



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



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

جامعة الإخوة مtentouri قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie et Physiologie Végétale

قسم : بيولوجيا و فيزيولوجيا النبات

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie.

Filière : Sciences Biologiques.

Spécialité : Biodiversité et Physiologie Végétale.

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

---

**Evaluation du potentiel antioxydant et antibactérien de l'huile  
essentielle de *Mentha spicata* L.**

---

Présenté par : BOUCHRITE Lina Malak.

Le : 24/06/2025

BOUSMID Sandra.

Jury d'évaluation :

Président : Dr. ZAGHAD Nadia (MCA - U Frères Mentouri Constantine 1).  
Encadrant : Dr. BOUDERSA Nabil (MAB - U Frères Mentouri Constantine 1).  
Examinateur(s) : Dr. MADI Aicha (MCA - U Frères Mentouri Constantine 1).

Année universitaire

2024 - 2025

## **Remerciement**

*Nous remercions avant tout Dieu Tout-Puissant, dont la grâce et la miséricorde nous ont accompagnées tout au long de ce travail, en nous accordant la force, la patience et la persévérance nécessaires à sa réalisation.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Dr .BOUDERSA Nabil** (Maître Assistant B, Université Frères Mentouri Constantine 1) pour avoir dirigé ce travail. Nous le remercions sincèrement pour son encadrement de qualité, ses conseils judicieux, sa disponibilité et son accompagnement constant, qui ont grandement contribué à l'aboutissement de cette recherche.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury :*

*Dr. ZAGHAD Nadia (Maître de Conférences A, Université Frères Mentouri Constantine 1),  
qui nous a fait l'honneur de présider le jury,  
et Dr . MADI Aicha (Maître de Conférences A, Université Frères Mentouri Constantine 1),  
pour avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à **Mme ZAHRAOUI Chafika**, ingénierie au laboratoire de biochimie, pour son aide précieuse et son soutien technique.*

*Nos sincères remerciements vont également à **Dr .CHORFIA Radia**, enseignante au département de biologie appliquée, pour son appui, sa disponibilité et ses conseils éclairés.*

*Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

# *Dédicaces*

Au Nom de Dieu le Clément et Miséricordieux

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long  
chemin,

Merci mes parents

Mes sœurs : Sirine et Sameh

Mes frères : Iskander et Sadjed

À toute ma famille,

A toutes mes amies adorables

A mon binôme Bouchrite Lina Malak qui a partagé avec moi les bons moments de ce travail.

À mes camarades de la promotion biologie et physiologie végétale, notamment Hadil, Ikram  
et Ryane, avec qui j'ai partagé de précieux souvenirs.

Enfin à tous ceux que j'aime et qui m'aiment .

*Bousmid Sandra*

## **Dédicaces**

Avec l'expression de ma profonde reconnaissance,  
Je dédie ce travail à mes chers parents, ma mère Hssina et mon père Abed El Wahab, pour  
leurs sacrifices, leur amour inconditionnel et leur soutien durant toute la période de mes  
études.

À mon frère Moatassim Billah, ainsi qu'à toute ma famille et mes amis pour leur présence  
réconfortante et leurs encouragements constants.

À mon binôme Bousmid Sandra, je te remercie sincèrement pour ton engagement, ta patience  
et tous les efforts fournis dans la réalisation de ce travail.

À mes camarades de la promotion biologie et physiologie végétale, notamment Hadil, Ikram  
et Ryanne, avec qui j'ai partagé de précieux souvenirs.

Et tout particulièrement à mon ami Amin, mon amie Ghada Benfalami, ainsi qu'aux filles de  
ma tante, Amira et Assil .

***Boucherite Lina Malak***

# **Sommaire**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction .....** ..... 1

## **Chapitre I : Revue bibliographique**

<b>1. La famille de lamiaceae .....</b>	3
1.1. Le genre <i>Mentha</i> .....	3
1.1.1. Origine et distribution géographique.....	3
1.1.2. Espèces cultivées .....	4
1.2. <i>Mentha spicata</i> L. ....	5
1.2.1. Description botanique .....	5
1.2.2. Classification .....	6
1.2.3. Ecologie et croissance.....	6
1.2.4. Utilisations et composition chimique .....	7
<b>2. Les huiles essentielles.....</b>	8
2.1. Définition.....	8
2.2. Biosynthèse des composés des HEs.....	9
2.3. Localisation des huiles essentielles dans la plante.....	11
2.4. Domaines d'utilisation des HEs.....	13
2.5. La production mondiale des HEs .....	14
2.6. La filière des huiles essentielles en Algérie : un potentiel sous-exploité.....	15
2.7. Composition chimique.....	16
2.8. Facteurs de variabilité .....	17
2.9. Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....	18
2.10. Activités biologiques des huiles essentielles .....	24
2.11. Toxicité des huiles essentielles .....	25
2.12. Conservation des huiles essentielles.....	25

<b>3. Huiles essentielles de <i>Mentha spicata</i> .....</b>	25
3.1. Composition chimique.....	26
3.2. Propriétés physiques.....	27
<b>4. Enquête ethnobotanique .....</b>	<b>27</b>
4.1. Définition et Historique d'enquête ethnobotanique .....	27
4.2. L'importance d'enquête ethnobotanique .....	28
4.3. Domaines de l'ethnobotanique.....	28
4.4. Objectifs d'une enquête ethnobotanique.....	28

## **Chapitre II : Matériel et méthodes**

<b>1. Enquête (recherche) ethnobotanique.....</b>	<b>29</b>
1.1. Échantillonnage.....	29
1.2. Fiche d'enquête.....	30
<b>2. Huile essentielle et activités biologiques.....</b>	<b>30</b>
2.1. Matériel végétal.....	30
2.1.1. Récolte et traitement du matériel végétal.....	30
2.1.2. Extraction de l'huile essentielle.....	31
2.1.3. Détermination du rendement.....	32
2.2. Caractères physicochimiques.....	32
2.2.1. Détermination de la densité.....	32
2.2.2. Détermination du Ph.....	32
2.3. Activités biologiques.....	33
2.3.1. Activité antioxydante.....	33
2.3.1.1. Test de DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl).....	33
2.3.1.2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power).....	34
2.3.2. Activité antibactérienne .....	34
<b>3. Traitement et analyse statistique .....</b>	<b>36</b>

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

<b>1. Enquête ethnobotanique.....</b>	<b>37</b>
1.1. Description de la population étudiée.....	37
1.2. description de la plante étudiée .....	38
1.2.1. Selon l'état de la plante .....	38
1.2.2. Selon la partie utilisée.....	39
1.2.3. Selon le mode de préparation .....	39
1.2.4. Selon le mode d'administration .....	39
1.2.5. Selon les maladies traitées.....	40
<b>2. Extraction d'HE.....</b>	<b>41</b>
2.1. Détermination de rendement .....	41
2.2. Caractères physicochimiques.....	42
2.2.1. Détermination de potentiel d'Hydrogène (pH) .....	42
2.2.2. Détermination de la densité .....	42
<b>3. Les activités biologiques .....</b>	<b>43</b>
3.1. Activités antioxydants .....	43
3.1.1. Test de DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl).....	43
3.1.2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power).....	46
3.2. Activité antibactérienne .....	49
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>53</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>55</b>
<b>Annexes</b>	

## Résumé

Ce travail s'inscrit dans une démarche de validation scientifique rigoureuse de l'huile essentielle (HE) extraite de la menthe verte (*Mentha spicata* L.), une plante aromatique et médicinale dont l'usage traditionnel en Algérie est profondément établi pour ses vertus thérapeutiques. Notre étude visait à positionner cette HE comme une alternative naturelle prometteuse aux agents antioxydants et antibactériens synthétiques. Les feuilles de *Mentha spicata* ont été récoltées dans la daïra de ZIGHOUD Youcef, Constantine, Algérie. L'objectif principal de cette étude a été d'extraire l'HE, de caractériser ses propriétés physico-chimiques, de déterminer son rendement d'extraction, et d'évaluer ses activités biologiques *in vitro*. Il est crucial de noter qu'en amont des analyses de laboratoire, une étude ethnobotanique a été menée, permettant de documenter les connaissances ancestrales et les applications médicinales traditionnelles de cette plante au sein des communautés locales, offrant ainsi un contexte empirique précieux pour la validation de ses propriétés. L'HE a été obtenue par hydrodistillation des feuilles fraîches, à l'aide d'un appareil de type Clevenger (un rendement de 0,06%). Les analyses physico-chimiques ont révélé des caractéristiques cohérentes avec une huile essentielle, notamment sa densité et son pH (densité de 0,333 g/cm<sup>3</sup> et pH d'environ 6). Concernant les activités biologiques, l'activité antioxydante de l'HE a été évaluée par les tests de piégeage du radical DPPH et du pouvoir antioxydant de réduction du fer (FRAP), montrant une efficacité notable (IC<sub>50</sub> = 367,20 ± 2,11 µg/mL pour le test DPPH et A<sub>0,5</sub> = 223,214 ± 0,622 µg/mL pour le test FRAP). Parallèlement, l'activité antibactérienne a été évaluée contre des souches Gram-positives (*Bacillus* sp. et *Staphylococcus aureus*), démontrant des zones d'inhibition significatives. Cependant, aucune activité inhibitrice n'a été observée contre la souche Gram-négative *Escherichia coli*, suggérant une sélectivité d'action spécifique. En conclusion, cette investigation confirme le potentiel de l'huile essentielle de *Mentha spicata* en tant qu'agent antioxydant quantifiable et révèle une activité antibactérienne sélective contre certaines souches Gram-positives, renforçant ainsi son intérêt comme ressource naturelle pour le développement de nouvelles stratégies en pharmacologie et en conservation des aliments.

Mots clé : *Mentha spicata*, Hydrodistillation, Huile essentiel, Antioxydante, Antibactéreinne.

## **Abstract**

This study is part of a rigorous scientific validation process of the essential oil (EO) extracted from spearmint (*Mentha spicata* L.), an aromatic and medicinal plant with a well-established traditional use in Algeria for its therapeutic properties. The aim of our research was to position this EO as a promising natural alternative to synthetic antioxidant and antibacterial agents. The *Mentha spicata* leaves were collected from the district of ZIGHOUD Youcef, Constantine, Algeria. The primary objective of this study was to extract the EO, characterize its physicochemical properties, determine its extraction yield, and evaluate its in vitro biological activities. Importantly, prior to laboratory analyses, an ethnobotanical study was conducted, documenting ancestral knowledge and traditional medicinal uses of this plant within local communities, thus providing valuable empirical context for the validation of its properties. The EO was obtained by hydrodistillation of fresh leaves using a Clevenger-type apparatus, with a yield of 0.06%. Physicochemical analyses revealed features consistent with essential oils, including its density and pH (density: 0.333 g/cm<sup>3</sup> and pH approximately 6). Regarding biological activities, the antioxidant potential of the EO was assessed using DPPH radical scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays, showing remarkable efficacy (IC<sub>50</sub> = 367,20 ± 2,11 µg/mL for the DPPH test and A<sub>0.5</sub> = 223,214 ± 0,622 µg/mL for the FRAP test). In parallel, antibacterial activity was evaluated against Gram-positive strains (*Bacillus* sp. and *Staphylococcus aureus*), showing significant zones of inhibition. However, no inhibitory activity was observed against the Gram-negative strain *Escherichia coli*, suggesting a specific selectivity of action. In conclusion, this investigation confirms the potential of *Mentha spicata* essential oil as a measurable antioxidant agent and highlights its selective antibacterial activity against certain Gram-positive strains, thereby reinforcing its relevance as a natural resource for the development of new strategies in pharmacology and food preservation.

