connue sous d'autres appellations telles que « herbe à pudding », « plante moustique » et « menthe squaw ». Cette plante se distingue par ses tiges ascendantes, ses feuilles légèrement ovales et ses fleurs disposées aux aisselles des feuilles de manière bien espacée (Figure 1). Contrairement aux autres espèces de menthe, *M. pulegium* se caractérise par une inflorescence en verticillasters distants, sans feuille terminale, et par des tiges faiblement ramifiées, couchées à ascendantes, mesurant entre 10 et 50 cm. Ses feuilles, étroitement elliptiques, atténuées à la base et brièvement pétiolées, présentent une surface velue. De petites fleurs lilas sont regroupées en verticillasters à l'aisselle des feuilles.

M. pulegium est une plante herbacée qui peut atteindre jusqu'à 60 cm de hauteur et se développe principalement au printemps. Toutes ses parties aériennes possèdent des propriétés thérapeutiques. Ses feuilles finement broyées, au parfum intense et caractéristique de menthe, sont particulièrement utilisées en aromathérapie et dans les pratiques traditionnelles (Stanković et al., 2022 ; SadeghiDousari et al., 2023).



Figure1. La plante *Mentha pulegium* L. (Chraïbi et al., 2017).

1.3. Position systématique de l'espèce *pulegium*

D'après Lahrech(2010), la classification systématique de *Mentha pulegium*L. est la suivante :

Règne :	Végétale
Sous-règne :	<i>Cormophyte</i>
Embranchement :	Phanérogames ou <i>Spermaphytes</i>
Sous-embranchement :	Angiospermes
Classe :	Eudicots
Sous-classe :	Astéridées
Ordre :	<i>Lamiales</i>
Famille :	<i>Lamiacées</i>
Sous- famille :	Satureinees
Genre :	<i>Mentha</i>
Espèce :	<i>Mentha pulegium</i> (Lahrech, 2010).

1.4. Répartition géographique

*Mentha pulegium*L., une espèce du genre *Mentha*, est originaire d'Europe, d'Afrique du Nord, d'Asie Mineure et du Moyen-Orient (Mohammadi et al., 2024) (Figure 2).

La répartition géographique de *Mentha pulegium* dans les régions méditerranéennes est influencée par divers facteurs écologiques. En Tunisie, l'espèce présente une variabilité interpopulations importante, avec une structuration écologique liée aux étages bioclimatiques (Mkaddem et Boussaid, 2007). Les facteurs environnementaux, tels que la température,

l'altitude et les précipitations, influencent significativement la composition de l'huile essentielle et l'activité antioxydante de *M. pulegium* (Mollaei et al., 2020).

Les études sur *Mentha pulegium* en Afrique du Nord révèlent l'influence significative des facteurs écologiques sur sa distribution et sa composition chimique (Soilhi et al., 2022). En Algérie, l'analyse métabolomique par RMN-1H a permis de distinguer *M. pulegium* d'autres espèces de menthe et d'identifier des biomarqueurs spécifiques aux régions de croissance (Brahmi et al., 2020). Les contenus en composés phénoliques et l'activité antioxydante varient selon les zones géographiques, influencés par l'altitude et le climat (Brahmi et al., 2022).

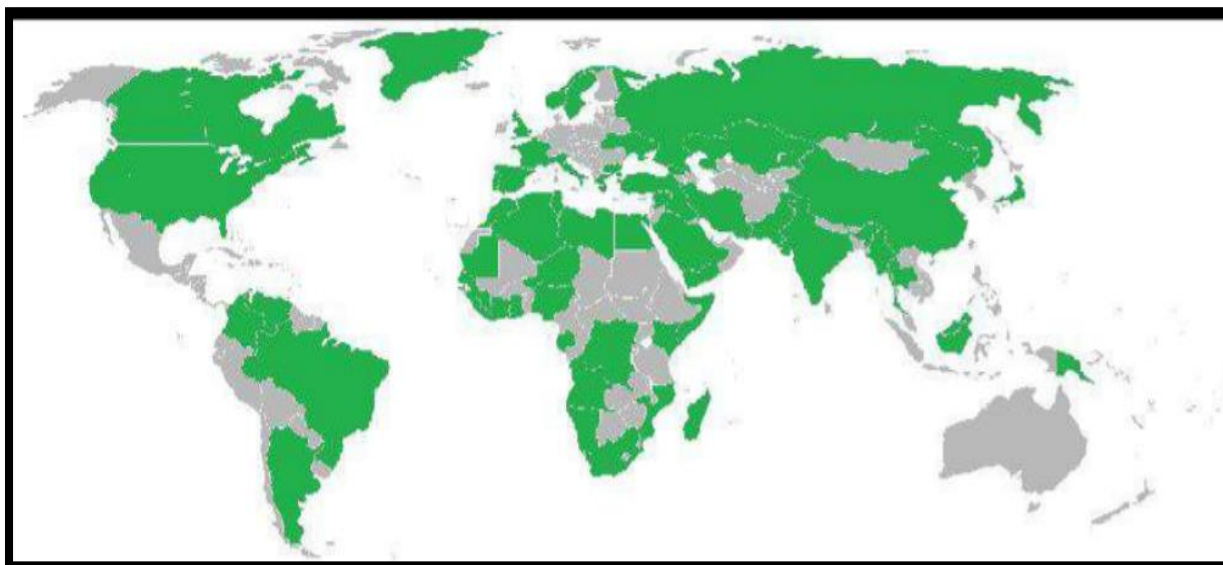


Figure 2. Répartition géographique de la plante *Mentha pulegium*L. dans le monde (Tucker et al., 2007).

● Origine géographique de la plante *Mentha pulegium* L.

1.5. Composition phytochimique

1.5.1. Composés volatils

Les huiles essentielles sont généralement séparées de la phase aqueuse par un procédé physique qui n'altère que peu leur composition chimique. Elles se présentent typiquement sous forme liquide, volatile, limpide et rarement colorée. Elles sont bien solubles dans les lipides et les solvants organiques, et possèdent souvent une densité inférieure à celle de l'eau. Chez les espèces du genre *Mentha*, la biosynthèse des métabolites secondaires responsables des arômes se déroule dans les trichomes glandulaires peltés, des structures épidermiques spécialisées situées à la surface des feuilles, des tiges, des pétales et parfois du tégument des graines, selon l'espèce (Salehi et al., 2018).

1.5.2. Composés non volatils

Une grande variété d'autres composés chimiques, principalement des composés phénoliques, sont également présents dans les tissus de la menthe. Parmi les constituants non volatils identifiés comme majeurs chez les espèces du genre *Mentha*, on retrouve notamment l'acide rosmarinique, le lutéoline-7-O-glucoside, l'acide salvianolique, l'ériocitrine et l'hésperidine (Tableau 1) (Salehi et al., 2018).

Tableau 1. Principaux composés non volatils dans les espèces de *Mentha* (Salehi et al., 2018).

Constituants chimiques	Composés individuels
<i>Anthocyanidines</i>	Cyanidine, delphinidine, lutéolinidine, pélargonidine, pétunidine
<i>Coumarines</i>	Esculétine et scopolétine
<i>Flavanols</i>	Catéchine, épicatechine
<i>Flavanones</i>	Ériocitrine, ériodictyol, hésperidine, naringénine, narirutine
<i>Flavones</i>	Apigénine, diosmétine, diosmine, lutéoline, lutéoline- O -glucuronide, jardinine B, lutéoline- O -glucoside, pébrelline, salvigénine, thymusine, thymonine
<i>Flavonols et dihydroflavonols</i>	Quercétine, kaempférol, rutine
<i>Acides phénoliques</i>	Acide cinnamique, ses analogues (acides hydroxybenzoïque, <i>p</i> -coumarique, férulique, caféique, sinapique, rosmarinique, salvianolique, isosalvianolique, didéhydrosalvianolique et lithospermique, népétoïdine A/B) et glycosides (acide caféique glucuronide, chlorogénique, caftarique), acides gallique, syringique et vanillique.
<i>Phenyléthanoïdes</i>	Tyrosol
<i>Stilbénoides</i>	Resvératrol
<i>Terpènes</i>	Acideoléanolique

1.6. Composition des huiles essentielle de *Menthapulegium*

La composition chimique des huiles essentielles de *Mentha pulegium* L. (Tableau 2) a été largement étudiée dans de nombreuses publications. Elle se caractérise principalement par la présence de cétones ayant un squelette méthanique. En effet, les analyses montrent que les compositions sont majoritairement dominées par la pulégone, avec des concentrations variant de 80,3 % au Maroc, entre 70 et 90 % en Algérie, de 65,9 à 83,1 % en Inde, 73,4 % en Uruguay et 43,5 % en Égypte. D'autres études mettent en avant la pipériténone, qui représente entre 83,7 et 97,2 % en Grèce, ainsi que la pipéritone, qui atteint 70,0 % en Autriche (Figure 3) (Abou et Fareh, 2017).

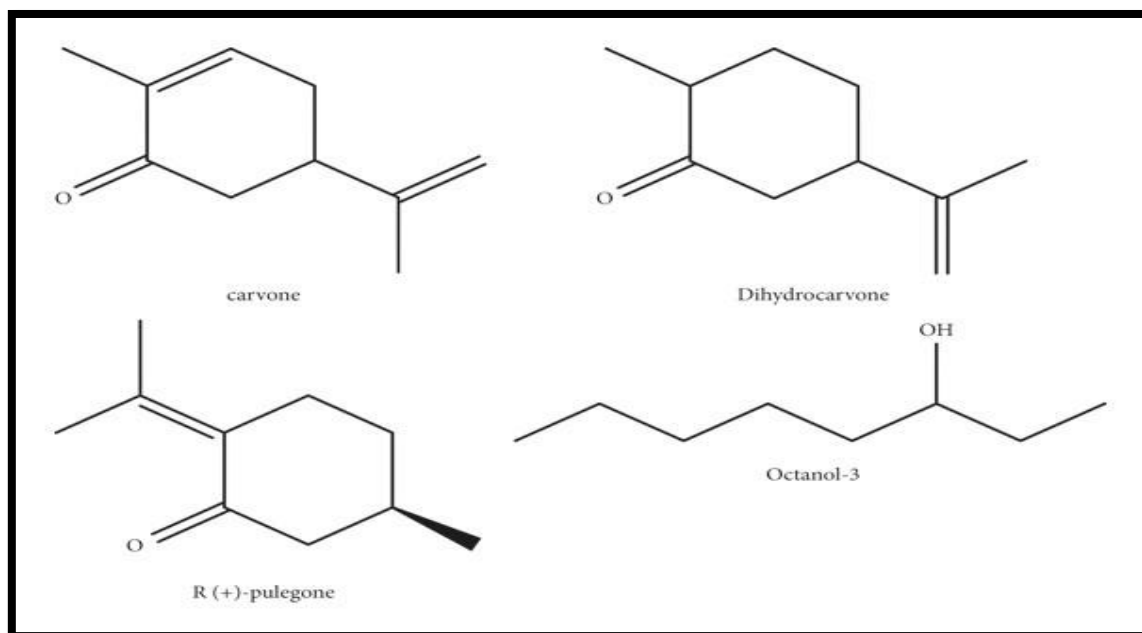


Figure 3. Structure chimique des principaux composés de *M. pulegium* (Allali et al., 2021).

Tableau 2. Constituants de l'huile essentielle de *M.pulegium*(Allali et al., 2021).

Composés	Composants	RI	Zone (%)
1	α -pinène	937	0,69
2	Cyclohexanone-3-méthyle	952	0,37
3	β -pinène	974	0,52
4	Myrcène	992	0,14
5	Octanol-3	995	2,25
6	D-2-Carène	1003	Tr
7	Limonène	1030	1.41
8	<i>p</i> -Mentha-3,8-diène	1071	1,95
9	Menthone	1150	0,08
10	Pinocarvone	1166	1,76
11	Isomenthol	1182	0,28
12	Menthol	1171	0,62
13	dihydrocarvone	1193	5.09
14	R-(+)-pulégone	1236	76,35
15	Carvone	1240	5,84
16	α -pépéritone	1251	0,36
17	caryophyllène	1418	0,18
18	Germacrène D	1475	0,09
19	γ -Eudesmol	1630	0,37
20	α -Eudesmol	1649	0,56
Total identifié			98,91

1.7. Caractérisation de l'huile essentielle de la *Menthapulegium* L

La menthe pouliot (*Mentha pulegium*L.) contient une huile essentielle se présentant sous forme de liquide jaunâtre, à l'odeur très prononcée, soluble dans l'alcool. Elle est majoritairement composée (à 75–80 %) de pulégone, un liquide incolore à l'arôme caractéristique, ainsi que de menthol, de limonène lévogyre et de dipentène. En plus de son huile essentielle, la plante renferme également du tanin, des substances cellulosiques et pectiques, du sucre, entre autres. L'huile essentielle de *Mentha pulegium*L. se distingue par une forte teneur en pulégone (70 à 90 %), accompagnée d'autres cétones monoterpéniques telles que l'isomenthone, la menthone et la piperténone (Bechiriet Tahar Mezedek, 2018).

1.8. Autres caractéristiques spécifiques

La plante *Mentha pulegium* se distingue par son parfum mentholé intense et piquant. Elle présente généralement un port prostré au sol, mais adopte une forme dressée durant la floraison. Ses fleurs, regroupées en grappes, varient du rose au bleu, ajoutant à son aspect ornemental (Domingues et Santos, 2019).

Mentha pulegium possède des caractéristiques écologiques intéressantes. Elle est bien adaptée aux milieux humides et ensoleillés, mais peut tolérer des périodes de sécheresse grâce à son système racinaire profond et ramifié. Ses parties aériennes sont connues pour contenir des composés bioactifs tels que la pulégone, la menthone, et des flavonoïdes, conférant à la plante ses propriétés médicinales et aromatiques (SadeghiDousari et al., 2023).

1.9. Usages traditionnels et applications

Depuis l'Antiquité *Mentha pulegium*L. ou menthe pouliot, est une plante reconnue pour ses multiples usages médicinaux, culinaires et domestiques.

En médecine traditionnelle, *M. pulegium* est utilisée comme digestive, carminative, antispasmodique et expectorante. Ses extraits sont employés pour soulager les troubles gastro-intestinaux, tels que les flatulences, les ballonnements et les douleurs abdominales (Domingues et Santos ; 2019 ; Rahmani, 2021). Les infusions de ses feuilles sont également consommées pour faciliter la digestion, et comme remède contre le rhume et les affections respiratoires (Stanković et al., 2022).

De nos jours, *Mentha pulegium* est commercialisée pour diverses utilisations, notamment comme arôme dans les aliments et les boissons, ou encore sous forme de tisanes destinées à soulager la toux, les troubles rénaux et les maux de tête. Cependant, malgré ses applications traditionnelles, cette plante est également réputée pour sa toxicité chez l'être humain,

principalement en raison de la présence de composés toxiques dans son huile essentielle (HE) (Caputo *et al.*, 2021).

De nombreuses recherches ont mis en évidence l'usage fréquent des extraits de ces plantes pour leurs effets anti-inflammatoires, antispasmodiques, carminatifs, antitussifs, diaphorétiques, antiémétiques, analgésiques, stimulants et emménagogues, sous différentes formes telles que les poudres, les infusions ou les décoctions. Ces bienfaits sont principalement attribués à la présence de métabolites secondaires, notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes et des huiles essentielles. En outre, cette espèce est communément désignée sous le nom de « Feliou » (Oualdi *et al.*, 2023).