Keywords: *Mentha spicata*, Hydrodistillation, Essential oil, Antioxidant, Antibacterial.

## ملخص

تدرج هذه الدراسة ضمن إطار منهج علمي للتحقق من فعالية الزيت المستخلص الاساسي من النعناع الأخضر (*Mentha spicata L.*)، وهي نبتة عطرية و طبية يستخدمها السكان تقليدياً في الجزائر بشكل واسع نظراً لخصائصها العلاجية . هدفت دراستنا إلى تثبيت هذا الزيت كبديل طبيعي واعد للمواد المضادة للأكسدة والبكتيريا ذات المصدر الصناعي. تم جمع أوراق *Mentha spicata* من دائرة زيءود يوسف، ولاية قسنطينة، الجزائر. الهدف الرئيسي للدراسة هو استخراج الزيت الاساسي ، وتصنيف خصائصه الفيزيوكيميائية ، وتحديد مردود الاستخلاص، وتقييم أنشطته البيولوجية في المختبر (in vitro) ومن المهم الإشارة إلى أنه تم إجراء دراسة مسح عرقى نباتي قبل التحاليل المخبرية ، حيث وثقت المعارف التقليدية والتطبيقات الطبية الشعبية لهذه النبتة ضمن المجتمعات المحلية، مما وفر أساساً تجريرياً هاماً لتأكيد فعاليتها. تم استخلاص الزيت الاساسي عن طريق التقطير بالبخار باستخدام جهاز من نوع كليفنجر (Clevenger) ، (مع تسجيل مردود استخلاص قدره 0,06 %). كشفت التحاليل الفيزيوكيميائية ما هو متعارف عليه بالنسبة لزيوت الأساسية ، مثل (كثافة : 0,333 غرام/سم<sup>3</sup>، درجة حموضة تقارب 6) فيما يخص الأنشطة البيولوجية، فقد تم تقييم الفعالية المضادة للأكسدة باستخدام اختبار تثبيط نشاط الجذور الحرة DPPH و اختبار القدرة المختزلة للحديد FRAP ، اين تم الحصول على نتائج معتبرة (IC50 = 367,20 ± 2,11 ميكروغرام/مل لاختبار FRAP) كما تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا ضد سلالات موجبة الغرام (*Bacillus sp.Staphylococcus aureus*) ، حيث أظهرت مناطق تثبيط معتبرة. في المقابل، لم تُسجل أي فعالية مثبطة ضد السلالة سالبة الغرام *Escherichia coli* ، مما يشير إلى وجود انتقائية معينة في التأثير.في الختام، تؤكد هذه الدراسة الإمكانيات التي يتمتع بها زيت النعناع الأخضر كعامل مضاد للأكسدة قابل للقياس، وتكشف عن نشاط مضاد للبكتيريا بشكل انتقائي ضد بعض السلالات ، مما يعزز من قيمته كمورد طبيعي واعد لتطوير استراتيجيات جديدة في مجال الصيدلة وحفظ الأغذية.

الكلمات المفتاحية : *Mentha spicata* ، التقطير بالبخار ، الزيت الاساسي، مضاد أكسدة، مضاد بكتيريا .

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 01.</b>	Classification botanique d'espèce <i>M. spicata</i> L. ....	6
<b>Tableau 02.</b>	Exemple d'utilisation de la menthe verte dans la médecine traditionnelle .....	7
<b>Tableau 03.</b>	Huiles essentielles les plus produites, valeur en millions de € et principaux pays producteurs en 2019 .....	15
<b>Tableau 04.</b>	Propriétés biologique des familles chimiques des Huiles essentielles.....	25
<b>Tableau 05.</b>	Composition chimique de H-E de <i>M. spicata</i> .....	26
<b>Tableau 06.</b>	Variation de la composition chimique de H-E de <i>Mentha spicata</i> .....	27
<b>Tableau 07.</b>	DPPH IC50 d'HE et AA.....	45
<b>Tableau 08.</b>	Comparaison des Moyennes d'IC50 par t-test Indépendant.....	46
<b>Tableau 09.</b>	Comparaison des Moyennes d'A0.5 par t-test Indépendant.....	48
<b>Tableau 10.</b>	Diamètres des zones d'inhibition (en mm) .....	49

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b>	Répartition géographique de <i>Mentha spicata</i> L. dans le monde.....	4
<b>Figure 02.</b>	Origine génétique des hybrides les plus cultivés.....	5
<b>Figure 03.</b>	Les Différentes organes de la plante <i>Mentha spicata</i> L. ....	6
<b>Figure 04.</b>	Biosynthèse des terpénoïdes par les voies du méthylérythritol phosphate et de l'acide mévalonique .....	10
<b>Figure 05.</b>	Voie de biosynthèse des principaux phénylproanoïdes présents dans les HEs PAL : Phénylalanine ammonia-lyase ; TAL : Tyrosine ammonia-lyase.....	11
<b>Figure 06.</b>	Structure des trichomes sécréteurs chez la menthe .....	12
<b>Figure 07.</b>	Répartition du marché des HEs en valeur en 2015 selon le secteur.....	14
<b>Figure 08.</b>	Quelques exemples d'HE couramment utilisées, en indiquant leur composant principal et leur structure chimique .....	16
<b>Figure 09.</b>	Schéma de la transformation de la pipérine en isochavicine sous l'action des UV...	17
<b>Figure 10.</b>	Schéma du dispositif d'extraction HE par hydrodistillation avec un Clevenger.....	18
<b>Figure 11.</b>	Schéma descriptif de l'entraînement à la vapeur d'eau.....	19
<b>Figure 12.</b>	Schéma représentatif de l'appareil de Soxhlet (extraction par solvant).....	21
<b>Figure 13.</b>	Schéma du montage de l'extraction par la pression à froid.....	21
<b>Figure 14.</b>	Schéma du montage de l'extraction par CO <sub>2</sub> supercritique.....	22
<b>Figure 15.</b>	Schéma de montage d'extraction par ultrasons couplée à un appareil de type Clevenger .....	23
<b>Figure 16.</b>	Schéma représentatif d'un appareil d'hydrodistillation assistée par micro-ondes....	24
<b>Figure 17.</b>	Le matériel végétal.....	31
<b>Figure 18.</b>	Montage de type Clevenger utilisé pour l'extraction.....	32
<b>Figure 19.</b>	Les proportions de population selon le sexe, l'âge, niveau académique et le milieu de vie.....	37
<b>Figure 20.</b>	Les proportions de population selon l'état de la plante, la partie utilisée, mode de préparation, mode d'administration et les maladies traitées.....	38
<b>Figure 21.</b>	Le rendement d'extraction.....	41
<b>Figure 22.</b>	Détermination du pH.....	42
<b>Figure 23.</b>	Pourcentages d'inhibition du radicale DPPH d'HE de <i>M. spicata</i> et d'AA.....	44
<b>Figure 24.</b>	Réduction du fer par HE de <i>M. spicata</i> et l'AA.....	47

<b>Figure 25.</b>	Activité antibactérienne de L'HE de <i>M. spicata</i> évaluée par les zones d'inhibition moyennes sur deux souches bactérienne.....	51
<b>Figure 26.</b>	Les diamètres des ZIs de différentes bactéries et DMSO et ATB(Augmentin).....	52

## ***Liste des abréviations***

<b><i>M. spicata</i></b>	: <i>Mentha spicata</i> L.
<b>HE</b>	: Huile essentiel
<b>AA</b>	: Acide ascorbique
<b>DPPH</b>	: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil
<b>FRAP</b>	: Ferrique reducing antioxydant power
<b>DMSO</b>	:Dimethyl sulfoxide
<b>pH</b>	: Potentiel d'Hydrogène
<b>IC 50</b>	: Concentration inhibitrice à 50%
<b>ZI</b>	: Zone d'inhibition
<b><i>M. piperita</i></b>	: <i>Mentha piperita</i>
<b><i>M. longifolia</i></b>	: <i>Mentha longifolia</i>
<b><i>E.coli</i></b>	: <i>Escherichia coli</i>
<b><i>B.sp</i></b>	: <i>Bacillus sp</i>
<b><i>S.aureus</i></b>	: <i>Staphylococcus aureus</i>
<b>ATB</b>	: Antibiotique



## *Introduction*

L'intérêt croissant pour la phytothérapie, approche thérapeutique ancestrale reposant sur l'utilisation des plantes médicinales pour traiter diverses affections, s'inscrit dans une quête de solutions de santé naturelles et potentiellement mieux tolérées (Létard *et al.*, 2015). Cette pratique englobe l'exploitation des différentes parties des plantes – feuilles, fleurs, racines ou plante entière – sous diverses formes galéniques telles que les tisanes, les gélules, les extraits liquides ou les teintures, offrant ainsi une flexibilité d'utilisation adaptée aux besoins individuels.

Parmi les extraits végétaux concentrés issus de cette richesse naturelle, les huiles essentielles se distinguent par leur spectre d'activités antimicrobiennes significatif, leur conférant un intérêt thérapeutique considérable dans la lutte contre les infections affectant les humains, les animaux et les végétaux (Organisation Mondiale de la Santé [OMS], 2015). Cette efficacité biologique est principalement attribuée à leur forte concentration en composés bioactifs volatils, notamment les terpènes (Fleischhauer *et al.*, 2019).

Au sein du vaste répertoire des plantes médicinales, la menthe verte (*Mentha spicata* L.) occupe une place prépondérante. Sa composition phytochimique complexe révèle une richesse en divers composés bioactifs, incluant des composés phénoliques tels que l'acide rosmarinique, l'acide vanillique, les dérivés de l'acide caféïque et l'acide chlorogénique (Duez *et al.*, 2017), ainsi qu'une variété de flavonoïdes tels que la thémonine, les diosmémentines, l'acacétine et la rutine (Makhlofi et Makhlof, 2018). Cette synergie de composés confère à *Mentha spicata* des propriétés biologiques remarquables, notamment antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Silva *et al.*, 2023 ; Mahendran *et al.*, 2021).

Face à la problématique grandissante de la résistance microbienne aux traitements conventionnels et à la demande croissante de solutions alternatives d'origine naturelle (Ekhtelat *et al.*, 2019), il devient impératif de valider rigoureusement l'efficacité thérapeutique de l'huile essentielle de *Mentha spicata* par des études scientifiques fiables. Dans ce contexte, la recherche actuelle s'oriente activement vers l'identification de composés naturels susceptibles de présenter une efficacité supérieure aux molécules synthétiques tout en minimisant les effets secondaires. Des travaux récents, à l'instar de ceux d'Ali-Shtayeh *et al.* (2019), mettent en lumière le potentiel prometteur de l'huile essentielle de *Mentha spicata* et de ses constituants en tant que nouvelles alternatives thérapeutiques, fort de leurs activités biologiques et de leur profil de sécurité potentiellement avantageux.

Dans ce contexte, notre travail se concentre sur l'étude de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, en mettant l'accent sur ses activités antioxydante et antibactérienne. Afin d'atteindre cet objectif, la présente étude est structurée en trois chapitres principaux. Le premier chapitre est dédié à la description botanique de l'espèce étudiée et aux généralités concernant les huiles essentielles, incluant une présentation des méthodes d'extraction des composés phytochimiques. Le deuxième chapitre expose le matériel biologique utilisé ainsi que les techniques mises en œuvre pour la réalisation des objectifs de l'étude. Quant au troisième chapitre, il présente les résultats des analyses physicochimiques de l'huile essentielle, de son activité antioxydante (évaluée par les tests DPPH et FRAP) et de son activité antibactérienne contre différentes souches bactériennes, accompagnés de leur interprétation et discussion. Enfin, une conclusion générale synthétise l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude et ouvre des perspectives de recherche dans ce domaine.



*Revue bibliographique*

## **1. La famille des lamiacées**

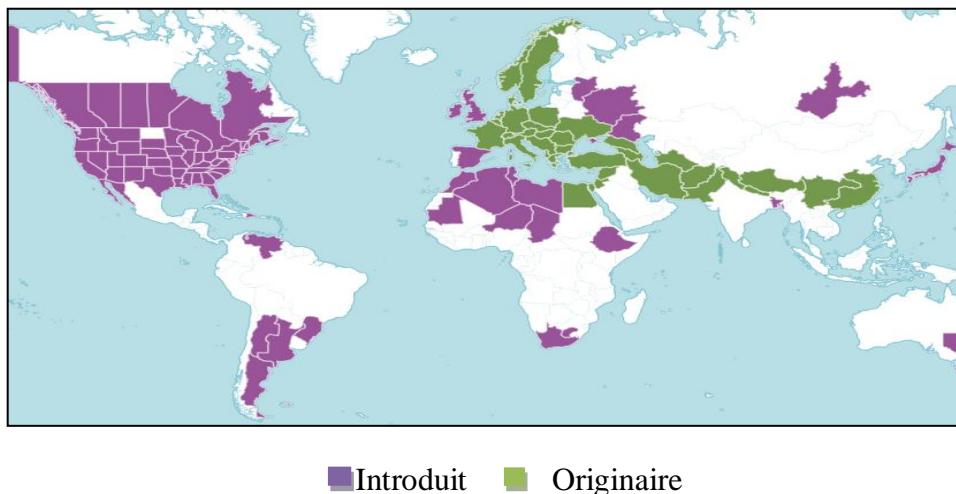
La famille des Lamiacées, riche de plus de 200 genres et environ 6 000 espèces, présente une distribution cosmopolite. La plupart de ses membres sont des plantes herbacées ou des sous-arbrisseaux, caractérisés par leurs fleurs bilabiées, leurs tiges quadrangulaires et leurs feuilles opposées. Une particularité notable de cette famille réside dans la présence de poils glanduleux contenant des huiles essentielles odorantes, dont la composition varie selon les espèces. Ces huiles essentielles sont à la base de la cueillette et de la culture de ces plantes, en raison de leurs propriétés aromatiques et de leurs puissantes vertus antibiotiques et antiseptiques. Parmi les genres les plus connus, on trouve la lavande, la menthe, la sauge, le thym, la scutellaire, le basilic et le patchouli. La liste est longue, et leurs usages sont variés, allant des traditions populaires à la pharmacopée officielle (Erceau et Pasquier, 2016).

### **1.1. Le genre *Mentha***

Le genre *Mentha* compte environ 25 espèces réparties dans cinq sections, *Audibertia*, *Eriodontes*, *Pulegium*, *Preslia* et *Mentha*. La section *Mentha* regroupe les espèces les plus communes : *M. suaveolens*, *M. longifolia*, *M. aquatica* et *M. arvensis*. Ces espèces sauvages se différencient par l'architecture de leur inflorescence, la pilosité de leur corolle et du limbe ainsi que le caractère sessile ou pétiolé des feuilles. Leur identification est en réalité beaucoup plus difficile car les menthes ont une grande facilité à s'hybrider, conduisant à des descendants aux morphologies diverses. Les hybrides dans la nature sont souvent stériles, ce qui limite leur propagation mais, chez les menthes, deux mécanismes biologiques favorisent la propagation : la polyplioïdie et la multiplication végétative. La polyplioïdie est un mécanisme qui conduit à un doublement chromosomique qui restaure la fertilité des hybrides. La multiplication végétative par d'abondants rhizomes favorise le processus de dispersion. La détermination systématique devient encore plus complexe lorsque des hybrides fertiles se recroisent avec des espèces parentales ! Les espèces cultivées sont pourtant le plus souvent des hybrides (Moja et Jullien, 2014).

#### **1.1.1. Origine et distribution géographique**

Les origines de la menthe sont encore bien imprécises, la zone géographique de départ étant un des rares faits où les auteurs se retrouvent : elle viendrait d'une vaste région englobant le Nord de l'Afrique, le bassin méditerranéen, l'Europe et le Proche-Orient. Elle fut introduite en Grande-Bretagne par les Romains. Elle s'est ensuite diffusée sur l'ensemble du globe,



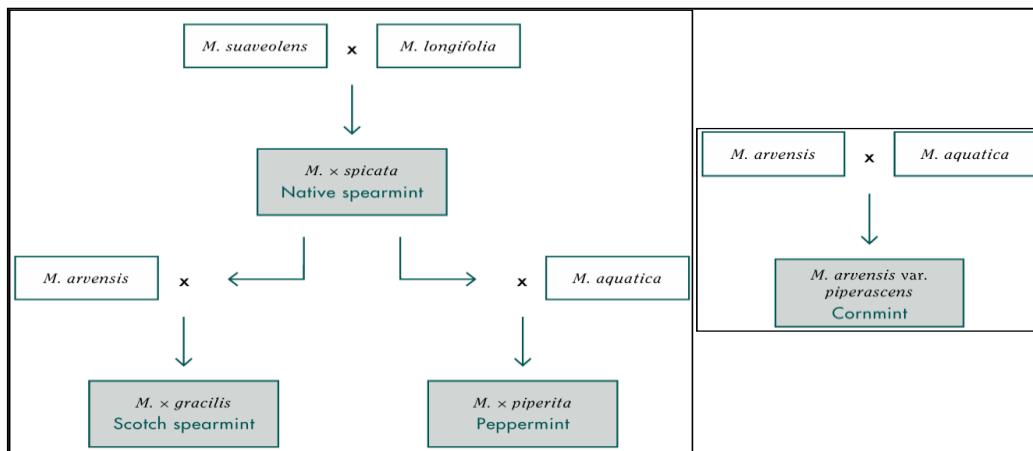
**Figure 01.** Répartition géographique de *Mentha spicata* L. dans le monde.  
(Royal Botanic Gardens, Kew, s. d.) .

jusqu'en Amérique du Nord, au Japon et en Australie. Elle pousse naturellement au nord de l'Afrique (Carlier-Loy, 2015).

### 1.1.2. Espèces cultivées

D'après Erceau et Pasquier (2016), les espèces et hybrides de menthe principalement cultivés pour leur intérêt économique sont les suivants :

- *Mentha aquatica* (Menthe aquatique)
- *Mentha canadensis* (Corn Mint, var. *piperascens* cultivée au Japon)
- *Mentha spicata* (*Mentha viridis*) (Menthe verte, Spearmint des Anglais)
- *Mentha pulegium* (Menthe pouliot ou menthe aux puces, Pennyroyal)
- *Mentha suaveolens* (Menthe Pomme, récemment cultivée)
- *Mentha x piperita* (*Mentha aquatica* x *Mentha spicata*) (Menthe poivrée)
- *Mentha x gracilis* (*Mentha arvensis* x *Mentha spicata*) (Ginger Mint)
- *Mentha x piperita* ssp *citrata* (Menthe Bergamote)
- *Mentha x villosonervata* (*Mentha longifolia* x *Mentha spicata*).



**Figure 02.** Origine génétique des hybrides les plus cultivés.  
(Moja, S et Jullien, 2014).

## 1.2. *Mentha spicata* L.

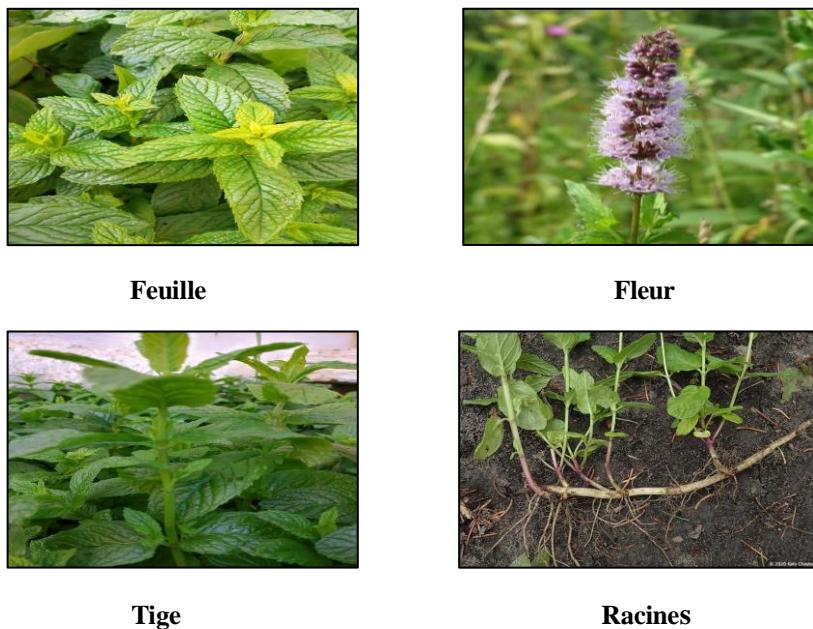
*Mentha spicata* L. (famille des Lamiacées), communément appelée menthe verte ou menthe douce, est une plante herbacée vivace cultivée et présente à l'état sauvage dans le monde entier. Elle est appréciée pour son arôme caractéristique et sa valeur commerciale. Outre son utilisation traditionnelle comme aromatisant alimentaire, *M. spicata* est reconnue pour ses usages médicinaux traditionnels, notamment dans le traitement du rhume, de la toux, de l'asthme, de la fièvre, de l'obésité, de la jaunisse et des troubles digestifs (Mahendran *et al.*, 2021).

### 1.2.1. Description botanique

*M. spicata* L., communément appelée menthe verte, est une plante herbacée vivace, glabre et rhizomateuse, caractérisée par une forte odeur aromatique. Elle peut atteindre une hauteur de 30 à 100 cm et présente des tiges et un feuillage variablement glabres ou pubescents, ainsi qu'un rhizome souterrain charnu et étendu (Kunwar *et al.*, 2017).

Les feuilles, de forme ovale à lancéolée, mesurent entre 5 et 9 cm de long et 1,5 à 3 cm de large, avec une marge dentée. La menthe verte produit des fleurs groupées en épis minces, chaque fleur étant de couleur rose ou blanche, et mesurant de 2,5 à 3 mm de long et de large. La tige, de section carrée, est une caractéristique distinctive de la famille des Lamiacées, à laquelle appartiennent les menthes (Bayani *et al.*, 2017).

*M. spicata* L. s'adapte bien aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales. Elle peut être cultivée dans une large gamme de sols et est fréquemment rencontrée dans les jardins (Kassahun *et al.*, 2014).