*Chapitre 2 : Potentiel bioactif des huiles
essentielles*

2.1 Définition

Les huiles essentielles (HE) sont des composés organiques naturels aux structures variées et complexes. Le terme « huiles » fait référence à leur capacité à se solubiliser dans les graisses, tandis que « essentielles » renvoie à l'arôme caractéristique qu'elles dégagent, issu de la plante productrice. Elles sont biosynthétisées par des plantes aromatiques sous forme de métabolites secondaires. Ces plantes se distinguent par la présence de structures sécrétrices spécifiques aux HE, telles que les poils sécréteurs chez les Lamiacées, les poches sécrétrices chez les Myrtacées et les canaux sécréteurs chez les Apiacées. Ces structures, qui varient selon l'organe végétal concerné, jouent un rôle essentiel dans la sécrétion et le stockage des huiles essentielles (Bouyahya et *al.*, 2016).

Ces substances sont liquides, volatiles, limpides et rarement colorées, avec une densité généralement inférieure à celle de l'eau (Bakkali et *al.*, 2008). Elles sont insolubles dans l'eau mais se dissolvent facilement dans les huiles végétales et la plupart des solvants organiques, tels que l'alcool et l'éther. De plus, elles sont sensibles à l'oxydation et peuvent subir des modifications structurelles sous l'effet de la lumière (Bouyahya et *al.*, 2016)

La production d'huiles essentielles concerne différentes parties de la plante, notamment les feuilles, les graines, les bourgeons, la tige et les fleurs. Ces huiles s'accumulent dans des structures spécifiques telles que les cellules épidermiques, les cavités, les cellules sécrétrices et les canaux. L'odeur caractéristique émise par ces plantes est directement attribuée à la présence de leurs huiles essentielles (Irshad et *al.*, 2019).

2.2. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont constituées principalement de terpènes (monoterpènes et sesquiterpènes), et de composés dérivés tels que les alcools, cétones, aldéhydes, phénols, esters et oxydes. Leur composition chimique est influencée par des facteurs biologiques (espèce, stade de développement) et environnementaux (climat, sol, période de récolte) (Soković et *al.*, 2010; Vitali et *al.*, 2016).

Les espèces de menthe corse présentent des compositions diverses, *M. aquatica*, *M. pulegium* et *M. suaveolens*sp. *suaveolens* présentant des profils communs, tandis que les espèces de *Fortunella* sont caractérisées par une teneur élevée en sesquiterpènes (Sutour, 2010).

L'analyse de 194 huiles essentielles a révélé que certaines molécules sont présentes en proportions élevées dans certaines huiles, tandis que d'autres sont présentes à l'état de traces. Des techniques de visualisation, telles que les réseaux d'interaction, peuvent aider à illustrer l'espace chimique des huiles essentielles et leurs relations botaniques (Petitet, 2012).

❖ Les terpénoïdes

Le terme « terpène » fait référence à l'origine de ces composés, initialement extraits de l'essence de térébenthine. Dans les huiles essentielles, les terpénoïdes sont les composés à faible masse moléculaire, ce qui les rend particulièrement volatils. Ils suivent généralement la formule chimique générale (C_5H_8). En fonction de la valeur de n , on distingue plusieurs catégories :

Les hémiterpènes ($n = 1$), les monoterpènes ($n = 2$), les sesquiterpènes ($n = 3$), les triterpènes ($n = 6$), les tétraterpènes ($n = 8$) et les polyterpènes. Les huiles essentielles présentent une composition chimique diversifiée, incluant non seulement des terpènes, mais aussi d'autres classes de composés tels que les hydrocarbures, les esters, les lactones, les aldéhydes, les alcools, les acides, les cétones, les phénols et les oxydes (Bencheikh, 2017).

❖ Les composés aromatiques

Les composés aromatiques sont des dérivés du phénylpropane (C_6-C_3), bien que leur présence soit relativement faible dans la composition des huiles essentielles. Cependant, ils jouent un rôle clé dans les caractéristiques organoleptiques de ces dernières. Parmi ces composés, les phénols tels que l'eugénol et le chavicol sont couramment retrouvés, notamment dans l'huile essentielle de girofle (Eugénol). On y trouve également des alcools, comme l'alcool cinnamique, qui est largement répandu dans l'huile essentielle de baume du Pérou, ainsi que des aldéhydes, tels que le cinnamaldéhyde, principal composant de l'huile essentielle de cannelle. D'autres dérivés, tels que les méthoxy-composés (anéthol, estragol, élémicine) présents dans l'huile essentielle de fenouil (Anéthole), et les méthylène-dioxy-composés (apiole, myristicine, safrole) qui constituent l'huile essentielle de persil (Apiole), contribuent également aux propriétés des huiles essentielles (Bounab, 2020).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* contient un mélange complexe de composés aromatiques, la pulégone étant souvent le composant prédominant. Des études menées dans différentes régions ont rapporté des compositions variables. À Cuba, le néoisomenthol (20,68 %) et la pulégone (25,14 %) étaient les principaux constituants (Pino et al., 1996).

Des échantillons indiens ont montré une teneur plus élevée en pulégone (65,9-83,1 %), ainsi qu'en menthone et en isomenthone (Agnihotri et al., 2005).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* présente une composition chimique riche en monoterpènes oxygénés, dominée par la pulégone, souvent majoritaire selon le chémotype et l'origine géographique. Une étude réalisée dans le sud-est de l'Algérie (Région de Reguiba, El-Oued) rapporte une teneur de 46,3 % de pulégone, suivie de 23,3 % de pipériténone, 6,2 % de menthone, et 4,7 % de limonène (Ouakouak et al., 2015).

Par ailleurs, Boukhebti et *al.*, (2011) observaient en Algérie une huile à 38,8 % pulégone, 19,2 % menthone, et 16,5 % pipériténone, attestant de la variabilité des profils selon les populations.

❖ Composés d'origines divers

Lors de l'hydrodistillation des huiles essentielles, certains composés aliphatiques à faible masse moléculaire sont entraînés. Ces substances peuvent inclure des composés azotés ou soufrés, ainsi que des caroténoïdes, des acides gras (Acide hexanoïque, acide dodécanoïque, acide hexadécanoïque, etc.), des alcools (Menthol, linalol, géraniol, bergamote), des aldéhydes (géraniale, citronellal), des esters (Acétate de géranyle) et des cétones (Camphre, pipéritone) (Bounab, 2020) (Tableau 3).

En plus des monoterpènes et sesquiterpènes majoritaires, l'huile essentielle de *Mentha pulegium* contient des composés azotés et soufrés en très faible quantité, des lipides semi-volatils comme l'acide palmitique (20 % du profil volatil), ainsi que des composants lipophiles (β -sitostérol, α -tocophérol, policosanols) détectés dans les extraits organiques. Des caroténoïdes (luteïne, zeaxanthine...) ont été identifiés dans les feuilles par analyse métabolomique, sans être présents dans le distillat d'huile essentielle en raison de leur nature non volatile (El-Naggaret Osman, 2024).

Tableau 3. Composés minoritaires et non volatils dans *Mentha pulegium*

Groupe de composés	Exemples	Profil et proportion	Références
Composés azotés	Amines, alcaloïdes détectés en trace	< 1 % dans l'huile essentielle volatils	El-Naggaret Osman, 2024
Composés soufrés	Sulfures volatils	Très rares	Études GC-MS variées
Caroténoïdes (dans feuilles/extraits)	Luteïne, violaxanthine, antheraxanthine, zeaxanthine, β -carotène	Présents dans les feuilles/extraits, non détectés dans l'huile essentielle (non-volatils)	El-Naggaret Osman, 2024
Acides gras volatils	acide palmitique, méthyl esters	20 % du profil volatil de l'extrait méthanolique de feuilles	Al-Rajhi et <i>al.</i> , 2022
Lipides non volatils (dans extraits liposolubles)	β -sitostérol, α -tocophérol, stérols, policosanols	Quantifiés à l'état de traces ($\mu\text{g/g}$ MS)	Al-Rajhi et <i>al.</i> , 2022

2.3. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles (HE) est une opération à la fois complexe et délicate, visant à capturer et à préserver les composés volatils, subtils et fragiles produits par les plantes (Boukhatem et *al.*, 2019).

Les huiles essentielles sont des extraits volatils de plantes aromatiques avec de nombreuses applications dans diverses industries (Aziz et *al.*, 2018). De multiples méthodes d'extraction existent, y compris des techniques conventionnelles comme l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur et l'extraction par solvant, ainsi que des méthodes avancées comme l'extraction par fluide supercritique et l'extraction assistée par micro-ondes (Sareriya et *al.*, 2023).

Le choix de la méthode d'extraction influence considérablement le rendement, la qualité et la composition chimique des huiles essentielles (Mahadagde, 2018 ;Nadjib, 2019). L'hydrodistillation est particulièrement adaptée aux huiles sensibles à la température (Mahadagde, 2018). Les techniques avancées offrent des avantages tels que des temps d'extraction plus courts, une consommation d'énergie plus faible et une utilisation réduite de solvants (Aziz et *al.*, 2018).

2.3.1. L'entraînement à la vapeur d'eau

Pour éviter certains phénomènes d'hydrolyse sur des composants de l'huile essentielle ou de réactions chimiques pouvant altérer les résultats, le procédé de l'entraînement à la vapeur sèche a été mis au point (Figure 4). La masse végétale repose sur une grille placée à une distance adéquate du fond de l'alambic, rempli d'eau. Sous l'action de la chaleur, l'eau se transforme en vapeur et passe à travers la plante en entraînant les molécules aromatiques vers un système de refroidissement où elle retourne à l'état liquide par condensation. Le produit de la distillation se sépare donc, par décantation, en deux phases distinctes : l'huile et l'eau condensée que l'on appelle eau florale ou hydrolat (Bouhaddouda, 2016).

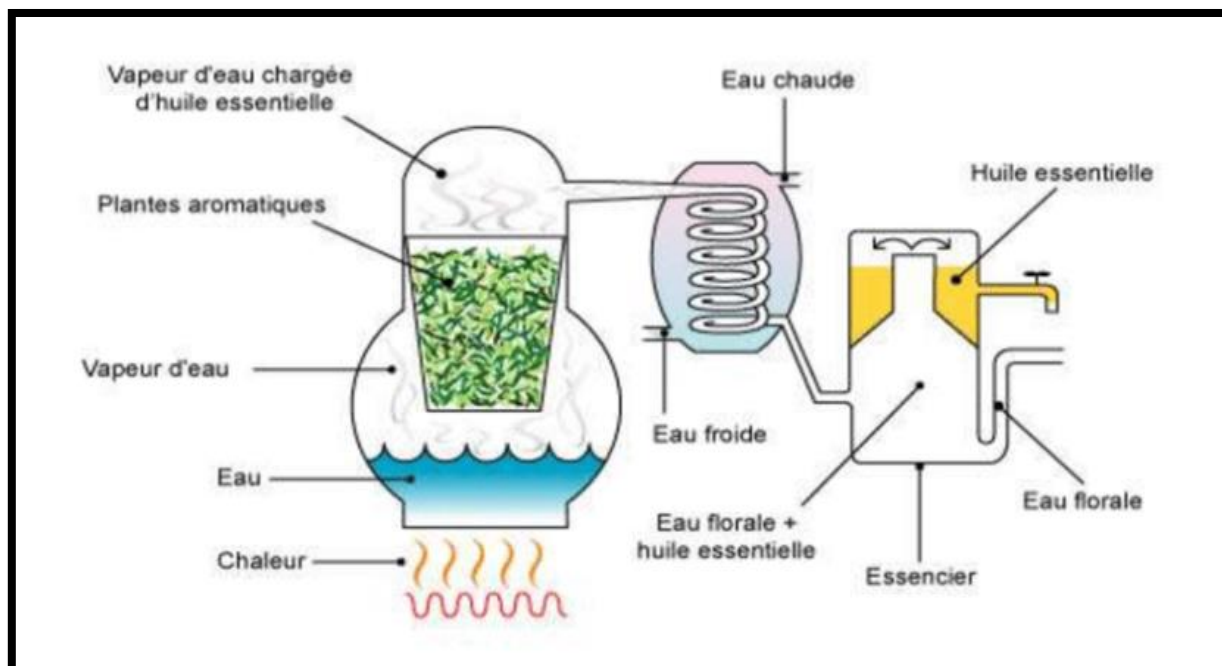


Figure 4. Montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau (Goudjil, 2016).

2.3.2. Extraction par expression à froid

Cette technique est spécifiquement utilisée pour l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes des agrumes. Elle repose sur un procédé mécanique qui déchire les parois des sacs oléifères situés dans le mésocarpe, juste sous l'écorce du fruit (épicarpe). Cette méthode permet de recueillir l'essence sans altération, car elle ne nécessite aucun traitement thermique susceptible de modifier ses propriétés (Boukhatem *et al.*, 2019) (Figure 5).

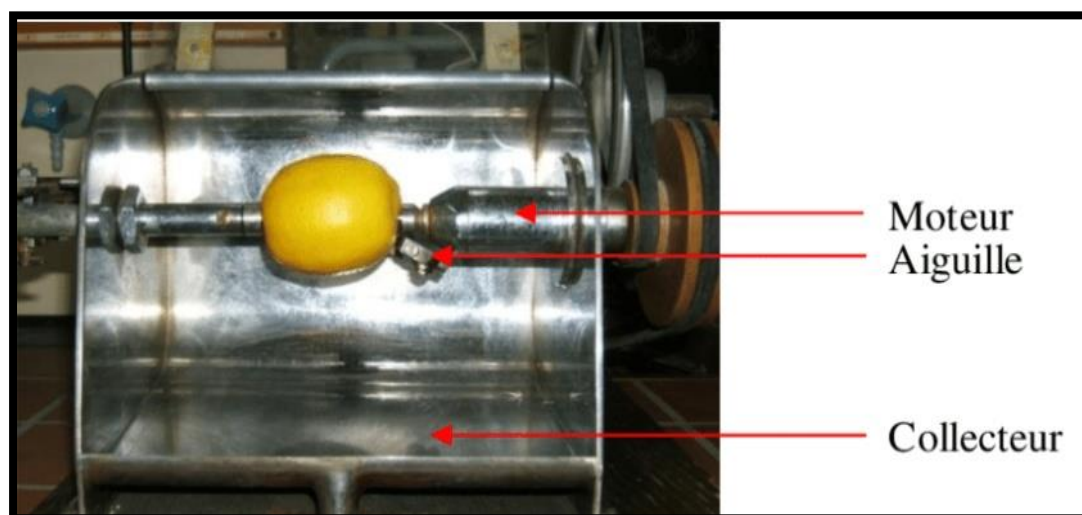


Figure 5. Montage de l'expression à froid (Farhat, 2010).

2.3.3. Hydrodistillation

Cette méthode, parmi les plus anciennes et les plus simples à mettre en œuvre, repose sur l'utilisation de la partie de la plante contenant les composés aromatiques, placée dans un ballon avec de l'eau distillée et quelques pierres ponce pour favoriser l'agitation. Sous l'effet de la chaleur, les cellules végétales éclatent, libérant ainsi les molécules odorantes. Ces dernières forment avec la vapeur d'eau un mélange azéotrope. En s'évaporant, la vapeur d'eau entraîne les composés volatils vers un réfrigérant, où elle se condense (Figure 6).

Le distillat obtenu est recueilli dans un erlenmeyer, formant deux phases distinctes : une phase aqueuse et une phase organique. Ces deux phases sont ensuite séparées à l'aide d'une ampoule à décanter, ce qui permet de récupérer l'huile essentielle pure (Bouabdallah et Cherrati, 2021).