**Figure 03.** Les Différentes organes de la plante *Mentha spicata* L.

### 1.2.2. Classification

*M. spicata* L., appartenant à la famille des Lamiaceae, est classée deux systèmes taxonomique : celui de Cronquist (1981), fondé sur des critères morpho-anatomiques, et celui de l'APG (2009), basé sur des relations phylogénétiques moléculaires, comme indiqué dans tableau suivant :

**Tableau 01.** Classification botanique d'espèce *M. spicata* L.

Classification de Cronquist (1981)		Classification Phylogénétique APG III (2009)	
Règne	Plantae	Règne	Archéoplastides
Sous-règne	Viridiplantae	Clade	Angiospermes
Division	Magnoliophyta	Clade	Dicotylédones vraies
Classe	Magnoliopsida	Clade	Noyau des Dicotylédones vraies
Sous-classe	Astéridées	Clade	Astéridées
Ordre	Lamiales	Clade	Lamiidées
Famille	Lamiacées	Ordre	Lamiales
Genre	<i>Mentha</i>	Famille	Lamiacées
Espèce	<i>spicata</i>	Sous-famille	Népetoïdées
		Genre	<i>Mentha</i>
		Espèce	<i>spicata</i>

### 1.2.3. Ecologie et croissance

La *M. spicata* L. est une plante cultivée dans les régions tempérées, privilégiant les terrains humides et ombragés. Bien qu'elle tolère le froid, sa croissance optimale s'observe dans des

conditions de chaleur modérée. Sa remarquable adaptabilité lui permet de fleurir de l'Écosse jusqu'au Sahara. La croissance végétative de la menthe est significativement ralentie durant les périodes froides, lorsque la photopériode est inférieure à 10 heures et que les températures descendent en dessous de 10°C (et jusqu'à 25°C). La sensibilité de la menthe aux températures est accentuée par sa nature vivace, lui permettant de persister pendant plus de 10 ans. Des observations en milieu naturel ont révélé que des températures maximales avoisinant les 30°C favorisent une croissance optimale, à condition d'assurer une fertilisation azotée et une irrigation adéquates (Carlier-Loy, 2015).

#### **1.2.4. Utilisations et composition chimique**

*M. spicata* L'est une plante aromatique et médicinale reconnue depuis l'Antiquité. Elle est traditionnellement utilisée pour soulager divers troubles, notamment le rhume, la toux, la sinusite, la fièvre, la bronchite, les nausées, les vomissements, l'indigestion, les coliques intestinales et la perte d'appétit. De plus, la menthe est largement employée en cuisine pour aromatiser le thé, les confiseries, les chocolats et autres préparations (Rhazi *et al.*, 2012 ; Mahboubi, 2021).

L'industrie agroalimentaire utilise également la menthe verte à grande échelle dans la production de sucreries, confiseries et boissons telles que les sirops. Elle entre également dans la composition de produits d'hygiène buccale comme les dentifrices et les bains de bouche. On la retrouve aussi dans de nombreux produits cosmétiques, tels que les rouges à lèvres, les crèmes, les shampoings, les lotions, les mousses à raser et les savons. (kee *et al.*, 2017).

**Tableau 02.** Exemple d'utilisation de la menthe verte dans la médecine traditionnelle (El Meniyiy *et al.*, 2022).

La Partie utilisée	Forme posologique	Usage traditionnel
Feuille	Décoction	diabète
Feuille	Décoction	Contre les troubles gastriques
Feuille, tige	Infusion	Maux de tête, Fatigue
Feuille, tige	Infusion et Décoction	Diabète
Feuille, fleur	Infusion et Décoction	Asthme, bronchite douleurs thoraciques, troubles pulmonaires, problèmes rénaux, diurétique
Feuille	Infusion	Rhume et grippe, mal de dents
Parties aériennes	Infusion	Affections de la gorge
Feuille	Poudre	Maladies de la peau
Plante entière	Infusion	Aphrodisiaque, rhume, flatulence, maux de tête, tonique, mal de dents.
Feuille, tige	Décoction	Contre les affections intestinales

Ces propriétés culinaires et médicinales sont attribuées à sa richesse en divers composés, notamment les flavonoïdes, les alcaloïdes, les terpénoïdes, les glycosides terpénoïdes (spicatoside A et spicatoside B), les stérols, les stéroïdes, les coumarines, le caryophyllène, les tanins et les composés phénoliques (eugénol, acide caféïque, acide rosmarinique, α-tocophérol), la carvone, le linalol, l'oxyde de pipéritone, la carvone-dihydrocarvone et menthone (Eddaya , 2015).

De nombreux composés sont des constituants d'huiles essentielles, utilisées dans divers domaines d'importance économique, tels que la médecine, l'industrie, la pharmacie et la protection des plantes en tant que biopesticides (Znini *et al.*, 2011 ; Kapp *et al.*, 2020).

## 2. Les huiles essentielles

Les propriétés thérapeutiques des huiles essentielles (HE) extraites de plantes aromatiques sont reconnues depuis l'Antiquité. Malgré l'ancienneté de ces connaissances et les avancées considérables des biotechnologies végétales, l'étude de ces substances volatiles et odorantes demeure d'une pertinence scientifique majeure (Nebie, 2023). De nombreuses recherches ont mis en évidence la complexité chimique des HEs, révélant une diversité moléculaire pouvant atteindre une centaine de composés. Cette richesse moléculaire leur confère une polyvalence d'activités biologiques. Ainsi, les HEs, pures ou en mélanges, sont de plus en plus intégrées dans des formulations industrielles, offrant une alternative prometteuse aux produits

chimiques de synthèse, dont les risques toxicologiques pour l'homme et l'environnement sont de plus en plus préoccupants (Gholoum, 2013).

## **2.1. Définition**

Le terme « huile essentielle » est défini comme suit : Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'HE est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition (Bruneton, 2016).

D'après Bouyahya *et al.*, 2018, les HEs sont des molécules naturelles et odorantes créées par les plantes aromatiques. Les huiles essentielles ont des propriétés antimicrobiennes, antioxydants, anti-inflammatoires et anticancéreuses.

## **2.2. Biosynthèse des composés des HEs**

Les HEs sont des mélanges complexes de métabolites secondaires, principalement des terpénoïdes, ainsi que des composés phénoliques, notamment des phénylpropanoïdes

### **○ Biosynthèse des terpénoïdes**

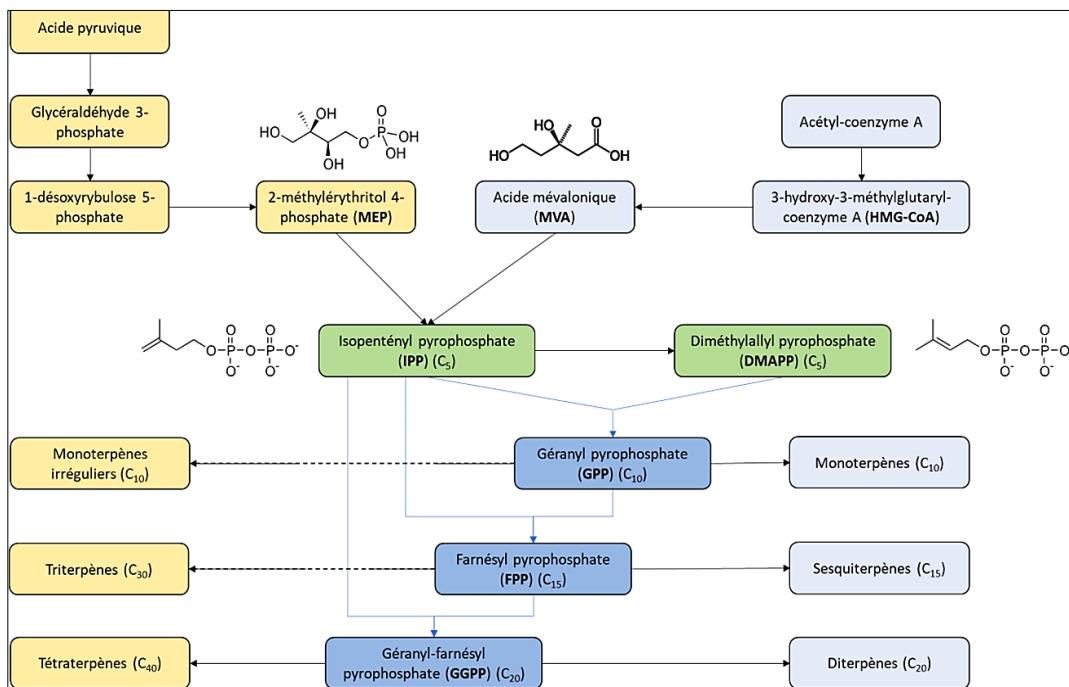
La biosynthèse des terpénoïdes, constituants majeurs des HEs , repose sur deux précurseurs isopréniques : l'isopentényl pyrophosphate (IPP) et son isomère, le diméthylallyl pyrophosphate (DMAPP). Ces unités à cinq carbones sont produites via deux voies métaboliques distinctes (Hemmerlin *et al.*, 2012) :

- La voie de l'acide mévalonique (MVA), localisée dans le cytosol et présente chez les eucaryotes et la plupart des bactéries.
- La voie du méthylérythritol 4-phosphate (MEP), spécifique aux végétaux et se déroulant dans les plastes.

La voie MVA, cytoplasmique, débute avec l'acétyl-coenzyme A, un produit de la glycolyse. Une série de réactions enzymatiques conduit à la formation de l'acide mévalonique, puis aux précurseurs isopréniques IPP et DMAPP. Ces derniers se condensent ensuite pour générer les précurseurs des mono-, di- et sesquiterpènes (Figure 04).

La voie MEP, plastidiale, spécifique aux plantes, aboutit à la production du méthylérythritol 4-phosphate (MEP), un intermédiaire en C5 (Figure 04). Une cascade de catalyses

enzymatiques successives mène à la synthèse des isomères IPP et DMAPP. Ces précurseurs sont ensuite utilisés pour la biosynthèse des mono- et tétraterpènes, notamment le géranyl pyrophosphate et le géranyl-farnésyl pyrophosphate, respectivement(Hemmerlin *et al.*, 2012) .



**Figure 04.** Biosynthèse des terpénoïdes par les voies du méthylérythritol phosphate (en jaune, à gauche) et de l'acide mévalonique (en bleu clair, à droite) (adapté de Hemmerlin *et al.*, 2012).

Par ailleurs, la classification des terpénoïdes est basée sur la longueur de la chaîne carbonée et en particulier sur le nombre d'unités isopréniques incorporées dans la chaîne.

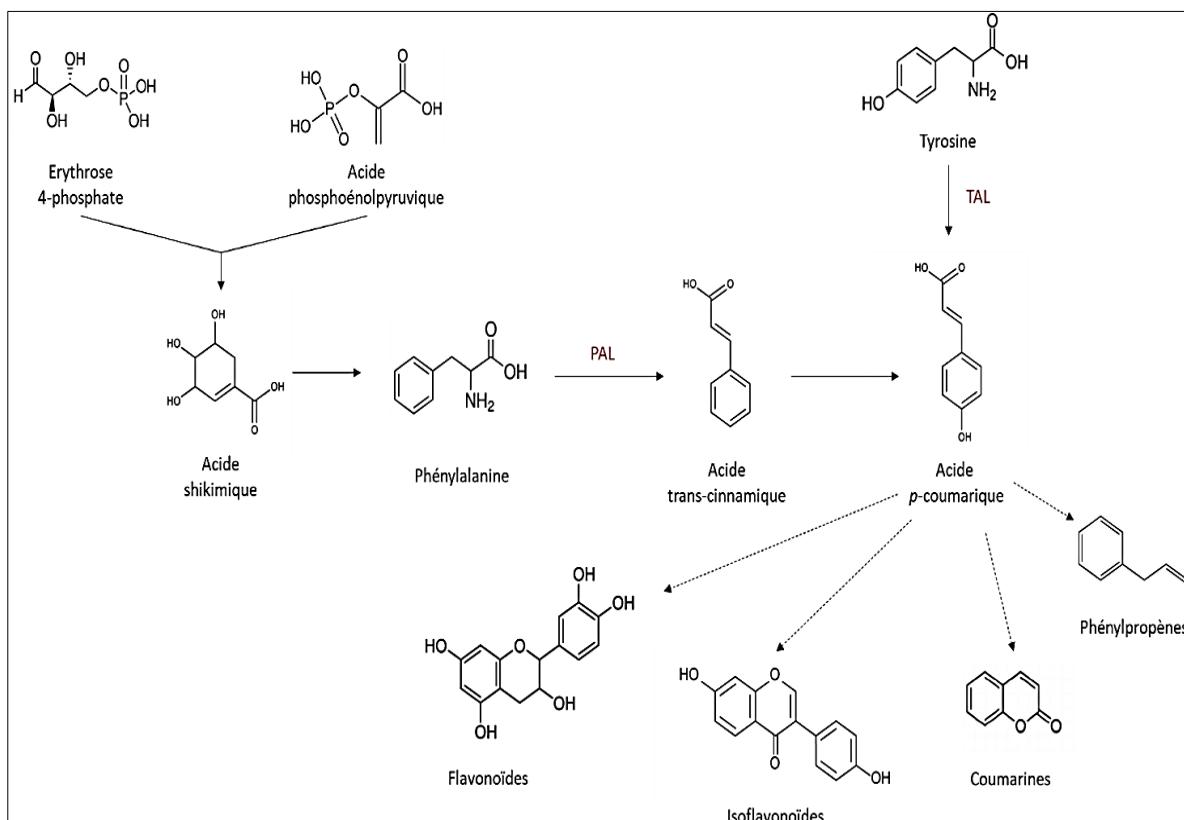
### ○ Biosynthèse des phénylpropanoïdes

La biosynthèse des phénylpropanoïdes, une vaste famille de composés phénoliques, débute avec la phénylalanine. Cet acide aminé aromatique est synthétisé à partir de l'acide shikimique, un produit de la voie des pentoses phosphates. La phénylalanine est ensuite convertie en acide trans-cinnamique, un intermédiaire clé dans la voie des phénylpropanoïdes (Vogt, 2010).

Tous les phénylpropanoïdes dérivent de l'acide trans-cinnamique, formé par la désamination de la phénylalanine, une réaction catalysée par l'enzyme phénylalanine ammonia-lyase (PAL). Ces composés se caractérisent par la présence d'au moins un noyau aromatique (Figure 05).

Une voie alternative, observée notamment chez les monocotylédones, implique l'activité tyrosine ammonia-lyase (TAL) de la PAL. Cette enzyme permet la désamination directe de la tyrosine, conduisant à la formation d'acide p-coumarique.

La PAL joue un rôle régulateur crucial dans le métabolisme des phénylpropanoïdes, contrôlant le flux de carbone entre le métabolisme primaire et la synthèse des phénylpropanoïdes (Vogt, 2010).



**Figure 05.** Voie de biosynthèse des principaux phénylpropanoïdes présents dans les HEs (adapté de Vogt, 2010) . PAL : Phénylalanine ammonia-lyase ; TAL : Tyrosine ammonia-lyase.

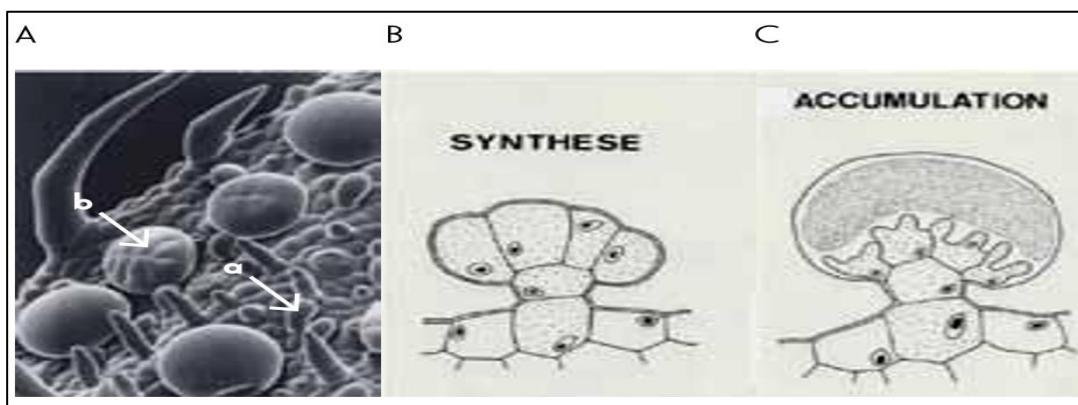
### 2.3. Localisation des huiles essentielles dans la plante

Les plantes synthétisent et sécrètent des quantités infimes d'essences aromatiques, des métabolites secondaires aux propriétés olfactives et biologiques variées. Certaines familles botaniques, telles que les Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Lamiacées, Astéracées, Apiacées, Cupressacées, Poacées et Zingibéracées, se distinguent par une richesse notable en espèces productrices de ces essences (Bruneton, 1999 ; Degryse *et al.*, 2008).

Ces HEs, exclusivement d'origine végétale, se localisent dans divers organes des plantes aromatiques : fleurs (oranger, rose, lavande, clou de girofle), feuilles (eucalyptus, menthe, thym, laurier, sauge), fruits (fenouil, anis, zestes de Citrus), tiges (citronnelle), rhizomes et racines (gingembre, vétiver, iris), graines (noix de muscade, coriandre), bois et écorces (cannelle, santal, bois de rose) (Léon, 2005 ; Teixeira *et al.*, 2013).

La biosynthèse de ces huiles est réalisée par des plantes dites aromatiques, qui possèdent des structures sécrétrices spécialisées. Parmi celles-ci, on trouve les poils sécréteurs (Lamiacées), les poches sécrétrices (Myrtacées, Rutacées), les canaux sécréteurs (Apiacées, Astéracées) et les cellules à huiles essentielles (Lauracées, Zingibéracées). Ces structures sont également impliquées dans le stockage des huiles essentielles (Bouyahya *et al.*, 2018).

- L'HE de menthe est synthétisé dans des structures sécrétrices de l'épiderme foliaire : des glandes peltées et capitées. Les trichomes capités sont constitués d'une cellule basale surmontée d'une cellule de pied et enfin d'une cellule sécrétrice. Les trichomes peltés se distinguent des premiers par la présence de huit cellules sécrétrices terminales. Une fois synthétisés dans les cellules sécrétrices, les composés sont excrétés et s'accumulent dans l'espace sous cuticulaire. Une dispersion lente des composés volatils de l'HE peut attirer des polliniseurs ou protéger contre des insectes ravageurs. Une attaque mécanique de la feuille par un herbivore casse les poches d'HE, libérant des composés toxiques ou inappétants pour l'agresseur (Moja, S et Jullien, 2014).



**Figure 06.** Structure des trichomes sécréteurs chez la menthe.

A, Observation de la surface d'une feuille en microscopie à balayage.

(a) Glande capitée , (b) Glande peltée.

B-C, Schéma de la structure d'une glande peltée en phase de synthèse puis d'accumulation.

## 2.4. Domaines d'utilisation des HEs

Le spectre d'application des HEs s'étend à de multiples domaines industriels, mais quatre secteurs principaux se distinguent par leur importance : l'industrie agroalimentaire, la parfumerie et la cosmétique, l'industrie pharmaceutique et l'industrie chimique (France-agrimer, 2020).

- **L'industrie agroalimentaire**

Dans l'industrie agroalimentaire, les HEs servent à la fois de conservateurs naturels et d'agents aromatisants. Elles sont couramment employées pour parfumer et prolonger la durée de conservation de produits tels que les confiseries, les boissons (thés, sirops), les biscuits et les produits laitiers, avec des exemples notables incluant les huiles de girofle, vanille, menthe, gingembre, citronnelle et agrumes (Onder, 2018).

- **L'industrie cosmétique**

Les industries de la parfumerie et de la cosmétique sont les principaux consommateurs d'HEs, utilisées dans une large gamme de produits, des parfums aux produits d'entretien (Nebie, 2023).

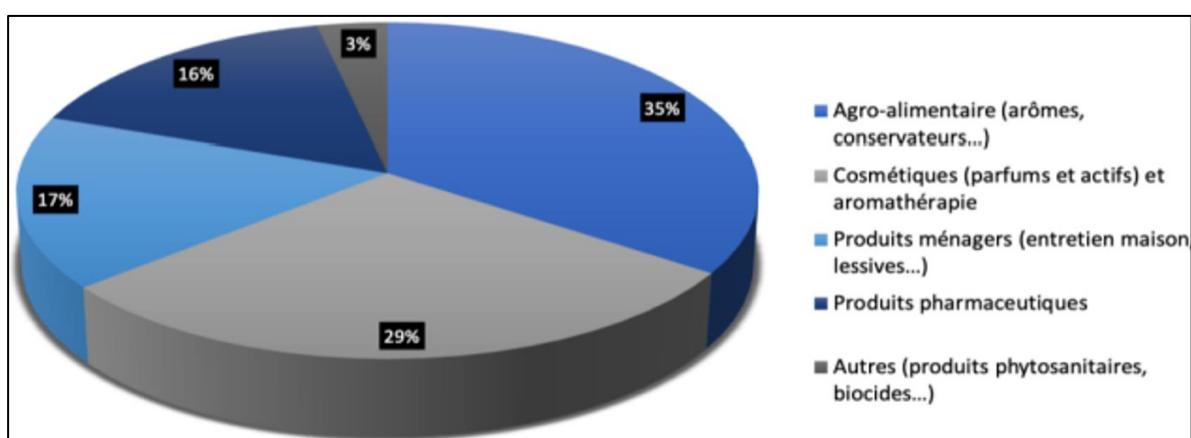
- **L'industrie pharmaceutique**

L'industrie pharmaceutique exploite les propriétés antiseptiques, antibactériennes et antifongiques des HEs , référencées par l'Agence Européenne du Médicament pour traiter

diverses pathologies. Par exemple, l'HE d'arbre à thé est utilisée pour soigner les plaies superficielles, les piqûres d'insectes et les inflammations buccales (Socasau, 2017).

### ○ L'industrie chimique

L'industrie chimique utilise les HEs comme matières premières pour la synthèse de médicaments, vitamines et arômes. Elles sont également essentielles dans la formulation de biopesticides, grâce à leur action sur les insectes et agents pathogènes. Par exemple, l'huile de clou de girofle combat le champignon *Glomerella cingulata* et l'huile d'orange est un insecticide et acaricide (Gundel et Copetti, 2019).



**Figure 07.** Répartition du marché des HEs en valeur en 2015 selon le secteur. (France-agrimer, 2020).

## 2.5. La production mondiale des HEs

Le marché mondial des HEs connaît une croissance remarquable, stimulée par l'essor de l'aromathérapie en Amérique et en Asie, l'intégration croissante des HEs dans les produits cosmétiques, et le dynamisme des marchés occidentaux (Raveau, 2020). En termes de volume, les HEs d'agrumes (dominées par l'orange douce et le citron) et de menthe représentent la majorité des échanges internationaux, suivies par les HEs d'eucalyptus, de lavandin et de lavande (Tableau 03). Une multitude d'autres HE, à haute valeur ajoutée mais échangées en plus petites quantités, sont également présentes sur le marché mondial. Cependant, leur estimation précise est souvent complexe en raison de la nomenclature douanière parfois imprécise (France-agrimer, 2018). Il est important de noter que les prix des HEs sont fortement influencés par la part des échanges contractuels, la qualité de la production, les volumes produits et échangés sur les marchés nationaux et internationaux, et

l'intensité de la concurrence. L'absence de mécanismes de régulation du marché contribue à une forte fluctuation des prix des HEs.