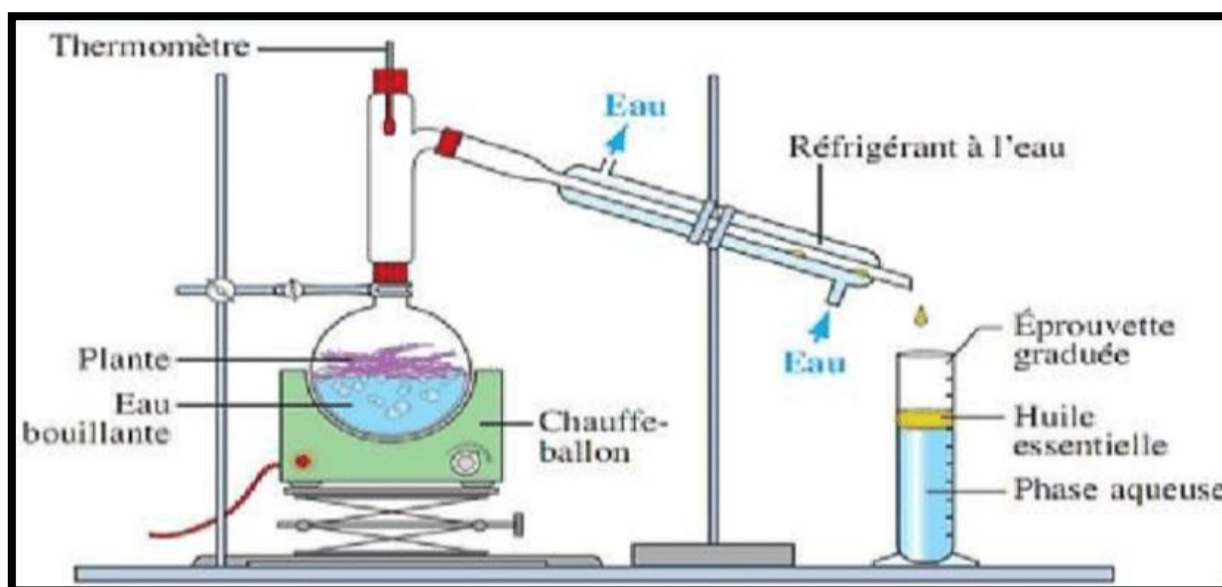


Figure 6. Montage d'hydrodistillation (Goudjil, 2016).

2.4. Techniques d'analyses des huiles essentielles

2.4.1. CPG

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est la méthode d'analyse la plus couramment employée pour les huiles essentielles. Elle est particulièrement bien adaptée à leur étude en raison de leur richesse en composés volatils. Cette technique permet une identification à la fois qualitative et quantitative des différents constituants présents dans une huile essentielle. Les analyses sont généralement effectuées sur des colonnes capillaires de polarités variées. Le chromatographe peut être couplé à divers types de détecteurs, tels que le détecteur à ionisation de flamme (FID) ou celui à conductivité thermique, bien que ces derniers ne fournissent pas

d'informations structurales. En revanche, le couplage de la CPG à un spectromètre de masse (CPG/SM) permet d'obtenir des données structurales précises sur les composés analysés (Nebié, 2023).

2.4.2. GC-MS

Les premiers dispositifs de routine combinant CPG et spectrométrie de masse avec colonnes capillaires sont apparus en 1975. Depuis, cette méthode n'a cessé de se perfectionner et s'applique aujourd'hui à de nombreux secteurs : agroalimentaire (analyse des aliments et de l'eau), pétrochimie (carburants, matières plastiques), et produits naturels (parfums, cosmétiques, médecine). Dans le domaine des huiles essentielles, le couplage CPG/SM constitue aujourd'hui la méthode d'analyse de référence (Paolini, 2005).

2.5. Activités biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles possèdent des propriétés biologiques avérées, notamment des activités antibactériennes, antiparasitaires, antifongiques, antioxydantes et insecticides. Leur utilisation remonte à l'Antiquité (Ghabraie et *al.*, 2016 ; Sharifi-Rad et *al.*, 2017).

Ces huiles sont reconnues depuis longtemps pour leurs activités biologiques et ont été utilisées dans les systèmes de guérison traditionnels du monde entier (Sharifi-Rad et *al.*, 2017 ; ManciantietEbani, 2020). Leurs diverses propriétés les rendent précieux dans les industries agroalimentaire et cosmétique, ainsi que dans les applications en santé humaine (Dhifi et *al.*, 2016).

2.5.1. Activité antioxydante

Les propriétés antioxydantes des huiles essentielles ont fait l'objet de nombreuses études récentes. Elles sont considérées comme des antioxydants naturels en raison de leur capacité à limiter la formation des radicaux libres et à les neutraliser. Ainsi, elles sont envisagées comme des alternatives potentielles aux antioxydants synthétiques, notamment dans certains domaines de la conservation des aliments (Abdelli et *al.*, 2016).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* (pouliot) a démontré une activité antioxydante significative dans de nombreuses études. Ses principaux constituants sont la pulégone et la menthone, avec des concentrations variant selon les études (Nickavar et Jabbareh, 2018 ; Bektašević et *al.*, 2021). L'huile présente une forte activité de piégeage des radicaux DPPH, une étude rapportant une inhibition de 90,54 % à 1000 µg/ml. Elle montre également un potentiel dans la réduction du fer et la protection contre la peroxydation lipidique. Ces résultats

indiquent que l'huile essentielle de *M. pulegium* pourrait être précieuse dans les industries alimentaires et pharmaceutiques en raison de ses propriétés antioxydantes (Hariri et al., 2020).

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* a été évaluée à l'aide de plusieurs méthodes, notamment le test DPPH, basé sur le piégeage des radicaux libres, ainsi que la méthode FRAP (FerricReducingAntioxidant Power).

La première méthode utilisée est le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), qui repose sur la capacité des composés antioxydants à neutraliser les radicaux libres en leur cédant un électron ou un atome d'hydrogène, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance mesurée spectrophotométrique à 517 nm. Ce test permet ainsi d'estimer l'efficacité de l'huile essentielle à piéger les radicaux libres, indicateurs majeurs du stress oxydatif.

La seconde méthode appliquée est le test FRAP (FerricReducingAntioxidant Power), qui évalue la capacité réductrice de l'échantillon, c'est-à-dire son aptitude à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}) en présence d'un agent colorimétrique, le complexe tripyridyle triazine (TPTZ). L'intensité de la coloration bleue formée, mesurée à 593 nm, est proportionnelle au pouvoir antioxydant de l'échantillon (Touré, 2015).

2.5.2. Activité antimicrobienne

Il a été prouvé que les huiles essentielles possèdent une activité antimicrobienne contre les bactéries pathogènes, avec une efficacité observée dans une concentration comprise entre 0,05 % et 0,1 % dans les systèmes alimentaires (Ghabraie et al., 2016).

Il est important de mentionner que les huiles essentielles sont plus actives contre les bactéries Gram-positives que contre les bactéries Gram-négatives. Ces dernières sont moins sensibles à l'action des huiles essentielles grâce à la membrane externe entourant la paroi cellulaire qui limite la diffusion des composés hydrophobes à travers son film lipopolysaccharidique. De plus, l'activité antibactérienne des huiles essentielles est liée à leur composition chimique, aux proportions de molécules volatiles et à leurs interactions

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* présente une activité antimicrobienne significative contre divers micro-organismes, en particulier les bactéries Gram-positives. L'activité antimicrobienne dépend de la concentration, avec des concentrations inhibitrices minimales allant de 0,003 % à 4 μ l/ml contre divers agents pathogènes (Mahboubi et Haghi, 2008 ; Morteza-Semnani et al., 2011 ; Chraïbi et al., 2016 ; Yahiaoui et al., 2017). Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de *M. pulegium* a des applications potentielles comme conservateur naturel dans les industries alimentaires.

2.5.3. Activités Antifongiques et insecticides

De nombreuses études ont souligné les divers effets biologiques des plantes aromatiques et médicinales, notamment leurs propriétés antifongiques, antibactériennes, antioxydantes et insecticides. Grâce à ces caractéristiques, les huiles essentielles pourraient potentiellement agir comme conservateur pour les aliments (Hmiri et *al.*, 2011).

Des études récentes ont exploré les propriétés antifongiques et insecticides de l'huile essentielle de *M. pulegium*. L'huile présente une forte activité antifongique contre divers agents pathogènes, notamment *Aspergillus flavus*, *A. niger*, *Alternaria* spp., *Penicillium* spp et *Monilinia fructicola* (Medjdoub et *al.*, 2019 ; Montenegro et *al.*, 2020).

Ses effets insecticides ont été démontrés contre *Bactrocera oleae* et *Callosobruchus maculatus* (Medjdoub et *al.*, 2019). Les principaux composants de l'huile essentielle de *M. pulegium* sont la pulégone, le menthol, la menthone et l'isopulégol, la pulégone étant souvent la plus abondante (Montenegro et *al.*, 2020). Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de *M. pulegium* pourrait être une alternative naturelle prometteuse pour lutter contre les maladies fongiques et les insectes ravageurs en agriculture.

La menthe pouliot est reconnue pour ses propriétés répulsives contre les nuisibles. Diffusée dans l'air, elle éloigne insectes piqueurs et parasites. Elle est utilisée dans les couchages d'animaux, près des réserves alimentaires (salaisons, fromages), ou brûlée dans les locaux infestés. Appliquée en lotion sur le pelage, elle aide également à éliminer les puces chez les animaux domestiques (RezougetCherief, 2022).

2.6. Applications potentielles des huiles essentielles.

Les huiles essentielles et certains de leurs composants sont largement employés dans divers secteurs, notamment la parfumerie, les cosmétiques, les produits d'hygiène, la dentisterie, l'agriculture, ainsi que dans l'industrie agroalimentaire où elles servent d'additifs et de conservateurs. Elles sont également reconnues pour leurs vertus thérapeutiques et utilisées comme remèdes naturels (Bakkali et *al.*, 2008).

2.6.1. Applications pharmaceutiques et cosmétiques.

Les huiles essentielles (HE) sont largement prisées dans l'univers de la parfumerie et des cosmétiques. Face aux inquiétudes concernant la toxicité potentielle des conservateurs synthétiques sur la santé, les HE suscitent un intérêt croissant pour leur rôle de conservateurs naturels. Leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes permettent en effet de prolonger la durée de vie des produits.

De plus, leurs qualités olfactives en font des composants de choix dans la formulation de nombreux soins. Cependant, leur utilisation n'est pas exempte de précautions. Des concentrations trop élevées peuvent non seulement produire des odeurs trop marquées, mais également provoquer des réactions cutanées, notamment des allergies. Parmi les HE fréquemment intégrées aux parfums et cosmétiques, on retrouve celles de citronnelle, de bois de cèdre, de lavandin, de patchouli, de thym, d'origan, entre autres (Mnayer, 2014).

En complément des huiles essentielles, d'autres extraits végétaux sont également utilisés, tels que les concrètes et les absolues, à condition qu'ils soient obtenus à l'aide de solvants autorisés selon les référentiels en vigueur. La concrète, peu soluble dans les formulations liquides, est surtout employée dans les parfums solides et comme agent épaississant dans les crèmes et lotions. L'absolue, quant à elle, est très appréciée en parfumerie pour l'intensité et la subtilité de son arôme. Des absolues de jasmin, de lavande, de géranium, de lavandin ou encore de narcisse sont couramment utilisées comme matières premières en parfumerie (Mnayer, 2014).

2.6.2. Usages en conservation alimentaires

Dans l'industrie agroalimentaire, les huiles essentielles sont employées comme conservateurs naturels et agents aromatisants. Certaines, comme celles de girofle, vanille, menthe, gingembre, citronnelle et agrumes, sont utilisées dans divers produits tels que les confiseries, thés, sirops, boissons, biscuits et produits laitiers (Nebie, 2023).

Les huiles essentielles sont utilisées dans ce contexte pour rehausser le goût et améliorer la saveur des produits alimentaires transformés. Plus récemment, les industriels se sont tournés vers leur utilisation comme agents de conservation, en alternative aux conservateurs synthétiques classiques tels que les parabènes (Kaloustian et HadjiMinaglou, 2012).

2.7. Limites et précautions d'emploi

Les huiles essentielles ont été largement employées comme agents de conservation dans divers produits alimentaires, notamment les fruits, les légumes, les jus, le lait, le fromage, le bœuf, le poulet, les saucisses et le poisson. Toutefois, leur utilisation dans la conservation des aliments demeure restreinte en raison de leur faible solubilité dans l'eau, de leur stabilité parfois insuffisante, ainsi que de l'intensité de leur arôme (Li *et al.*, 2022).

Leur utilisation est restreinte en raison de leur influence sur le goût et l'odeur, notamment à des concentrations élevées. Il est donc essentiel de déterminer la concentration minimale permettant de préserver un niveau sensoriel acceptable, afin de les intégrer aux aliments sans altérer leurs caractéristiques organoleptiques (Ghabraie *et al.*, 2016).

Le composé dominant de l'huile essentielle de *M. pulegium* est le cyclohexanone, pulégone. La pulégone constitue environ 80 à 90 % de l'huile essentielle de menthe pouliot. Les effets toxiques de l'huile essentielle de *M. pulegium* sont principalement dus à son principal composant, la pulégone. Ces effets toxiques résultent généralement d'une mauvaise utilisation de cette plante en médecine traditionnelle. Selon la dose, l'ingestion d'huile de menthe pouliot peut produire des effets toxiques directs sur le tractus gastro-intestinal et le foie. Des rapports suggèrent que l'ingestion de jusqu'à 10 ml d'huile de *M. pulegium* provoque une légère toxicité du système nerveux central et une gastrite sans atteinte hépatorénale. Les décès résultent de l'ingestion de 15 à 30 ml de cette huile. En raison de sa toxicité potentielle, la menthe pouliot n'est pas recommandée pour les enfants et autres groupes sensibles (Bektašević et *al.*, 2020).

Partie 2 Partie expérimentale

Matériel et Méthodes

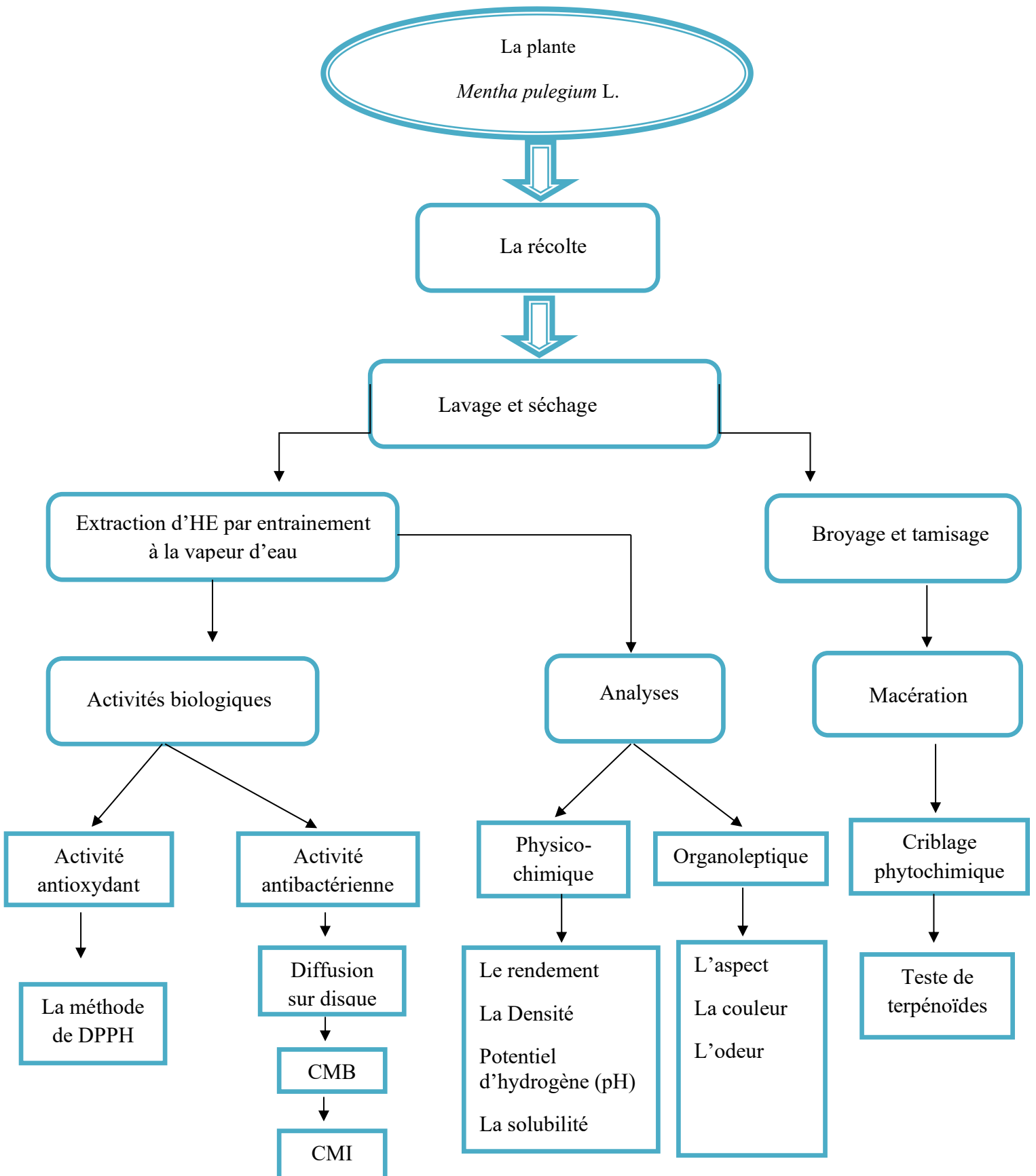


Figure 7. Le protocole expérimental

1. Objectif de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'activité antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles de *Mentha pulegium*.