**Tableau 03.** Huiles essentielles les plus produites, valeur en millions de € et principaux pays producteurs en 2019 (France-agrimer, 2020).

Huiles essentielles	Production en tonnes	Valeurs en millions €	Principaux pays producteurs
Orange douce	49000	294	Brésil, USA, Dominique, Italie, Espagne, Argentine, Inde, Chine.
Menthe des champs ( <i>Mentha arvensis</i> )	42000	840	Inde, Chine, Brésil
Citron	9000	225	Argentine, Italie, USA, Brésil
Eucalyptus ( <i>globulus</i> )	4000	88	Chine, Inde, Australie, Brésil
Menthe poivrée ( <i>Mentha piperita</i> )	3500	112	Inde, USA
Citronnelle	3000	81	Chine, Indonésie, Inde
Clou de girofle	2500	52	Madagascar, Indonésie, Tanzanie, Sri, Lanka, Inde
Menthe douce /verte ( <i>Mentha spicata</i> )	2000	58	USA, Inde, Chine
Cèdre	2000	-	Chine, USA, Inde, Maroc
Lavandin	1550	42	France, Espagne
Patchouli	1400	69	Indonésie, Chine, Malaisie
Lime	1000	-	Mexique, Pérou, USA, Haïti, Brésil, Cuba, Côte d'Ivoire, Italie, Inde.

## 2.6. La filière des huiles essentielles en Algérie : un potentiel sous-exploité

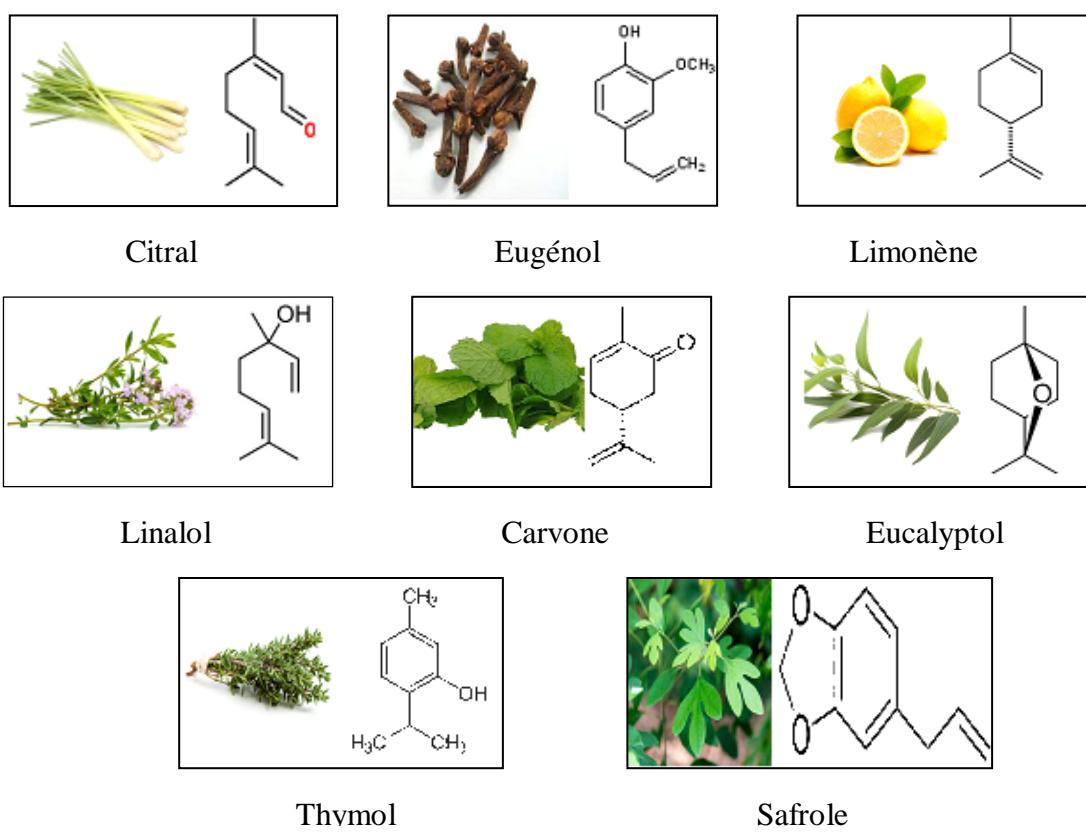
En Algérie, les données officielles sur la filière des HEs sont lacunaires et L'évaluation de cette filière repose donc principalement sur les données relatives aux plantes aromatiques et médicinales (Bessah et Benyoussef , 2015). Depuis 2003, la politique agricole algérienne encourage la culture et la valorisation des plantes médicinales et aromatiques à travers la mise en œuvre de projets de développement rural. Dans le cadre de la phase III du programme sur la Biodiversité en Afrique du Nord (Anonyme, 2003), des projets pilotes de culture de plantes médicinales ont été initiés dans trois fermes dirigées par des femmes. Chaque bénéficiaire s'est engagée à cultiver des plantes médicinales sur 800 m<sup>2</sup> de sa principale parcelle arable. La récolte est ensuite vendue aux herboristes locaux, contribuant ainsi au développement rural et à l'amélioration des conditions de vie. En Algérie, la commercialisation des plantes aromatiques et médicinales se fait à l'état brut ou transformées en HEs, oléorésines et résinoïdes. Compte tenu des importations croissantes d'huiles essentielles et d'extraits de plantes, il apparaît que la filière des huiles essentielles est sous-développée en Algérie, malgré son fort potentiel. Pour promouvoir ce secteur émergent et saisir les opportunités offertes, il

est essentiel de s'engager dans un développement durable, conciliant progrès économique, technologique et social, tout en préservant l'environnement (Bessah et Benyoussef , 2015) .

## 2.7. Composition chimique

Chaque HE se distingue par la présence de plusieurs composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques très différentes. Les deux principales familles chimiques rencontrées sont les composés terpéniques (les molécules les plus répandues) et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (les phénylpropanoïdes). Une HE peut contenir plusieurs centaines de constituants ou être très riche en un constituant donné, comme dans le cas de l'HE de clou de girofle, très riche en eugénol.

Le plus souvent, les HEs contiennent quelques constituants principaux, représentant des proportions comprises entre 10 et 50%, et des constituants à l'état de traces. Les huiles essentielles sont donc un cocktail de molécules actives (Fourmentin et Kfoury, 2024).



**Figure 08.** Quelques exemples d'HEs couramment utilisées, en indiquant leur composant principal et leur structure chimique.

## 2.8. Facteurs de variabilité (Les Facteurs influençant la composition chimique)

Les HEs sont très fluctuantes dans leur composition chimique. Cette variabilité de la composition chimique peut être due à des facteurs extrinsèques et intrinsèques à la plante mais également à la technique d'extraction de l'essence elle-même.

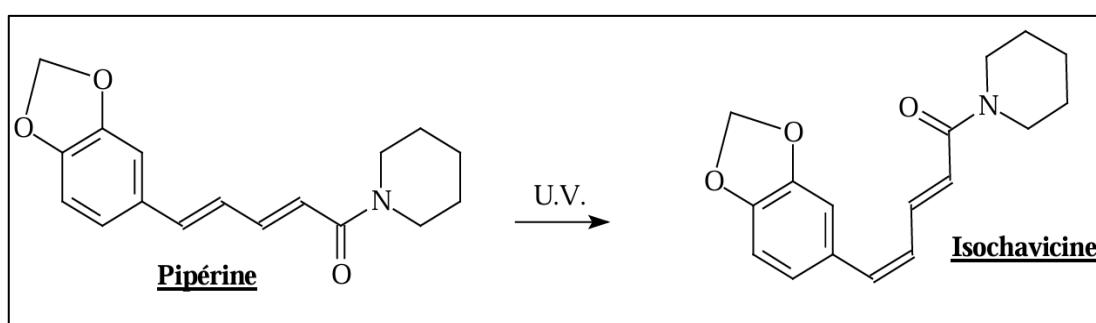
- **Facteurs extrinsèques à la plante**

Les conditions géographiques et climatiques, le terrain de culture de la plante, l'année de culture (ensoleillement, hygrométrie, etc.), le mode cultural, la période de récolte et les réactions dans le temps, au sein de la plante sont à l'origine des différences de rendement et de composition chimique des huiles essentielles d'une même espèce végétale (Degnon *et al.*, 2016).

- **Facteurs intrinsèques à la plante**

Le stade de développement de la plante, l'organe considéré (fleur, feuille, écorce ou bois) et les facteurs génétiques (mutation et hybridation) peuvent entraîner la variation de la composition chimique et du rendement des huiles essentielles d'une même espèce végétale (Degnon *et al.*, 2016).

"Par exemple, la lumière a une action néfaste, celle-ci est plus marquée sur les produits d'extraction, huiles essentielles et oléorésines, que sur le végétal. Ce phénomène a été observé par De Cleyn et Verzele en 1972, dans le cas de la pipérine qui sous l'action des rayonnements Ultraviolet s'isomérise en isochavicine (figure 09), dépourvue de goût. Ce phénomène est plus important et plus rapide dans l'huile essentielle que dans le grain de poivre".



**Figure 09.** Schéma de la transformation de la pipérine en isochavicine sous l'action des UV.

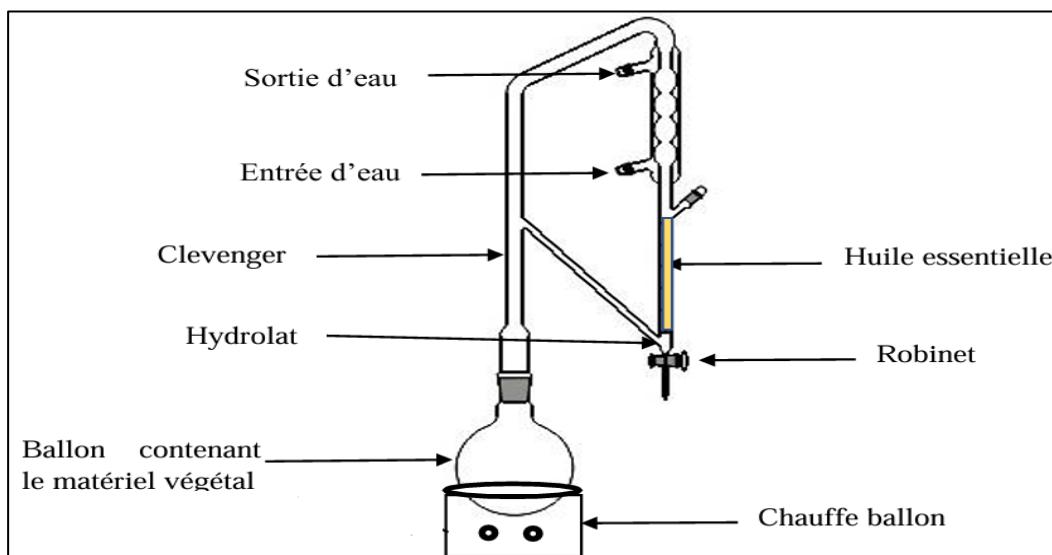
## 2.9. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

L'extraction d'une HE est nécessairement une opération complexe et délicate. Elle a pour but, en effet, de capter et recueillir les produits les plus volatils, subtils et les plus fragiles qu'élabore le végétal, et cela sans en altérer la qualité.