Cette étude vise également à valoriser l'huile essentielle de *Mentha pulegium*L. originaire de Mostaganem, en mettant en évidence ses propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, en vue d'une éventuelle application dans le domaine agroalimentaire.

❖ Présentation du lieu de travail

L'ensemble des travaux expérimentaux a été réalisé au sein des laboratoires de biochimie alimentaire, de microbiologie et physiologie animale appliquée de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem.

2. Matériel Végétal

2.1. La plante *Mentha pulegium*L.

Le matériel végétal utilisé dans cette étude correspond à la partie aérienne de la plante médicinale *Mentha pulegium*L. Il a été récolté au mois d'avril 2025 dans la région d'Achaâcha, située dans l'Est de la wilaya de Mostaganem, en Algérie.

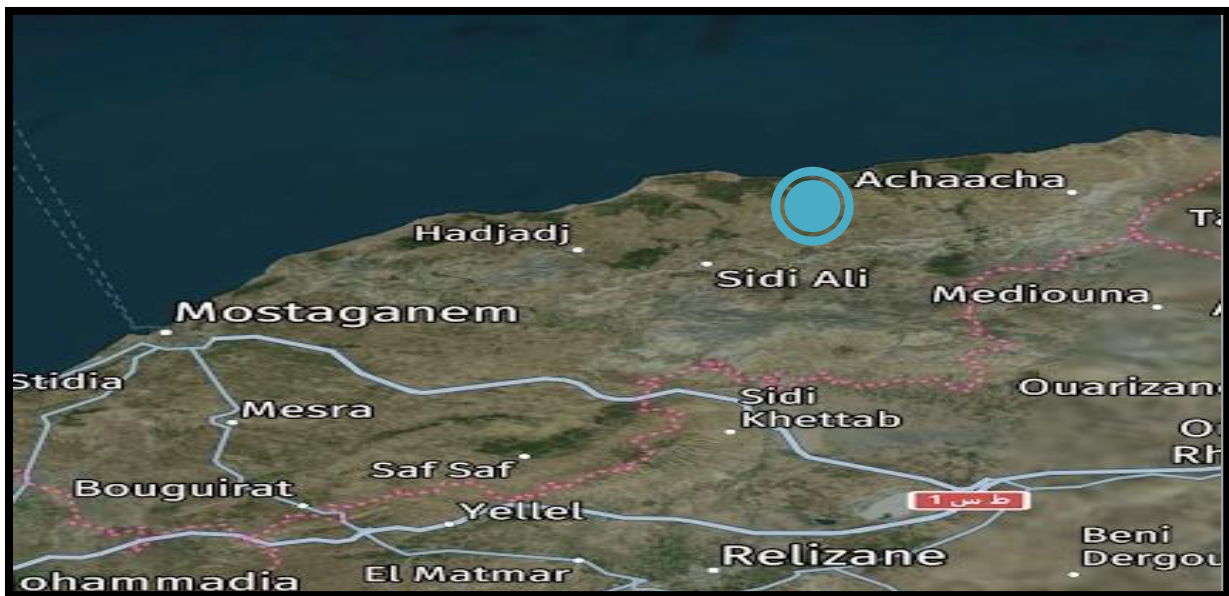


Figure 8. La carte géographique de la région de Mostaganem.



Lieu de la récolte de la matière végétale (la région d'Achaâcha au nord-ouest de l'Algérie, (wilaya de Mostaganem)).

2.2. Préparation de plante

Après la récolte, le matériel végétal a été soigneusement lavé à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés et les particules de poussière. Il a ensuite été étalé en une couche et laissé à sécher à l'air libre, à l'ombre, dans un environnement bien aéré et à température ambiante, pendant une durée d'une semaine.

Une fois le séchage complet, les échantillons ont été conservés dans des contenants hermétiques, à l'abri de la lumière de l'humidité et de toute source de chaleur, afin de préserver leurs propriétés physico-chimiques et biologiques.

2.3. Préparation de la poudre

Les feuilles de la plante *Mentha pulegium* ont été soigneusement triées et lavées à l'eau distillée afin d'éliminer toutes les impuretés, puis séchées à l'air libre à température ambiante pendant 15 jours. Ensuite, elles ont été finement broyées et tamisées. Elles ont été conservées dans des récipients en verre hermétiquement fermés, à l'abri de la lumière et de l'humidité.



Figure9. La partie aérienne fraîche et sèche de plante *Mentha pulegium*L.(Photo originale).

3. L'extraction de l'huile essentielle de la plante

3.1. Entraînement à la vapeur d'eau

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par entraînement à la vapeur d'eau, un procédé qui consiste à exposer directement le matériel végétal à un flux continu de vapeur sans recourir à une étape de macération préalable. La vapeur d'eau traverse la masse végétale, entraînant avec elle les composés volatils présents dans les tissus de la plante.

La vapeur, enrichie en composés volatils, est ensuite condensée, puis envoyée dans un essencier où elle est décantée. Cette décantation permet la séparation en deux phases : une phase aqueuse (hydrolat) et une phase organique correspondant à l'huile essentielle (HE). L'un des avantages majeurs de cette méthode réside dans l'absence de contact direct entre l'eau liquide et la matière végétale, ce qui réduit considérablement les risques d'hydrolyse enzymatique ou chimique des composés volatils. Ainsi, l'intégrité chimique et la qualité des huiles essentielles extraites sont mieux préservées (Boukhatem et al., 2019).

❖ Méthode

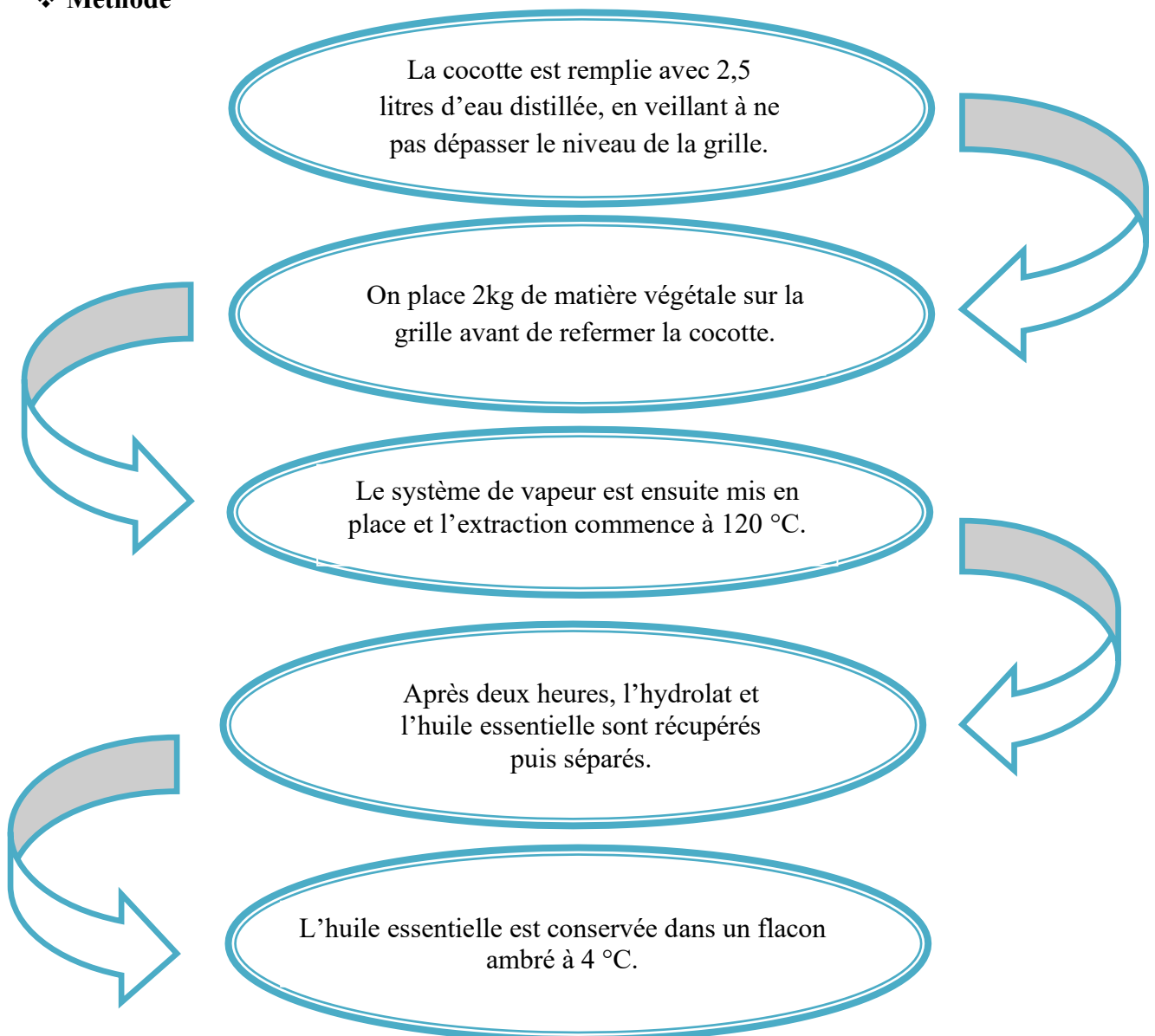


Figure10. Les étapes d'extraction par l'entraînement à la vapeur d'eau.

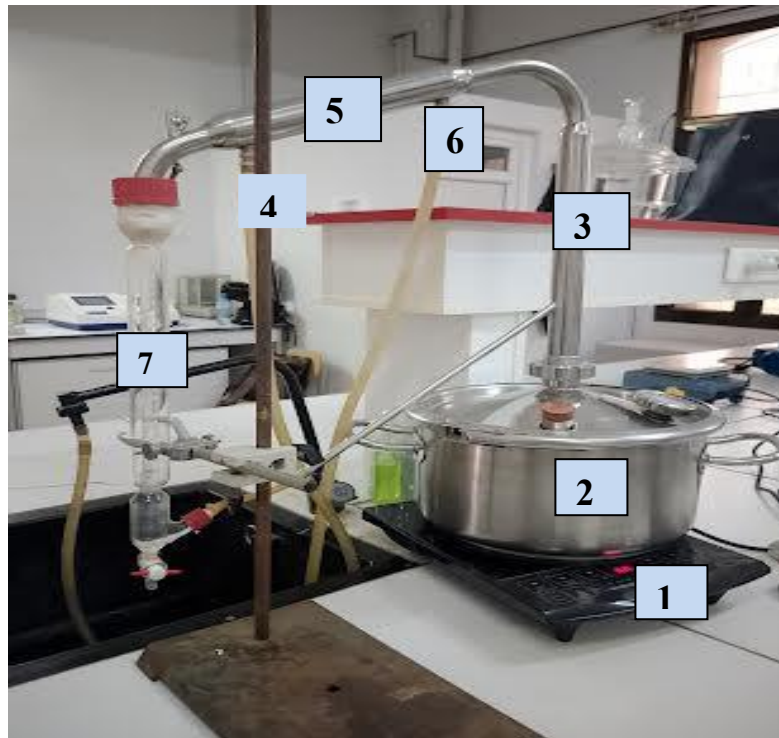


Figure 11. Dispositif de la distillation par l'entraînement à la vapeur d'eau (Photo originale).

1 : Plaque chauffent 2 : Cocotte-minute 3 : Condensateur 4 : Sortie d'eau 5 : Réfrigérant
6 : Entrée de l'eau 7 : Tube gradué

4. Analyses des huiles essentielles

4.1. Analyse organoleptique

L'évaluation des propriétés organoleptiques fait généralement partie des études portant sur les facteurs influençant la qualité des huiles essentielles. Dans cette étude, trois critères ont été retenus pour apprécier la qualité organoleptique : l'aspect, la couleur et l'odeur (Afrokh et al., 2024).

4.2. Analyse physicochimique

4.2.1. Le rendement

Le rendement en huile essentielle correspond au rapport entre la masse d'huile extraite et le poids de la matière végétale utilisée. Il est généralement exprimé par :

$$R = \frac{Ph}{Pp} \times 100$$

Tels que :

R = le rendement de l'HE, exprimé en pourcentage (%).

Ph = la masse de l'HE extraite en gramme (g).

Pp = la masse de la matière végétale utilisée en gramme (g) (Rahmani, 2021).

4.2.2. La Densité

La densité d'une huile est le rapport de la masse d'un certain volume d'une huile à 20°C.

$$D = m / m'$$

D : la densité relative.

m : la masse d'huile (g).

m' : la masse de l'eau distillée (g) (Sadek, 2021).

4.2.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH, abréviation de "potentiel hydrogène", évalue l'activité chimique des ions hydrogène (H⁺) présents en solution. Cette mesure est réalisée à l'aide d'un pH-mètre.

Une quantité déterminée d'huile essentielle a été versée dans un bécher propre et sec. Le pH de cette solution a ensuite été mesuré à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné avec des solutions tampons standards. Cette méthode permet de déterminer l'acidité ou la basicité de l'huile essentielle, selon le protocole décrit par Bahaz (2021).

4.2.4. Test de solubilité

Les huiles essentielles sont insolubles dans l'eau, mais se dissolvent facilement dans l'alcool, l'éther et les huiles fixes. Ce sont des substances volatiles, généralement liquides et incolores à température ambiante, possédant une odeur caractéristique. Leur densité est dans la majorité des cas, inférieure à 1 (Dhifi et al., 2016).

Une huile essentielle est considérée comme miscible lorsqu'elle peut se dissoudre dans un certain volume d'éthanol et de méthanol, de titre alcoométrique déterminé à une température de 293,15 K (20 °C). Dans le cas de l'huile essentielle étudiée, l'obtention d'une solution limpide nécessite l'ajout progressif d'au moins 20 volumes d'éthanol et de méthanol pour un volume d'huile essentielle, à cette même température (Rached et al., 2025).