Pour mesurer la difficulté de l'entreprise, il suffit de garder présente à l'esprit la rapidité avec laquelle se dégage, puis disparaît ou se dénature, le parfum d'une fleur, même la plus odorante, lorsqu'on en a froissé les pétales. Une fois la cuticule cireuse des poches épidermiques brisée, l'essence s'en échappe et plusieurs molécules odorantes se dispersent dans l'air ambiant.

- L'hydrodistillation

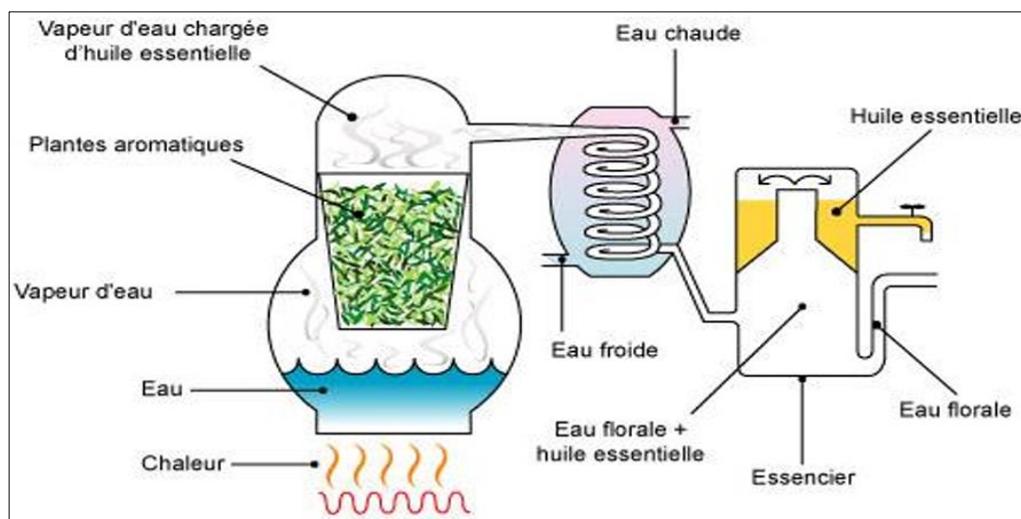
Mise au point dès le IX<sup>e</sup> siècle, l'hydrodistillation est la technique de distillation la plus ancienne et la plus répandue et constitue la méthode standard de distillation d'HE à partir d'une biomasse végétale. Cette méthode implique l'immersion de la matière végétale dans de l'eau portée à ébullition. La vapeur d'eau formée entraîne avec elle les constituants volatils de l'HE, puis est recondensée dans un réfrigérant. Après décantation du distillat obtenu, la phase aqueuse est éliminée et l'HE est ainsi recueillie dans un essencier (Moradalizadeh *et al.*, 2013).



**Figure 10.** Schéma du dispositif d'extraction HE par hydrodistillation avec un Clevenger.

- L'entraînement à la vapeur

Cette technique traditionnelle de distillation se distingue de la précédente dans la mesure où l'eau dans son état liquide et la biomasse végétale ne sont pas en contact direct. Une source de chaleur – dans la majorité des pilotes industriels une chaudière – permet de porter l'eau à ébullition, puis c'est l'action de la vapeur d'eau, circulant à travers la matière végétale par courant ascendant, qui va engendrer des déformations et ruptures au niveau de la structure cellulaire et permettre la libération des composés volatils. Le mélange « eau-HE » qui en résulte sera par la suite recondensé au niveau d'un réfrigérant, puis laissé à décanter pour séparer la phase aqueuse et l'HE. L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale permet d'éviter des phénomènes d'hydrolyse et de dégradation des composés de l'HE et d'en altérer la qualité (Li *et al.*, 2014). La vapeur d'eau peut également être injectée par le haut du système, donnant lieu à de l'hydrodiffusion, avec une circulation de la vapeur par courant descendant. Cette méthode permet un temps de réaction moindre et consomme donc moins d'énergie (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).



**Figure 11.** Schéma descriptif de l'entraînement à la vapeur d'eau.

- L'enfleurage

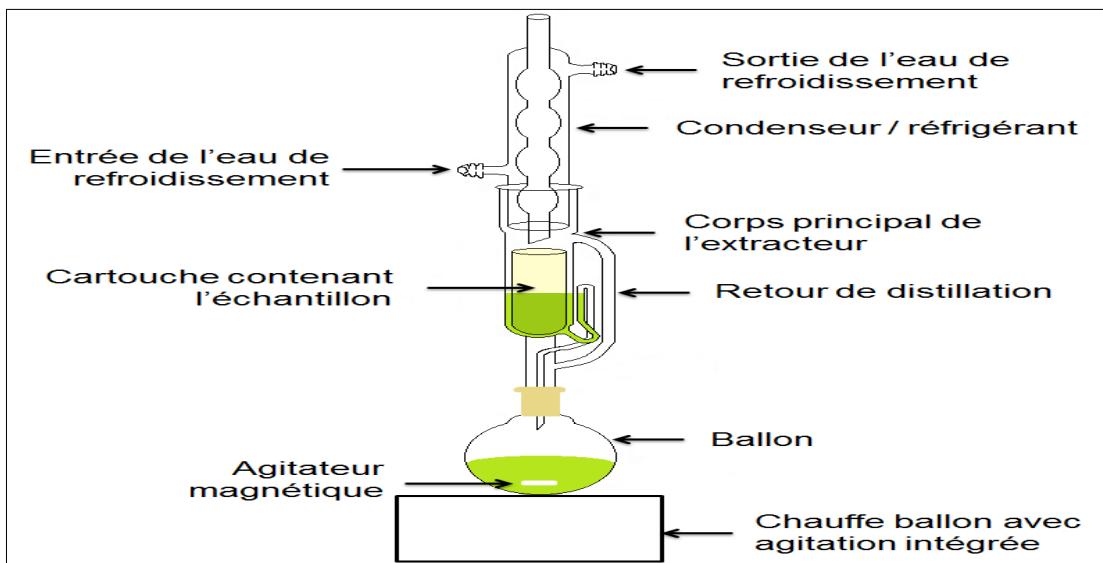
Méthode utilisée traditionnellement en parfumerie pour l'extraction d'HE à partir de fleurs fraîches (jasmin, violette), l'enfleurage peut être réalisée à froid ou à chaud. Elle requiert l'ajout de graisses animale ou végétale inodores, capable d'adsorber les composés volatils aromatiques. Les graisses saturées par les composés aromatiques sont ensuite rincées avec de l'alcool pour séparer les deux phases et en récupérer les extraits végétaux (Salomé-Abarca *et al.*, 2015).

- **Extraction par solvants**

Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant choisi, en plus d'être autorisé, devra posséder une certaine stabilité face à la chaleur, la lumière ou l'oxygène. Sa température d'ébullition sera de préférence basse afin de faciliter son élimination, et il ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait. L'extraction est réalisée avec un appareil de Soxhlet. Ces solvants ont un pouvoir d'extraction plus élevé que l'eau, si bien que les extraits ne contiennent pas uniquement des composés volatils, mais également bon nombre de composés non volatils tels que des cires, des pigments, des acides gras et bien d'autres substances (Huber , 1992). En fonction de la technique et du solvant utilisé, on obtient des hydrolysats (eau comme solvant), des alcoolats (éthanol dilué), des teintures (éthanol/eau), des résinoïdes (extraits éthanoliques concentrés) et des concrètes (extraits à froid et à chaud au moyen de solvants divers) (Hernandez, 2005).

La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer, dans un extracteur, un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. L'emploi restrictif de l'extraction par solvants organiques volatils se justifie par son coût, les problèmes de sécurité et de toxicité, ainsi que la réglementation liée à la protection de l'environnement.

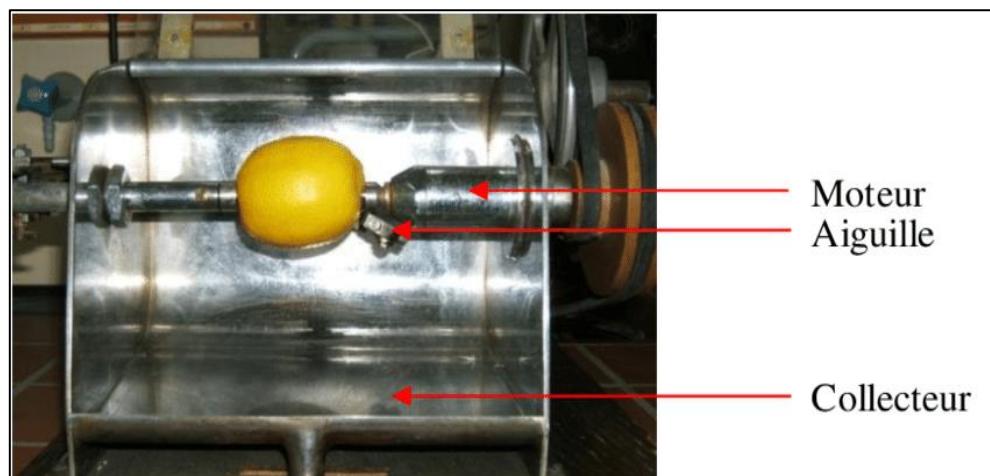
Cependant, les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysante de la vapeur d'eau (Lucchesi, 2005). Face à cette situation, deux nouvelles techniques ont été mises au point, ces dernières années, pour la distillation des substances d'arômes à partir des plantes : l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction par le CO<sub>2</sub> supercritique.



**Figure 12.** Schéma représentatif de l'appareil de Soxhlet (extraction par solvant).

- **Expression à froid (Pressage)**

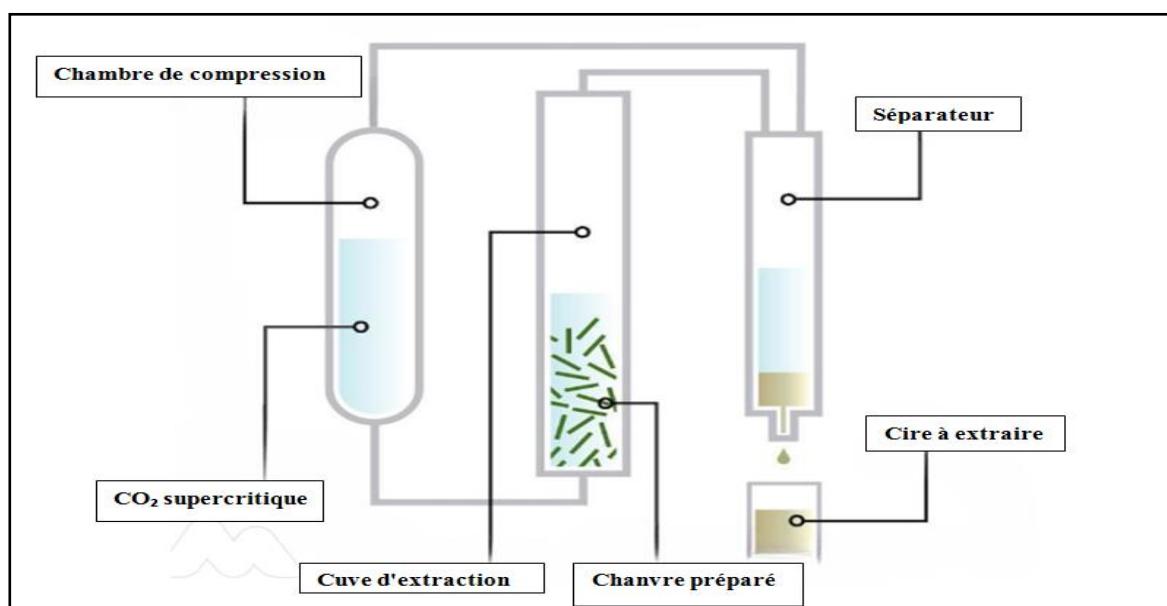
La technique est réservée à l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes d'agrumes en déchirant ces dernières par un traitement mécanique (Boukhatem *et al.*, 2019). Le principe de ce procédé s'appuie sur la rupture mécanique par pression à froid, des cellules sécrétrices riches en HE. L'HE ainsi libérée est ensuite entraînée par un flux d'eau, formant une émulsion constituée d'eau et d'HE. Cette dernière sera enfin isolée par décantation ou par centrifugation (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).