5. Préparation de l'extrait méthanolique

Pour la préparation de l'extrait méthanolique, une masse de 10 g de poudre sèche de *Mentha pulegium* L a été introduite dans un erlenmeyer contenant 100 ml de méthanol. Le mélange a été soumis à une agitation mécanique continue à l'aide d'un agitateur magnétique, et ce, durant une période environ 12 à 16 heures, à température ambiante, afin de favoriser l'extraction maximale des composés hydrosolubles.

Après la période de macération, la solution a été filtrée à l'aide d'un papier filtre de type Wattman n°1, dans le but de séparer les résidus solides du filtrat. Ce dernier a ensuite été

placés dans une étuve réglée à 40 °C, jusqu'à évaporation complète de méthanol, afin d'obtenir un extrait concentré exempt d'humidité (Boukeria et al., 2019).

6. Criblage phytochimique

➤ Test de terpénoïdes

Pour la mise en évidence des terpénoïdes, un test de caractérisation chimique a été réalisé selon la méthode décrite par Mahadeva Rao et al., (2016). Dans un tube à essai propre de 2 ml de chloroforme (CHCl₃) ont été introduits, servant de solvant organique. Ensuite, 0,5 ml de l'extrait végétal à tester a été ajouté.

Après homogénéisation, 3 ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄) ont été versés délicatement le long de la paroi du tube à l'aide d'une pipette, afin de former une seconde phase bien distincte sous forme de couche inférieure.

Une observation minutieuse a alors été effectuée à l'interface des deux liquides. La formation d'une coloration brun rougeâtre à cette zone de contact est considérée comme un indicateur positif, révélant la présence de composés de type terpénoïdes dans l'extrait analysé.

7. Activités biologiques

7.1. Activité antioxydante

7.1.1. Piégeage du radical libre DPPH

Un volume de 750 µl de la solution méthanolique de DPPH a été mélangé à 250 µl de la solution méthanolique de l'extrait, à différentes concentrations. En parallèle, un contrôle négatif (blanc) a été préparé en mélangeant 250 µl de méthanol pur avec 750 µl de la solution de DPPH. L'absorbance de chaque mélange a été mesurée à 517 nm, après 30 minutes d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, en prenant le blanc (le mélange DPPH + méthanol pur, sans extrait) correspondant comme référence.

Le contrôle positif a été réalisé à l'aide d'une solution standard d'acide ascorbique, soumise aux mêmes conditions expérimentales que les extraits testés, et à chaque concentration. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (PI %) (Ramoulet Azzizi, 2022).

$$I\% = (\text{Abs contrôle négatif} - \text{Abs Échantillon}) / \text{Abs contrôle négatif} \times 100$$

I% : pourcentage de l'activité anti-radicalaire

Abs : Absorbance

La valeur de l'IC₅₀ correspond à la concentration de l'échantillon requise pour inhiber 50 % des radicaux libres du DPPH. Elle a été déterminée par régression linéaire, en utilisant

la concentration des composés testés comme variable indépendante et le pourcentage d'inhibition (I %) comme variable dépendante (Bencheikh, 2017).

Les essais ont été effectués en trois répétitions indépendantes afin d'assurer la fiabilité des données.

7.2. Activité antibactérienne

❖ Matériel microbiologique

Dans le cadre de cette étude, six souches bactériennes de référence ont été sélectionnées afin d'évaluer l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*. Ces souches incluent à la fois des bactéries à Gram positif (G⁺) et des bactéries à Gram négatif (G⁻).

Le choix de cette diversité bactérienne vise à mettre en évidence l'éventuel spectre d'action et de leur disponibilité au sein du laboratoire de microbiologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Mostaganem). Les différentes souches sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau4. Les souches bactériennes utilisées.

Souches bactériennes	
Gram-positif	Gram-négatif
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella typhi</i>
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Escherichia coli</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pseudomonasaeruginosa</i>

7.2.1. Méthode de diffusion sur disque (aromatogramme)

❖ L'aromatogramme

La technique de l'aromatogramme a été utilisée afin d'évaluer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles. Cette méthode consiste à déposer un disque stérile de 6 mm de diamètre, imprégné d'une quantité définie d'huile essentielle, sur une boîte de pétri contenant un milieu gélosé préalablement ensemencé avec la souche microbienne ciblée. Après une période de 24h à température de 37C° l'activité antimicrobienne est évaluée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition, exprimé en millimètres (Boutabia et al., 2016).

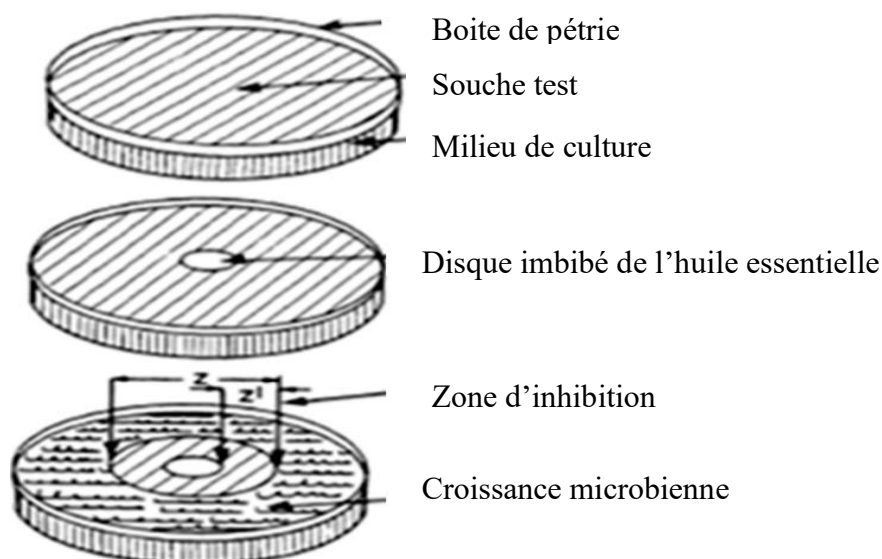


Figure12. L'aromatogramme (Touhami, 2017).

❖ Préparation de la suspension bactérienne

Une colonie bien isolée, prélevée à partir d'une culture âgée de 18 à 24 heures, a été transférée dans 5 ml d'eau physiologique contenue dans un tube à essai (El Amri *et al.*, 2014), puis homogénéisée à l'aide d'un vortex. La concentration bactérienne de l'inoculum a été estimée par mesure de la turbidité, exprimée en densité optique (DO) à 600 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une DO comprise entre 0,08 et 0,1 correspond à une concentration approximative de 10^8 UFC/ml (Abou etFareh, 2017).

❖ Ensemencement

Dans des boîtes de Pétri contenant de la gélose Mueller-Hinton, entre deux et quatre millilitres de chaque suspension bactérienne préalablement préparée sont répartis séparément. La suspension est ensuite étalée uniformément dans toutes les directions afin de recouvrir l'ensemble de la surface gélosée. Après un temps de contact d'une minute entre la suspension bactérienne et la gélose, l'excédent est retiré à l'aide d'une pipette Pasteur stérile munie d'une poire. Les boîtes ainsi ensemencées sont ensuite laissées au repos pendant 15 minutes à température ambiante (Touré, 2015).

❖ Dépôt de disques

Des disques de papier filtre Wattman n°1, d'un diamètre de 6 mm, ont été stérilisés dans du papier aluminium à l'autoclave à 120 °C pendant 15 minutes. À l'aide d'une pince stérile, les disques imprégnés d'une quantité définie d'huile essentielle brute ont été placés à la surface des boîtes de Pétri préalablement ensemencées avec les souches bactériennes à tester. Les boîtes

ont ensuite été fermées et laissées à température ambiante pendant 30 minutes afin de permettre la diffusion de l'huile, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures.

❖ Lecture

La lecture des résultats consiste à mesurer, en millimètres, le diamètre de la zone d'inhibition formée autour de chaque disque. Ces résultats sont exprimés sous forme de diamètres mesurés et peuvent également être représentés par des symboles, selon le degré de sensibilité des souches à l'égard de l'huile essentielle testée (Mouas et *al.*, 2017).

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle a été réalisée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition (DZI), autour du disque imprégné, exprimé en millimètres, peuvent être codifiés à l'aide de symboles, en fonction du niveau de sensibilité des souches bactériennes à l'huile essentielle testée.

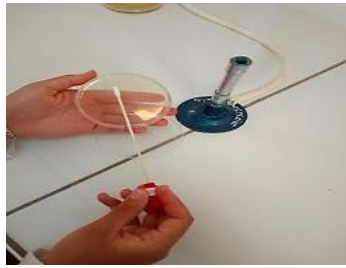
Afin d'interpréter les résultats de manière standardisée, une classification qualitative de la sensibilité des souches bactériennes a été adoptée, selon les critères proposés par Djendietal. (2023).

Ainsi, une souche est considérée comme :

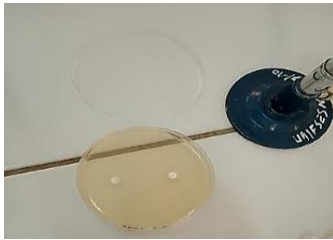
- Non sensible (-) ou résistante : diamètre < 8 mm
- Sensible (+) : diamètre compris entre 9 à 14 mm
- Très sensible (++) : diamètre compris entre 14 à 19 mm
- Extrêmement sensible (+++) : diamètre > 20 mm

Cette codification permet une lecture rapide de la puissance antimicrobienne de l'huile essentielle testée vis-à-vis des différentes souches.

Chaque test a été réalisé en triplicata afin de garantir la fiabilité des résultats.



Ensemencement des souches bactériennes



Dépôt des disques dans les boîtes de pétri



Mise des huiles essentielles

Figure13. Les étapes de la méthode de l'aromatogramme (Photo originale).

7.3. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'huile essentielle de *Menthapulegium* a été réalisée par la méthode de dilution en série sur des microplaques de 96 puits à fond en « U », une solution mère de l'huile essentielle a d'abord été préparée à 10 % (v/v) dans le DMSO, des dilutions doubles en série ont ensuite été effectuées dans un bouillon de culture Mueller-Hinton, permettant d'obtenir neuf concentrations différentes, à partir d'une concentration bien déterminée.

L'inoculum bactérien utilisé a été ajusté à une concentration de $1,5 \times 10^8$ UFC/ml. Pour chaque essai, un contrôle positif (milieu contenant l'inoculum sans huile essentielle) et un contrôle négatif (milieu stérile sans inoculum) ont été inclus. Les microplaques ont été scellées

puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. La croissance bactérienne a été révélée par l'ajout de chlorure de 2,3,5-triphenyltétrazolium (TTC) en solution aqueuse dans chaque puits.

Le TTC permet de distinguer les cellules vivantes, qui prennent une coloration rouge, des cellules mortes, qui restent incolores, la CMI est définie comme la plus faible concentration d'huile essentielle empêchant toute croissance visible, indiquée par l'absence de coloration au TTC après 18 heures d'incubation à 37 °C (Baitich et *al.*, 2019).

7.4. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)

La concentration minimale bactéricide (CMB) correspond à la plus faible concentration d'HE ou d'extraits capable de tuer 99,9 % de l'inoculum bactérien initial, traduisant ainsi l'effet bactéricide de l'HE ou des extraits végétaux (Agour et *al.*, 2020).

Pour déterminer la CMB, 10 µl de bouillon ont été prélevés à partir de chaque puits ne présentant pas de croissance visible, puis ensemencés sur une gélose Mueller-Hinton et incubés pendant 24 h à 37 °C. Après incubation, la croissance des souches bactériennes testées indique une activité bactériostatique, tandis que l'absence de croissance traduit un effet bactéricide (Baitich et *al.*, 2019).

L'effet antibactérien est qualifié de bactéricide ou bactériostatique en fonction du rapport CMB/CMI. En effet, si $CMB/CMI = 1$ à 2 , l'effet est bactéricide, et si $CMB/CMI = 4$ à 16 , l'effet est bactériostatique (El Amri et *al.*, 2014).

Résultats et discussion

1. Analyse de l'huile essentielle

1.1. Analyse organoleptique

L'extraction par entraînement à la vapeur d'eau des parties aériennes sèches de la plante *Mentha pulegium* permis d'obtenir une huile essentielle de couleur jaune à jaune pâle, caractérisée par une odeur aromatique forte et agréable, ainsi qu'un aspect liquide (Tableau5).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* provenant de la région du Maroc présentait une couleur jaune pâle ainsi qu'une odeur agréable et distincte. Les propriétés organoleptiques observées dans la présente analyse confirment la qualité de l'huile, en accord avec les résultats rapportés par Zekri et ses collaborateurs (2023).

Tableau5. Caractères organoleptiques de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

	Caractères organoleptiques		
	Couleur	Odeur	Aspect
AFNOR (2000)	Presque incolore à jaune pâle	Caractéristique fraîche, plus ou moins camphrée selon l'origine	Liquide mobile, limpide
HE <i>Mentha pulegium</i>	Jaune pale	Forte et fraiche	Liquide

1.2. Analyse physicochimique de l'huile essentielle

1.2.1. Le rendement

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* a été extraite à partir des parties aériennes séchées de la plante récoltée dans la région de Mostaganem. Le processus d'extraction a permis d'obtenir un rendement de 0,75 % par rapport à la masse sèche du végétal utilisé (Tableau 6).

Tableau6. Le rendement de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

L'huile essentielle	Le rendement (%)
Avril	0.75

Le rendement en huile essentielle de *Mentha pulegium* obtenu par distillation à la vapeur d'eau s'élève à 0,75 %. Ce rendement est supérieur à celui rapporté par Abou (2017), qui était de 0,64 %, mais reste inférieur à celui observé par Bouyahya *et al.* (2017) ainsi que Rached *et al.* (2025), qui ont enregistré un rendement de 5,4 % et 2,31 % respectivement.

Les variations observées dans le rendement en huile essentielle peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, tels que l'origine géographique de la plante, la saison de récolte, les conditions de culture, l'état du matériel végétal (frais ou sec), ainsi que les paramètres

techniques du procédé d'extraction (Omer et *al.*, 2022). Cette variabilité peut également s'expliquer par la diversité morphologique et biochimique des plantes, elle-même influencée par les conditions topographiques et les facteurs environnementaux (Saba et Anwar, 2018).

1.2.2. La densité

La densité mesurée de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* est de 0,8936, une valeur légèrement supérieure à celle rapportée par Bouhaddouda (2016), qui était de 0,878 (Tableau 7).

1.2.3. Le potentiel d'hydrogène

Le pH de l'huile essentielle obtenue est de 5,22 (Tableau 7), ce qui est inférieur à la valeur de 5,44 rapportée par Lahrech (2010).

La valeur de pH mesurée pour l'huile essentielle de *Mentha pulegium* est de 5,22 (Tableau 7), ce qui est légèrement inférieur à la valeur de 5,44 rapportée par Lahrech (2010). Cette différence est comparable à celle relevée par El-Ghorab (2006), qui a obtenu un pH d'environ 5,30 pour une huile d'origine égyptienne. De même, Teixeira et *al.* (2012) ont documenté un pH proche de 5,15 pour une huile de *M. pulegium* issue du Portugal. Ces valeurs sont compatibles avec l'intervalle généralement observé pour les huiles essentielles du genre *Mentha*, qui fluctuent entre pH 5,1 et 5,5.

1.2.4. Teste de solubilité

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* présente une solubilité caractéristique des composés hydrophobes : elle est soluble dans les solvants organiques tels que le méthanol et l'éthanol, mais insoluble dans l'eau (Tableau 7).

Cette propriété est conforme aux observations de Dhifi et *al.* (2016), de Chouhan et *al.* (2017) et Rached et *al.* (2025), qui précisent que la nature majoritairement lipophile des huiles essentielles exige l'utilisation de solvants organiques ou d'agents émulsifiants pour permettre leur dispersion dans des milieux aqueux.

Tableau 7. Les paramètres physicochimiques d'HE de *Mentha pulegium*

Caractères physicochimiques	Densité	pH	Solubilité		
			L'eau	Le méthanol	L'éthanol
L'huile essentielle <i>Mentha pulegium</i>	0 .8936	5 .22	Non soluble	Soluble	Soluble

2. Criblage phytochimique

L'analyse phytochimique de l'extrait méthanolique de *Mentha pulegium* a mis en évidence la présence de plusieurs groupes de métabolites secondaires, notamment les terpénoïdes, dont la présence a été confirmée par un test qualitatif positif (Tableau 8).

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Brahmi et *al.* (2020) ainsi que Benabdallah et *al.* (2016), qui ont également identifié les terpènes comme constituants prédominants dans les extraits méthanoliques de cette espèce. La richesse en ces composés bioactifs est largement reconnue pour contribuer aux propriétés biologiques de la plante, en particulier son activité antimicrobienne et antioxydante.

Tableau 8. Résultats de Criblage phytochimique de L'huile essentielle de *Mentha pulegium*

Métabolites	L'huile essentielle de <i>Mentha pulegium</i>	Description de résultats
Terpénoïdes	+	La formation d'une coloration brun rougeâtre considérée comme un indicateur positif

+ : Présence

3. Activités biologiques

3.1. Activité antioxydante

3.1.1. Piégeage du radical libre DPPH

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L., ainsi que celle de l'antioxydant de référence (acide ascorbique), a été évaluée par la méthode du radical DPPH. Cette méthode repose sur la réduction du radical stable DPPH•, qui se traduit par un changement de couleur de violet à jaune (forme réduite DPPH-H), mesuré par spectrophotométrie à 517 nm. La capacité antioxydante est déterminée par la diminution de l'absorbance, reflétant l'efficacité des composés antiradicalaires présents dans l'extrait (Talbi et *al.*, 2015).

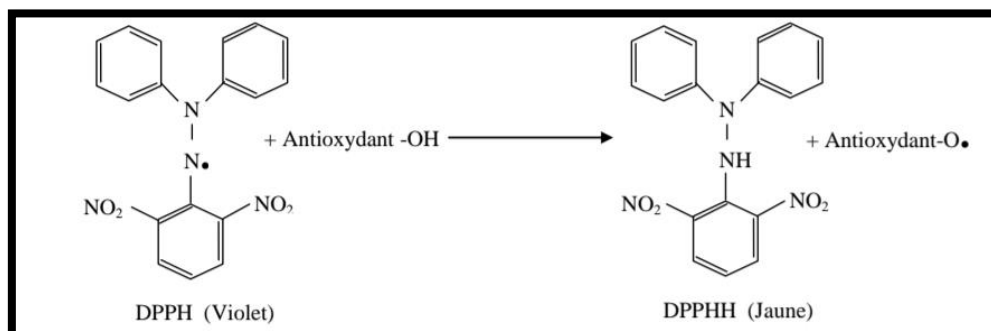


Figure 14. Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* a été évaluée par la méthode du radical libre DPPH. Les résultats ont révélé une capacité notable de piégeage des radicaux, avec une valeur d'IC₅₀ de 22,17 µg/ml, traduisant une activité antioxydante allant de modérée à élevée (Tableau 9).

Des résultats similaires ont été rapportés par Bahaz (2021), qui a obtenu une valeur d'IC₅₀ de 17,17 µg/ml, indiquant également une activité antioxydante significative. Par ailleurs, Messaoudi et al. (2022) ont évalué l'huile essentielle de la même espèce et ont rapporté une IC₅₀ de 25,68 µg/ml, confirmant ainsi le potentiel antioxydant de *Mentha pulegium*.

Les variations observées entre les différentes valeurs d'IC₅₀ peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les conditions environnementales, les techniques d'extraction utilisées, ainsi que la concentration en composés bioactifs tels que la pulégone, principal constituant de cette huile essentielle. Les résultats obtenus suggèrent que l'huile essentielle de *Mentha pulegium* représente une source naturelle potentiellement intéressante d'antioxydants, ouvrant des perspectives d'application dans le secteur agroalimentaire.

Les figures 15 et 16 illustrent l'efficacité de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* ainsi que de l'acide ascorbique dans le piégeage du radical libre DPPH. (Annexe 3) On observe un taux d'inhibition (I%) croissant en fonction de la concentration, traduisant une activité antiradicalaire dose-dépendante (l'activité antiradicalaire est proportionnelle à la dose, augmentant avec l'élévation des concentrations).

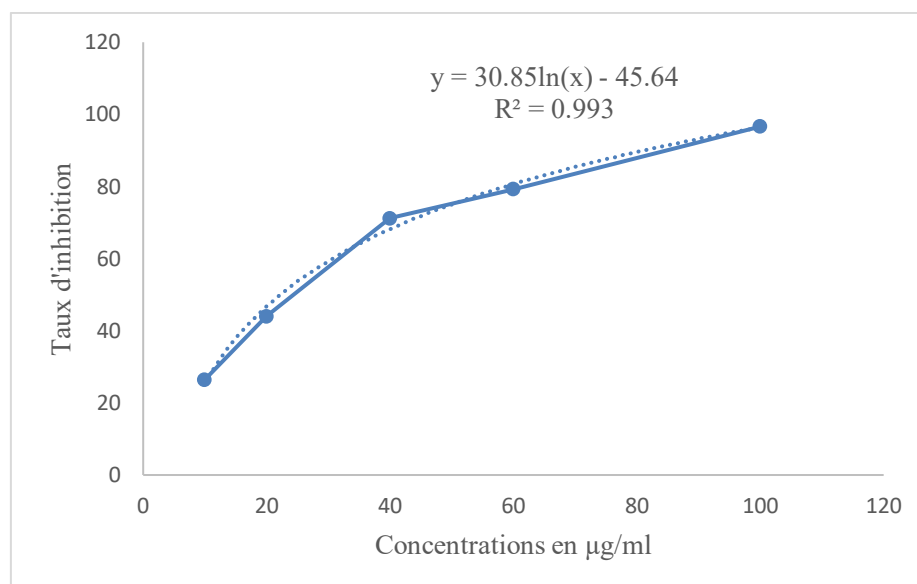


Figure 15. Activité anti-radicalaire d'huile essentielle de *Mentha pulegium* L.

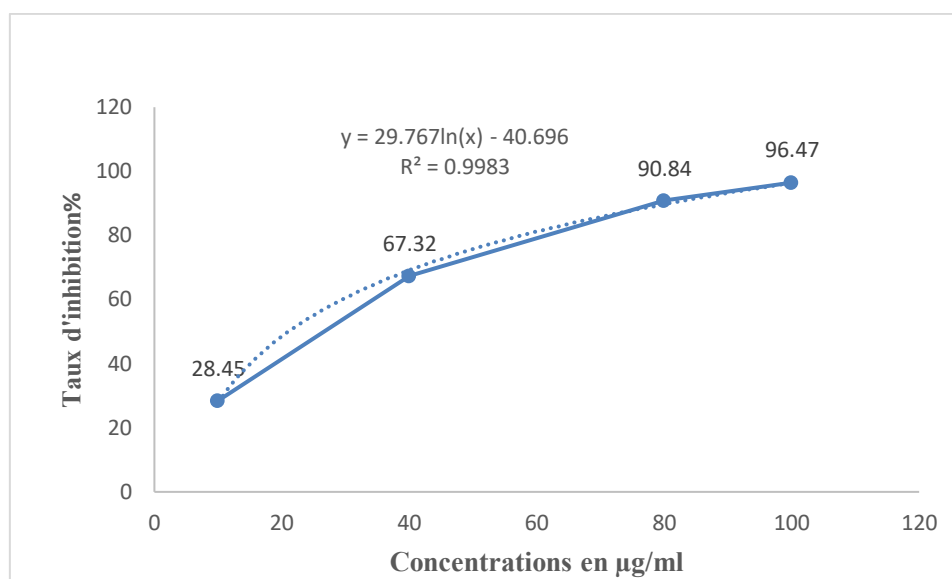


Figure 16. Activité anti-radicalaire du standard l'acide ascorbique

L'IC₅₀, ou concentration inhibitrice à 50 %, est un indicateur de clé inversement proportionnel à l'activité antioxydante : plus sa valeur est faible, plus le composé testé possède une forte capacité à neutraliser les radicaux libres.

Les résultats relatifs aux propriétés antioxydantes de l'huile essentielle de la plante étudiée, comparés à ceux de l'acide ascorbique sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9. L'activité antioxydante d'HE de *Mentha pulegium*.

Antioxydants	IC ₅₀ (µg /ml)
HE de <i>Mentha pulegium</i> L.	22.17
Acide ascorbique	21.1

3.2. Activité antibactérienne

Le pouvoir antibactérien de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* a été évalué par la méthode de diffusion sur disque sur gélose Mueller-Hinton.

L'activité antibactérienne d'huile essentielle (HE) et d'antibiotique a été évaluée en mesurant le diamètre des zones d'inhibition formées autour des disques imprégnés de ces substances. Les tests ont été réalisés sur six souches bactériennes pathogènes, dont trois Gram positif (*Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*) et trois Gram négatif (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Salmonella typhi*). La présence d'un halo clair

autour du disque indique une inhibition de la croissance bactérienne, reflétant ainsi l'efficacité antimicrobienne de l'HE ou de l'antibiotique testé.

Tableau 10. Diamètres des zones d'inhibition (en mm) des microorganismes pathogènes par l'huile essentielle de *Mentha pulegium* et l'antibiotique CIP (ciprofloxacine)

Les microorganismes Pathogènes	HE <i>Mentha pulegium</i>		Antibiotiques (CIP)	
	Diamètres d'inhibition (mm)	Sensibilité	Diamètres d'inhibition (mm)	Sensibilité
<i>Staphylococcus aureus</i>	10.00±0.00	+	28.67±0.58	+++
<i>Bacillus cereus</i>	13.67±1.16	+	31.00±1.00	+++
<i>Bacillus subtilis</i>	14.33±0.58	++	37.67±1.53	+++
<i>Escherichia coli</i>	10.33±1.53	+	28.33±1.53	+++
<i>Salmonella typhi</i>	7.67±1.53	-	27.00±2.0	+++
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	/		30±1.00	+++

Non sensible (-) ; Sensible (+) ; Très sensible (++) ; Extrêmement sensible (+++) ; / : Pas d'inhibition (Djendiet *al.*, 2023).

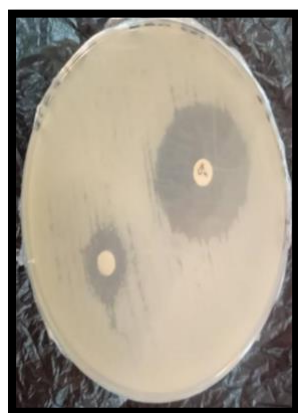
L'évaluation des zones d'inhibition a révélé une bonne activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* contre trois souches à Gram positif (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus*) ainsi qu'une souche à Gram négatif (*Escherichia coli*). L'effet le plus marqué a été observé contre *Bacillus subtilis*, avec un diamètre moyen de la zone d'inhibition de 14,33 ± 0,58 mm (Tableau 10), indiquant une sensibilité notable de cette bactérie à l'huile essentielle testée.

Les résultats obtenus indiquent que l'huile essentielle de *Mentha pulegium* présente une activité antibactérienne significative à l'égard des souches testées. Parmi celles-ci, *Bacillus subtilis* s'est révélé la plus sensible, présentant un diamètre d'inhibition maximal de 14,33 ± 0,58 mm. Une bonne activité a également été enregistrée contre *Escherichia coli* (10,33 ± 1,53 mm), ce qui concorde avec les résultats rapportés par Allali *et al.* (2021).

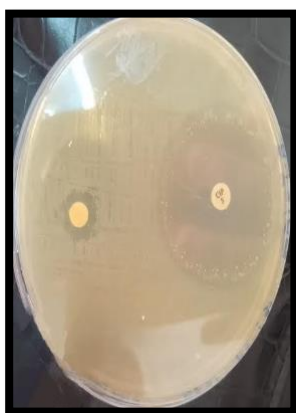
L'huile a montré un effet inhibiteur modéré vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* (10,00 ± 0,00 mm) et de *Bacillus cereus* (13,67 ± 1,16 mm). En revanche, que *Salmonella typhi* a présenté une sensibilité plus faible (7,67 ± 1,53 mm), tandis que *Pseudomonas aeruginosa* s'est révélée totalement résistante, aucune zone d'inhibition n'ayant été observée, ce qui rejoint les observations de Messaoudi *et al.* (2022).

Ces résultats confirment que l'efficacité antibactérienne de l'huile essentielle de *M. pulegium* varie en fonction de la souche bactérienne. Globalement, les bactéries à Gram

positifse montrent plus sensibles que celles à Gram négatif, notamment *Pseudomonas aeruginosa*, qui se distingue par sa forte résistance (Figure 17).



Bacillus cereus



Staphylococcus aureus



Pseudomonas aeruginosa



Salmonella typhi



Escherichia coli



Bacillus subtilis

Figure 17. L'effet antimicrobien de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L.

4. La concentration minimale inhibitrice et bactéricide (CMI) et (CMB)

La détermination des paramètres antimicrobiens à savoir la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB) de l'huile essentielle *Mentha pulegium* L., a été réalisée sur les germes ayant montré une sensibilité lors du test d'aromatogramme. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11. Rapports CMB/CMI de l'HE de *Mentha pulegium* vis-à-vis des souches bactériennes testées.

Souches	CMI(μ l/ml)	CMB(μ l/ml)	CMB /CMI	Nature de l'activité
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.25	1.25	1	Bactéricide
<i>Escherichia coli</i>	0.62	0.62	1	Bactéricide
<i>Bacillus subtilis</i>	1.25	10	8	Bactériostatique
<i>Bacillus cereus</i>	1.25	10	8	Bactériostatique

Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* se situent entre 0,62 μ L/ml pour *Escherichia coli* et 1,25 μ L/ml pour *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus* (Figure18). Ces valeurs révèlent une capacité inhibitrice notable de l'huile, même à faibles concentrations, mettant en évidence son potentiel antimicrobien contre les souches pathogènes testées.

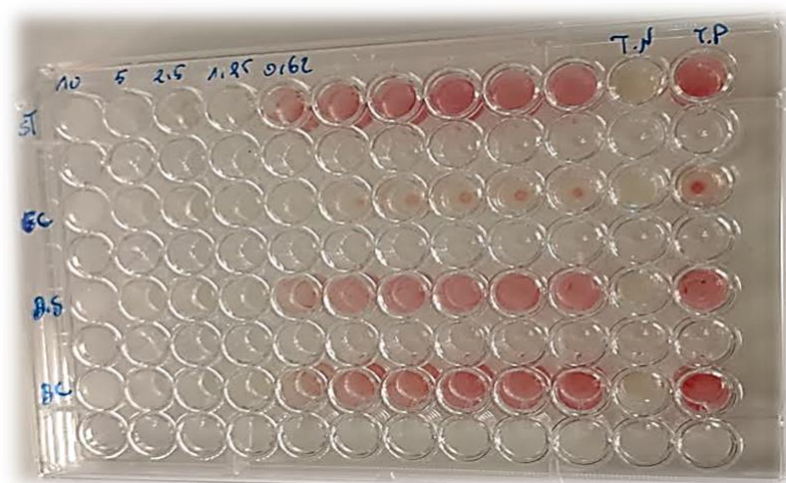
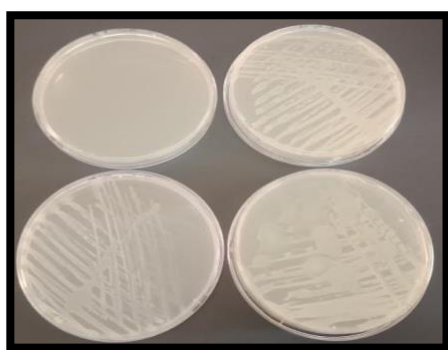


Figure 18. La CMI des souches bactériennes étudiées.