**Figure 13.** Schéma du montage de l'extraction par la pression à froid.

- Extraction aux fluides supercritiques

Les fluides supercritiques ont été étudiés comme une méthode alternative d'extraction des HE. Un fluide est considéré comme supercritique lorsqu'il se présente dans un état intermédiaire entre le gaz et le liquide. Dans des conditions de température et de pression bien définies, le fluide possède une faible viscosité, une forte diffusivité et une densité proche de celle de l'état liquide. De ce fait, il présente la particularité d'extraire les molécules aromatiques à partir de la matière végétale. Le CO<sub>2</sub> est le fluide supercritique le plus couramment employé, du fait de ses caractéristiques critiques « modérées » ( $T_c = 31,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ;  $P_c = 72,9 \text{ bar}$ ) (Zhao et Zhang, 2014). Il est également chimiquement inerte, non inflammable, non toxique et est disponible à un coût relativement faible pour un haut niveau de pureté. Un autre avantage de cette méthode est la possibilité d'éliminer le solvant par simple dépression et de pouvoir le recycler pour le réintroduire directement dans le système (Santoyo *et al.*, 2014) .

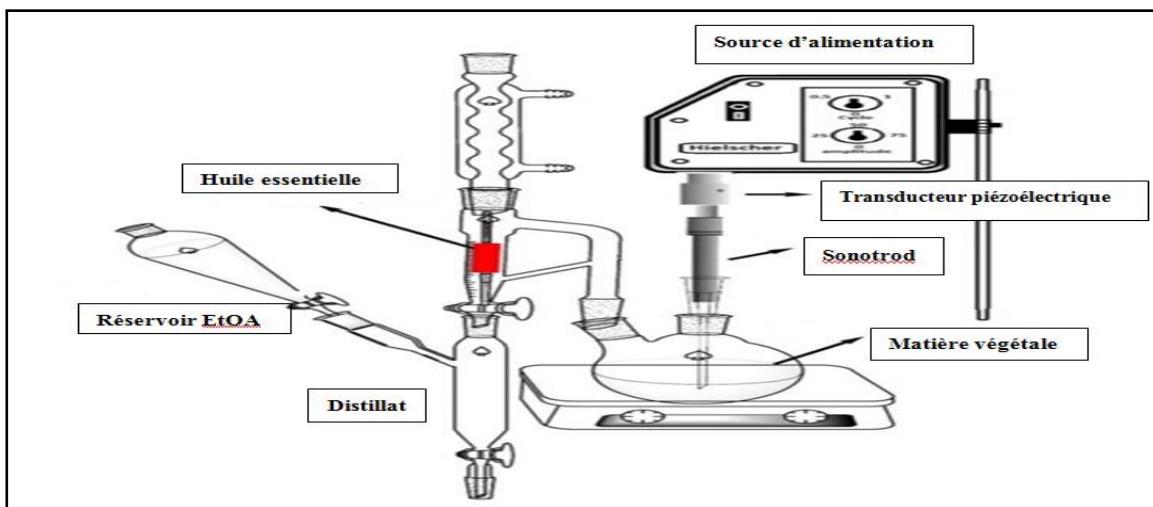


**Figure 14.** Schéma du montage de l'extraction par CO<sub>2</sub> supercritique.

- Extraction assistée par ultrasons

Le principe de l'extraction assistée par ultrasons est d'exposer la matière végétale en solution aqueuse à des ondes sonores comprises entre 20 kHz et 10 MHz. Pendant la sonication, les ondes traversent les parois végétales, induisant des vibrations mécaniques et conduisant au phénomène de cavitation. L'éclatement des bulles de cavitation ainsi formées permet de fracturer les cellules sécrétrices et de libérer les HE. La température, la fréquence et l'intensité choisies ainsi que le temps d'exposition sont des paramètres importants du système

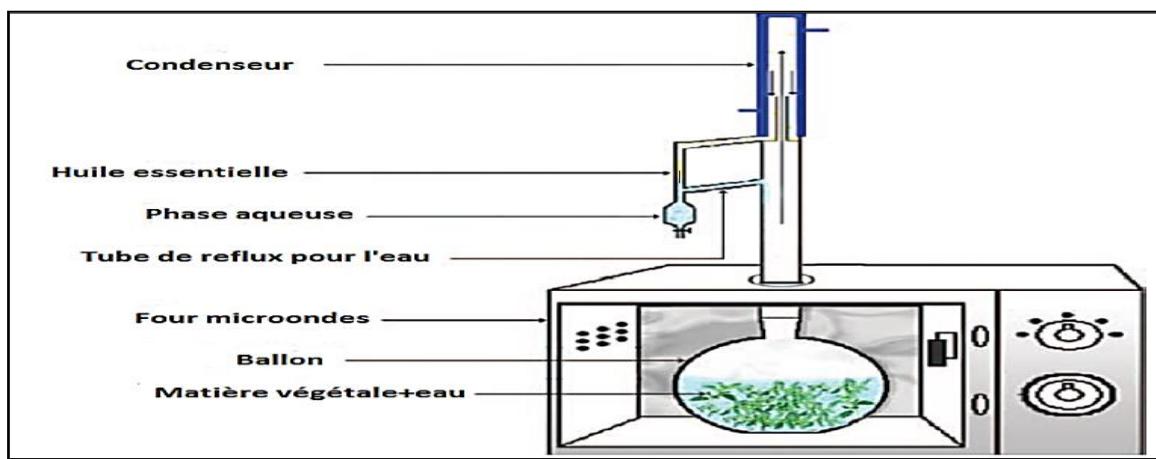
(Chemat *et al.*, 2011). En plus d'améliorer les rendements d'extraction, cette méthode permet de réduire significativement les temps d'extraction, l'énergie consommée ainsi que les quantités de solvant nécessaires. Par ailleurs, les HE produites sont souvent de très haute qualité, avec peu de phénomènes de dégradation thermique (Chemat *et al.*, 2011).



**Figure 15.** Schéma de montage d'extraction par ultrasons couplée à un appareil de type Clevenger.

#### ○ Extraction assistée par micro-ondes

L'utilisation des micro-ondes, ondes électromagnétiques dont la fréquence varie entre 300 MHz et 300 GHz et la longueur d'onde entre 1 mm et 1 m, constitue une méthode innovante de chimie verte. Dans ce procédé, la matière végétale en solution aqueuse ou en présence d'un ou plusieurs solvants organiques est placée dans un réacteur micro-ondes. La circulation des ondes à travers la matière permet un chauffage plus sélectif et plus rapide que l'eau et induit des changements dans la structure cellulaire, permettant d'une part d'accélérer le procédé, de réduire l'énergie nécessaire au système ainsi que les quantités de solvants nécessaires et d'autre part d'élever les rendements d'extractions (Moradalizadeh *et al.*, 2013). Afin d'éviter d'éventuelles interférences avec d'autres systèmes de communication notamment, 0,915 et 2,45 MHz sont les fréquences les plus fréquemment autorisées pour des applications médicales, industrielles ou scientifiques (Chemat *et al.*, 2009; Filly *et al.*, 2014).



**Figure 16.** Schéma représentatif d'un appareil d'hydrodistillation assistée par micro-ondes.

Il est intéressant de noter également que les techniques présentées ici comme des méthodes innovantes sont souvent combinées à des techniques classiques pour en améliorer les effets. Ainsi, l'utilisation de micro-ondes ou d'ultrasons est souvent complémentaire des méthodes d'hydrodistillation, d'entrainement à la vapeur ou encore d'extraction par solvants.

## 2.10. Activités biologiques des huiles essentielles

De nombreuses HEs sont connues depuis des siècles pour leurs propriétés antiseptiques, antioxydantes et anesthésiques, et beaucoup d'entre elles sont signalées pour leur utilisation dans la médecine traditionnelle. Les huiles essentielles constituent une source importante de composés biologiquement actifs, tels que des antibactériens, des insecticides, des fongicides, des nematicides, des herbicides, des antioxydants et des anti-inflammatoires (Turek et Stintzing, 2013). Trois cents d'entre elles sont commercialisées et fréquemment utilisées dans les cosmétiques et les arômes, ainsi que dans les industries alimentaire et pharmaceutique (Bassolé et Juliani, 2012). Elles sont également utilisées dans l'alimentation comme épices ou pour préparer des boissons (Koul et al., 2008).

**Tableau 04.** Propriétés biologique des familles chimiques des Huiles essentielles (Benayad, 2008).

Familles chimiques	Propriétés biologiques
Monoterpènes hydrocarbonés	Fongistatique, bactériostatique, insecticide, nematicide, herbicide et stimulant.
Sesquiterpènes hydrocarbonés	Calmant, anti-inflammatoire, antiallergique, antibactérien, antifongique
Phénols terpéniques	Antioxydant, stimulant, tonique, antiseptique, bactéricide, fongicide, antivirale et antiparasitaire
Alcools monoterpéniques	anti-inflammatoire, antiseptique, bactéricide, fongicide, antivirale, antiallergique, immunostimulant et neurotoxique.
Alcools sesquiterpéniques	Tonique, stimulent
Aldéhydes monoterpéniques	Antifongique, sporicide, insecticide, anti hypertensif et anti-inflammatoire.
Cétones monoterpéniques	Calmante, antivirale, antifongique, neurotoxique et antiépileptique

## 2.11. Toxicité des huiles essentielles

L'usage des HEs à des doses incontrôlées peut engendrer des effets secondaires plus ou moins néfastes pour l'organisme (allergies, coma, épilepsie, nausées ou céphalées) surtout chez les personnes sensibles (enfants, femmes enceintes, personnes âgées ou allergiques) (Degryse *et al.*, 2008). Néanmoins, les huiles essentielles restent de très loin moins toxiques pour l'homme et l'environnement par rapport aux produits chimiques de synthèse (Bassolé *et al.*, 2010).

## 2.12. Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles de bonne qualité peuvent se conserver plusieurs années sous certaines conditions, jusque cinq ans pour les H.E.C.T par exemple. Seules les essences de Citrus se gardent un peu moins longtemps (trois ans). Les huiles essentielles sont volatiles, il ne faut donc pas oublier de bien fermer les flacons. Il est préférable de les conserver dans un flacon en aluminium ou en verre teinté (brun, vert, ou bleu) et de les garder à l'abri de la lumière à une température ambiante jusque vingt degrés (Mayer , 2012).

## 3. Huiles essentielles de *Mentha spicata*

La menthe verte (*M. spicata* L.) est une plante aromatique qui peut être utilisée fraîche ou sous forme de feuilles séchées ou de poudre, comme assaisonnement et aromate, ou traditionnellement comme tisane. Elle est couramment utilisée dans les médecines

traditionnelles comme remède aux problèmes gastro-intestinaux et respiratoires (Cirlini *et al.*, 2016).

Les bienfaits de l'huile essentielle de la *M