La concentration minimale bactéricide (CMB) de l'huile essentielle varie en fonction des souches étudiées. Elle est identique à la CMI pour *Staphylococcus aureus* (1,25 μ L/ml) et *Escherichia coli* (0,62 μ L/ml), ce qui indique une action bactéricide de l'huile contre ces deux souches. En revanche, pour *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus*, les CMB sont nettement plus élevées (10 μ L/ml), suggérant que l'huile essentielle exerce, dans ces cas, une activité principalement bactériostatique, c'est-à-dire inhibitrice sans effet létal complet (Figure19).

Le rapport CMB/CMI constitue un indicateur utile pour caractériser le mode d'action antimicrobien de l'huile essentielle. Un rapport égal à 1 (≤ 4) observé pour *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* confirme une activité bactéricide. Par contre, un rapport de 8, obtenu

pour *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus*, indique une activité bactériostatique. Ces résultats différents de ceux rapportés par Bouyahya *et al.* (2017), qui ont observé des valeurs identiques de CMI et de CMB pour *S. aureus* (CMI = CMB = 0,25 % v/v), *E. coli* (CMI = CMB = 1 % v/v) et *B. subtilis* (CMI = CMB = 1 % v/v), traduisant dans leur cas une activité bactéricide sur l'ensemble des souches testées.



Bacillus subtilis



Escherichia coli



Bacillus cereus



Staphylococcus aureus

Figure 19. La CMB des souches bactériennes étudiées

Conclusion

Conclusion

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*L., récoltée dans la région de Mostaganem, dans un contexte de valorisation des substances naturelles, en tant qu'agents potentiels pour l'amélioration de la qualité et de la sécurité des produits alimentaires.

L'étude menée a permis de démontrer un rendement d'extraction satisfaisant de 0,75 %, traduisant une bonne teneur en composés bioactifs. Le test antioxydant a révélé un fort pouvoir antioxydant, avec une valeur d'IC₅₀ de 22,17 µg/ml, soulignant l'efficacité de l'huile essentielle comme piègeur de radicaux libres.

Sur le plan antimicrobien, l'huile essentielle a montré une activité marquée contre les souches à Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* et *Bacillus cereus*, ainsi que contre *Escherichia coli*. La souche la plus sensible s'est révélée être *Bacillus subtilis*, avec un diamètre d'inhibition de 14.33±0.58mm. En revanche, *Pseudomonas aeruginosa* et *Salmonella typhi* se sont avérées résistantes, montrant peu ou pas de réponse à l'huile essentielle.

Ces résultats confirment l'intérêt de *Mentha pulegium* comme agent de conservation naturel, capable de limiter à la fois les phénomènes d'oxydation et la croissance microbienne dans les denrées alimentaires.

Dans un contexte de demande croissante pour des alternatives naturelles aux additifs chimiques, l'utilisation de *Mentha pulegium* apparaît comme une solution prometteuse pour renforcer la qualité et la sécurité microbiologique des aliments. Ce travail constitue ainsi une base pour des investigations plus approfondies, notamment en conditions réelles d'application, ainsi que sur l'évaluation de la toxicité potentielle de l'huile essentielle à différentes concentrations.

Compte tenu de son potentiel, cette huile essentielle offre de nombreuses perspectives pour des recherches complémentaires :

- ❖ Élaborer des formulations alimentaires innovantes intégrant l'huile essentielle de *Mentha pulegium*, telles que des films comestibles, des emballages actifs ou des additifs naturels.

- ❖ Explorer l'encapsulation de l'huile essentielle comme stratégie pour améliorer sa stabilité, contrôler sa libération dans les aliments et renforcer son efficacité antioxydante et antimicrobienne.
- ❖ Étudier sa stabilité au cours du stockage ainsi que lors des traitements technologiques (chauffage, congélation, etc.).
- ❖ Tester son application dans différentes matrices alimentaires, telles que les produits carnés, laitiers, ovoproduits, fruits et légumes.
- ❖ Réaliser des tests toxicologiques afin d'assurer la sécurité de son utilisation chez l'homme.
- ❖ Déterminer la dose optimale d'utilisation, garantissant une bonne conservation sans altérer les propriétés sensorielles des aliments.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques



- **Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., & Maachi, R. (2016).** Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: Chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 94, 197-205. doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.030
- **Abou, N., Fareh, K. (2017).** Activité antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de *Mentha pulegium* L. (Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.). p24
- **AFNOR. (2000).** Recueil de normes françaises – “Huiles essentielles” : monographies relatives aux huiles essentielles, Tome 2. Paris : AFNOR.
- **Afrokh, M., El Mehrach, K., Chatoui, K., Ait Bihi, M., Sadki, H., Zarrouk, A., ... & Tahrouch, S. (2024).** Critères de qualité, composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Mentha suaveolens* Ehrh. *Heliyon*, 10 (7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28125
- **Agour, A., Mssillou, I., Saghrouchni, H., Bari, A., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2020).** Chemical composition, antioxidant potential and antimicrobial properties of the essential oils of *Haplophyllum tuberculatum* (Forsskal) A. Juss from Morocco. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 4(12), 1108–1115.
- **Allali, A., Rezouki, S., Fadli, A., El Moussaoui, A., Bourhia, M., Salamatullah, A. M., Alzahrani, A., Alyahya, H. K. (2021).** Chemical characterization and antioxidant, antimicrobial, and insecticidal properties of essential oil from *Mentha pulegium* L. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, 1108133. https://doi.org/10.1155/2021/1108133
- **Al-Rajhi, A. M. H., Qanash, H., Almuhayawi, M. S., Al Jaouni, S. K., Bakri, M. M., Ganash, M., Salama, H. M., Selim, S., & Abdelghany, T. M. (2022).** Molecular Interaction Studies and Phytochemical Characterization of *Mentha pulegium* L. Constituents with Multiple Biological Utilities as Antioxidant, Antimicrobial, Anticancer and Anti-Hemolytic Agents. *Molecules*, 27(15), 4824. https://doi.org/10.3390/molecules27154824
- **Aziz, ZA, Ahmad, A., Setapar, SH, Karakucuk, A., Azim, MM, Lokhat, D., Rafatullah, M., Ganash, M., Kamal, MA, & Ashraf, GM (2018).** Huiles essentielles : techniques d'extraction, potentiel pharmaceutique et thérapeutique – Une revue. *Métabolisme actuel des médicaments*, 19 13, 1100-1110.

B

- **Bahaz, S. (2021).** Étude des activités biologiques d'une plante aromatique médicinale (Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, Algérie). p 49
- **Baitich, I., Henni, F. A., & Rabehi, R. (2019).** Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles du thym et de la lavande (Mémoire de Master en Infectiologie, Université Ibn Khaldoun–Tiaret, Algérie).
- **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils—A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106
- **Bechiri, S., & Tahar Mezedek, S. (2018).** Étude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* de la région d'El Kantara (wilaya de Biskra) et de *Mentha pulegium* de la forêt de Mesra (wilaya de Mostaganem) [Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem].
- **Bektašević, M., Politeo, O., & Carev, I. (2020).** Comparative study of chemical composition, cholinesterase inhibition and antioxidant potential of *Mentha pulegium* L. essential oil. *Chemistry & Biodiversity*, 18(4). https://doi.org/10.1002/cbdv.202000935.
- **Bektašević, M., Politeo, O., & Carev, I. (2021).** Étude comparative de la composition chimique, de l'inhibition du cholinestérase et du potentiel antioxydant de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. *Chimie et biodiversité*, 18.
- **Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O., & Messaoud, C. (2016).** Teneur phénolique totale et activité antioxydante de six espèces sauvages de *Mentha* (Lamiaceae) du nord-est de l'Algérie. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(9), 930–935. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.06.016.

Références bibliographiques

- **Benazzouz, A., & Hamdane, A. (2012).** *Étude et analyse des plantes médicinales algériennes : Mentha pulegium, Mentha arotundifolia et Mentha spicata L.* (Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).
 - **Bencheikh, D. (2017).** Hypoglycemic medicinal plants used in Setif region and their effects on experimentally-induced diabetes in rats (Thèse de doctorat, Université de Sétif, Algérie).
 - **Bencheikh, S. E. (2017).** Étude de l'activité des huiles essentielles de la plante *Teucrium polium*ssp. *Aurasianum labiatae* [Thèse de doctorat, Université KasdiMerbah - Ouargla]. Université KasdiMerbah– Ouargla, p. 8.
 - **Bouabdallah, S., & Cherrati, K. (2021).** *Extraction et étude comparative des huiles essentielles et des extraits de deux plantes aromatiques de la famille des Lamiacées* (Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem).
 - **Bouazza, F., Gherdaoui, D., Ben Miri, Y., Berka-Zougali, B., & Hassani, A. (2022).** Parametric and kinetic modeling, chemical composition, and comparative analyses of Algerian *Mentha pulegium* L. essential oil extracted from flowers and leaves by hydrodistillation. *Notulae Scientiae Biologicae*, 14(4), 11292. <https://doi.org/10.55779/nsb14411292>.
 - **Bouhaddouda, N. (2016).** *Activités antioxydante et antimicrobienne de deux plantes du sol local : Origanum vulgare et Mentha pulegium* (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba). P :30.
 - **Boukeria, S., Benbott, A., Kadi, K., Debbache, K., & Gueniche, A. (2019).** Étude phytochimique et évaluation de l'activité anticoagulante des composés phénoliques du *Curcuma longa* L. *Revue des BioRessources*, 9(2), 45–55.
 - **Boukhatem, M. N., Ferhat, A., & Kameli, A. (2019).** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : Revue de littérature. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1653-1659.
 - **Boukhebt, H., Chaker, AN, Belhadj, H., Sahli, F., Ramdhani, M., Laouer, H., & Harzallah, D. (2011).** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de *Mentha pulegium* L. et de *Mentha spicata* L.. *Der Pharmacia Lettre*, 3 (4), 267-275.
 - **Bounab, S. (2020).** Biodiversité végétale de la région du Hodna (M'sila) : étude phytochimique et activité biologique de quelques espèces médicinales [Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif 1]. Université Ferhat Abbas Sétif 1, p. 14.
 - **Boutabia, L., Telailia, S., Bouguetof, I., Guenadil, F., & Chefrour, A. (2016).** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. de la région de Hammamet (Tébessa-Algérie). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 85, 174-189.
 - **Bouyahya, A., Abrini, J., Bakri, Y., Dakka, N. (2016).** Les huiles essentielles comme agents anticancéreux : actualité sur le mode d'action. *Phytothérapie*. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1058-z>
 - **Bouyahya, A., Et-Touys, A., Bakri, Y., Talbau, A., Fella, H., Abrini, J., & Dakka, N. (2017).** Composition chimique des huiles essentielles de *Mentha pulegium* et de *Rosmarinus officinalis* et leurs activités anti-leishmaniales, antibactériennes et antioxydantes. *Microbial Pathogenesis*, 111, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.08.015>.
 - **Brahmi, F., Lounis, N., Mebarakou, S., Guendouze, N., Yalaoui-Guellal, D., Madani, K., Boulekbache-Makhlouf, L., & Duez, P. (2022).** *Impact of growth sites on the phenolic contents and antioxidant activities of three Algerian Mentha species (M. pulegium L., M. rotundifolia (L.) Huds., and M. spicata (L.).* *Frontiers in Pharmacology*, 13, 886337. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.886337>.
 - **Brahmi, F., Nguyen, A. T., Nacoulma, A. P., Sheridan, H., Wang, J., Guendouze, N., Madani, K., & Duez, P. (2020).** Discrimination of *Mentha* species grown in different geographical areas of Algeria using H-NMR-based metabolomics. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 186, 113430. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113430>.
- C
- **Caputo, L., Cornara, L., Raimondo, F. M., De Feo, V., Vanin, S., Denaro, M., Trombetta, D., & Smeriglio, A. (2021).** *Mentha pulegium* L. : une plante sous-estimée pour sa toxicité à valoriser dans la perspective de l'économie circulaire. *Molecules*, 26(8), 2154. <https://doi.org/10.3390/molecules26082154>.

Références bibliographiques

- **Chraïbi, M., Benbrahim, K.F., Ou-yahya, D., Balouiri, M., & Farah, A. (2016).** Effet anti-radicalaire et désinfectant de l'huile essentielle de menthe poivrée marocaine. *Revue internationale de pharmacie et des sciences pharmaceutiques*, 8, 116-119.
- **Chraïbi, M., FikriBenbrahim, K., Elmsellem, H., Farah, A., Abdel-Rahman, I., El Mahi, B., Filali Baba, Y., KandriRodi, Y., & Hlimi, F. (2017).** Antibacterial activity and corrosion inhibition of mild steel in 1.0 M hydrochloric acid solution by *M. piperita* and *M. pulegium* essential oils. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(3), 972–981.
- **Cornara, L., Sgrò, F., Raimondo, F. M., Ingegneri, M., Mastracci, L., D'Angelo, V., Germanò, M. P., Trombetta, D., & Smeriglio, A. (2023).** Les conditions pédoclimatiques influencent les caractéristiques morphologiques, phytochimiques et biologiques de *Mentha pulegium* L. *Plants*, 12(1), 24. <https://doi.org/10.3390/plants12010024>.

D

- **Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016).** Investigation of some biological activities: Essential oils' chemical characterization and a critical review. *Medicines*, 3(4), 25. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>.
- **Djendi, M. L., Benzaid, C., Bouguerra, K., & Djebien, M. (2023).** Évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de la lavande (*lavandula stoechas*). *Revue des Sciences et Technologies, Synthèse*, 29(1), 1–5.
- **Domingues, P. M., & Santos, L. (2019).** Essential oil of pennyroyal (*Mentha pulegium*): Composition and applications as alternatives to pesticides—New tendencies. *Industrial Crops and Products*, 139, 111534. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111534>.

E

- **El Amri, J., Elbadaoui, K., Zair, T., Bouharb, H., Chakir, S., & Alaoui, T. L. (2014).** Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucriumcapitatum* L. et de l'extrait de *Silene vulgaris* sur différentes souches testées. *Journal of Applied Biosciences*, 82, 7481–7492. <https://doi.org/10.4314/jab.v82i1.16>.
- **El-Ghorab, A. H. (2006).** The chemical composition of the *Mentha pulegium* L. essential oil from Egypt and its antioxidant activity. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 9(2), 183–195. <http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643491>.
- **El-Naggar, H.M., Osman, A.R(2024).** Enhancing growth and bioactive metabolites characteristics in *Menthapulegium* L. via siliconnanoparticles during *in vitro* drought stress. *BMC Plant Biol* 24, 657 <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05313-z>.

F

- **Farhat, A. (2010).** Microwaves team diffusion : Conception, optimisation and application. École Nationale d'Ingénieurs de Gabès.

G

- **Ghabraie, M., Vu, K. D., Tata, L., Salmieri, S., & Lacroix, M. (2016).** Antimicrobial effect of essential oils in combinations against five bacteria and their effect on sensorial quality of ground meat. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 332-339.
- **Goudjil, M. B.(2016).** *Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques* [Thèse de doctorat, Université de Ouargla]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11204.65926>

H

- **Hariri, A., Ouis, N., Bouhadi, D. et Benatouche, Z. (2020).** Activité antioxydante in vitro de l'huile essentielle de parties aériennes de *Mentha pulegium* L. *Acta agriculturaeSerbica*.
- **Hmiri, S., Rahouti, M., Habib, Z., Satrani, B., Ghanmi, M., & El Ajjouri, M. (2011).** Évaluation du potentiel antifongique des huiles essentielles de *Mentha pulegium* et d'*Eucalyptus camaldulensis* dans la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des pommes en conservation. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 80, 824–836. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10020254>

I

- **Irshad, M., Subhani, M. A., Ali, S., & Hussain, A. (2019).** **Biological Importance of Essential Oils.** In *Essential Oils - Oils of Nature*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87198>

K

Références bibliographiques

- **Kaloustian, J., Hadji-Minaglou, F. (2012).** La connaissance des huiles essentielles :qualitologie et aromathérapie ; Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée (p.06). Paris, France : Springer.

L

- **Lahrech, K. (2010).** Extraction et analyse des huiles essentielles de *Menthapulegium* et *Saccocalyxatureiode*, teste d'activités antibactériennes et antifongiques. Université d'Oran Es-Senia.2010. 88p.
- **Li, Y., Erhunmwunsee, F., Liu, M., Yang, K., Zheng, W., & Tian, J. (2022).** Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. *Food Chemistry*, 382, 132312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132312>
- **Lopez, P., Sanchez, C., Batlle, R., & Nerin, C. (2005).** Solid- and vapor-phase antimicrobial activities of six essential oils: susceptibility of selected foodborne bacterial and fungal strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6939–6946. <https://doi.org/10.1021/jf050709v>

M

- **Mahadagde, P. (2018).** Techniques disponibles pour l'extraction des huiles essentielles de plantes : une revue. *Revue internationale de recherche en sciences appliquées et en technologie de l'ingénierie*, 6, 2931-2935.
- **Mahadeva Rao, U. S., Abdurrazak, M., & Mohd, K. S. (2016).** Phytochemical screening, total flavonoid and phenolic content assays of various solvent extracts of tepal of *Musa paradisiaca*. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20(5), 1181-1190. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-25>.
- **Mahboubi, M., Haggi, G. (2008).** Activité antimicrobienne et composition chimique de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. *Journal of ethnopharmacology*, 119 2, 325-7.
- **Medjdoub, K., Benomari, FZ, Djabou, N., Dib, ME, Gaouar Benyelles, N., Costa, J. et Muselli, A. (2019).** Activités antifongiques et insecticides des huiles essentielles de quatre espèces de *Mentha*. *Journal Jundishapur des produits pharmaceutiques naturels*. <https://doi.org/10.5812/JJNPP.64165>.
- **Messaoudi, M., Rebiai, A., Sawicka, B., Atanassova, M., Ouakouak, H., Larkem, I., Egbuna, C., Awuchi, C. G., Boubekour, S., Ferhat, M. A., Begaa, S., Benchikha, N. (2022).** Effect of extraction methods on polyphenols, flavonoids, mineral elements, and biological activities of essential oil and extracts of *Mentha pulegium* L. *Molecules*, 27(1), 11. <https://doi.org/10.3390/molecules27010011>
- **Miguel, M. G. (2010).** Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: a short review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287. <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>
- **Mkaddem, MG et Boussaid, M. (2007).** Variabilité phénotypique des populations naturelles de *Menthapulegium* L.(Lamiaceae) en Tunisie. *Revue des régions arides*, p : 629-637.
- **Mnayer, D. (2014).** *Eco-extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens (Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse)*.
- **Mohammadi, F., Rahimi, K., Ahmadi, A., Hooshmandi, Z., Amini, S., & Mohammadi, A. (2024).** Anti-inflammatory effects of *Mentha pulegium* L. extract on human peripheral blood mononuclear cells are mediated by TLR-4 and NF-κB suppression. *Heliyon*, 10(1), e24040. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24040>
- **Montenegro, I., Said, B., Godoy, P., Besoain, X., Parra, C., Díaz, K., & Madrid, A. (2020).** Activité antifongique de l'huile essentielle et des principaux composants de *Mentha pulegium* poussant à l'état sauvage sur la côte centrale chilienne. *Agronomie*, 10 (2), 254.
- **Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., et Akbarzadeh, MJ (2011).** Composition chimique et activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 14, 208-213
- **Mouas, Y., Benrebiha, F. Z., & Chaouia, C. (2017).** Évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.). *Revue Agrobiologia*, 7(1), 363–370.

N

Références bibliographiques

- **Nadjib, BM (2019).** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielle : Revue de littérature. :Revue de littérature. *Revus Agrobiologia*, 1653-1659.
- **Nebié, B. (2023).** *Composition chimique et activités biologiques d'huiles essentielles obtenues par co-distillation de quelques plantes aromatiques du Burkina Faso* (Thèse de doctorat, Université Nazi Boni, Burkina Faso).
- **Nickavar, B., et Jabbareh, F. (2018).** Analyse de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* et identification de ses constituants antioxydants. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21, 223-229.

O

- **Omer, E., Aziz, E. E., Fouad, R., & Fouad, H. (2022).** Qualitative and quantitative properties of essential oil of *Mentha Pulegium* L. and *Mentha Suaveolens* Ehrh. affected by harvest date. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(7), 709-714. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.109391.5002>
- **Ouakouak, H., Chohra, M., & Denane, M. (2015).** Composition chimique et activités antioxydantes de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L, Sud-Est algérien. Dans *International Letters of Natural Sciences* (vol. 39, p. 49-55). AOA Academic Open Access Ltd. <https://doi.org/10.56431/p-9vs2p8>
- **Oualdi, I., Elfazazi, K., Azzouzi, H., Oussaid, A., & Touzani, R. (2023).** Chemical composition and antimicrobial properties of Moroccan *Mentha pulegium* L. essential oil. *Materials Today: Proceedings*, 72(7), 3768-3774. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.318>

P

- **Paolini, J. (2005).** Caractérisation des huiles essentielles par CPG/IR, CPG/SM-(IE et IC) et RMN du carbone-13 de *Cistus albidus* et de deux *Asteraceae* endémiques de Corse : *Eupatorium cannabinum subsp. corsicum* et *Doronicum corsicum* [Thèse de doctorat, Université de Corse Pascal Paoli].
- **Petit, F. (2012).** Cartographie de l'espace chimique d'une large collection d'huiles essentielles — Visualisation en réseau. *Phytothérapie*, 10, 44-54.

R

- **Rached, S., Habsaoui, A., Mzioud, K., Er-rajy, M., Abujaber, F., Imtara, H., Oubihi, A., Haida, S., El-guourrami, O., Noman, O. M., Ourras, S., Tarayrah, M., & Ebn Touhami, M. (2025).** Profilage chimique, évaluation de la sécurité, propriétés bioactives et interactions moléculaires de l'huile essentielle dérivée de *Mentha pulegium* L. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1511848>
- **Rahmani, Y. (2021).** Effet insecticide de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. à l'égard du bio agresseur *Tribolium confusum* des denrées stockées (Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, Algérie). Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- **Ramoul, L., Azzizi, S. (2022).** Extraction des métabolites bioactifs à partir de *Mentha pulegium* et *lavandula angustifolia* Mill et mise en évidence de leurs activités biologiques ; antioxydante et antibactérienne (Mémoire de Master, Université Frères Mentouri, Constantine 1, Algérie). Université Frères Mentouri, Constantine 1.
- **Rezoug, C., Cherief, K. (2022).** Effet insecticide de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. vis-à-vis du puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) [Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem].

S

- **Saba, I., & Anwar, F. (2018).** Effect of harvesting regions on physicochemical and biological attributes of supercritical fluid-extracted spearmint (*Mentha spicata* L.) leaves essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(2), 400-419.
- **Sadeghi Dousari, A., Hosseininasab, S. S., Akbarizadeh, M. R., Naderifar, M., & Satarzadeh, N. (2023).** *Mentha pulegium* as a source of green synthesis of nanoparticles with antibacterial, antifungal, anticancer, and antioxidant applications. *Scientia Horticulturae*, 320, 112215. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112215>
- **Sadek, S. (2021).** Contribution à l'étude de l'effet antimicrobien des huiles essentielles de *Mentha pulegium* et *Laurus nobilis* (Mémoire de Master, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Algérie).
- **Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., Antolak, H., Kręgiel, D., Sen, S., Sharifi-Rad, M., Acharya, K., Sharifi-Rad, R., Martorell, M., Sureda, A., Martins, N.,**

Références bibliographiques

- &Sharifi-Rad, J. (2018).**Plants of genus *Mentha*: From farm to food factory. *Plants*, 7(3), 70. <https://doi.org/10.3390/plants7030070>.
- **Sareriya, K. J., Vanzara, P. B., Upadhyay, D. A.Šarić-Kundalić, B., Fialová, S., Dobeš, C., Ōlzant, S., Tekeřová, D., Grančai, D., ... &Saukel, J. (2009).**Methodology for Extraction of Essential Oils: Multivariate numerical taxonomy of *Mentha* species, hybrids, varieties andcultivars. *ScientiaPharmaceutica*, 77(4), 851-876.<http://dx.doi.org/10.3797/scipharm.0905-1>
 - **Soilhi, Z., Sayari, N., Benalouache, N., &Mekki, MD (2022).** Prévission de la répartition actuelle et future de *Mentha pulegium*L. en Tunisie dans des conditions de changement climatique, à l'aide du modèle MaxEnt. *Informatique*, 68, 101533.
 - **Soković, M., Glamočlija, J., Marin, P. D., Brkić, D., & van Griensven, L. J. (2010).**Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model. *Molecules*, 15(11), 7532–7546.
 - **Sourestani, M. M., Mollaei, S., Ebadi, M., Hazrati, S., Habibi, B., &Gholami, F. (2020).** Essential oil variation and antioxidant capacity of *Mentha pulegium* populations and their relationship to ecological factors.*Biochemical Systematics and Ecology*, 93, 104084. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2020.104084>
 - **Stanković, M., Zlatić, N., Mašković, J., Mašković, P., &Jakovljević, D. (2022).***Teucrium scordium* L. and *Mentha pulegium* L. essential oil importance in adaptive response to salinity stress. *BiochemicalSystematics and Ecology*, 102, 104419. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2022.104419>
 - **Sutour, S. (2010).**Etude de la composition chimique d'huiles essentielles et d'extraits de menthe de Corse et de Kumquats(Doctoral dissertation, Université de Corse).
- T
- **Taamalli, A., Arráz-z-Román, D., Abaza, L., Iswaldi, I., Fernández-Gutiérrez, A., Zarrouk, M., & Segura-Carretero, A. (2015).** LC–MS-based metabolite profiling of methanolic extracts from the medicinal and aromatic species *Mentha pulegium* and *Origanummajorana*. *Phytochemical Analysis*, 26(5), 320–330. <https://doi.org/10.1002/pca.2566>
 - **Talbi, H., Boumaza, A., El-Mostafa, K., &Talbi, J. (2015).** Evaluation of antioxidant activity and physicochemical composition of methanolic and aqueous extracts of *Nigella sativa* L. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 6(4), 1111–1117.
 - **Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Batista, I., Serrano, C., Matos, O., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Saraiva, J. A., & Nunes, M. L. (2012).**European pennyroyal (*Mentha pulegium*) from Portugal: Chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.08.011>
 - **Touhami, A. (2017).**Étude chimique et microbiologique des composants des huiles essentielles de différents genres *Thymus* récoltées dans les régions de l'Est Algérien pendant les deux périodes de développement[Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba].
 - **Touré, D. (2015).** Études chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques médicinales de Côte d'Ivoire(Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire).
- V
- **Vitali, L. A., Beghelli, D., Nya, P. C. B., Bistoni, O., Cappellacci, L., Damiano, S., ... &Lupidi, G. (2016).**Diverse biological effects of essential oils: Mechanisms and applications. *Pharmaceutical Biology*, 54(4), 551–559.
- Y
- **Yousefian, S., Esmacili, F., et Lohrasebi, T. (2023).**Revue complète des principales caractéristiques du genre *Mentha*, composés naturels et approches biotechnologiques pour la production de métabolites secondaires. *Revue iranienne de biotechnologie*, 21 (4), e3605.
- Z
- **Zekri, N., Elazzouzi, H., Ailli, A., Gouruch, A. A., Radi, F. Z., El Belghiti, M. A., Zair, T., Nieto, G., Centeno, J. A., & Lorenzo, J. M. (2023).** Physicochemical characterization and antioxidant properties of essential oils of *M. pulegium* (L.), *M. suaveolens* (Ehrh.) and *M. spicata* (L.) from Moroccan Middle-Atlas. *Foods*, 12(4), 760. <https://doi.org/10.3390/foods12040760>.

Annexes

ANNEXE 1

Les milieux utilisés pour évaluer l'activité antibactérienne

Milieu	Composition
Gélose nutritive (GN)	<ul style="list-style-type: none"> -Extrait de viande : 1 g/L - Extrait de levure : 2,5 g/L - Peptone : 5 g/L - NaCl : 5 g/L - Agar : 15 g/L - pH = 7
Gélose Mueller-Hinton (MH)	<ul style="list-style-type: none"> -Infusion de bœuf : 300 ml - Peptone de caséine : 17,5 g - Amidon de maïs : 1,5 g - Agar : 17 g - pH = 7,4
Bouillon Mueller-Hinton (BMH)	<ul style="list-style-type: none"> -Extrait de viande : 2 g - Hydrolysate acide de caséine : 17,5 g - Amidon soluble : 1,5 g - pH = 7,3 ± 0,1



Figure1. pH-mètre de modèleSTRRTER



Figure 2. Spectrophotomètre de modèle UV-Visible Spectrophotomètre JENWAY 7205

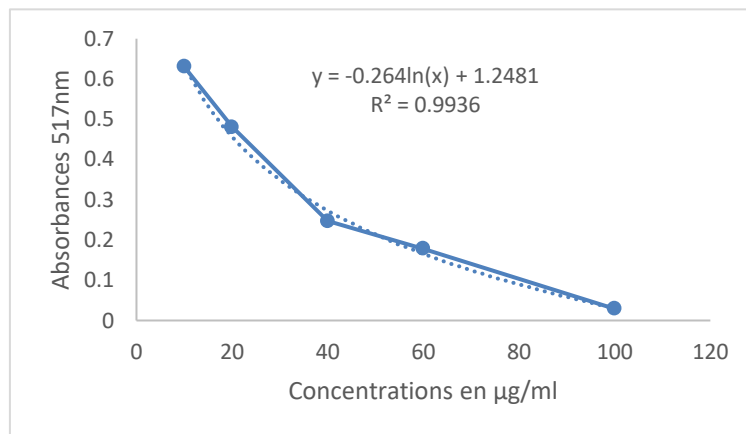


Figure 3. Courbe d'étalonnage de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

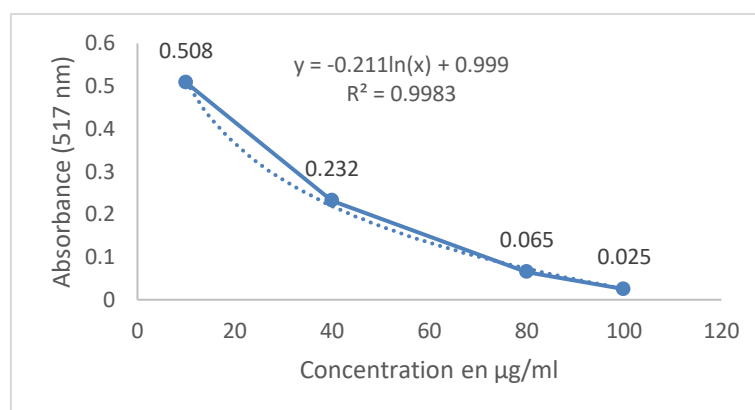


Figure 4. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique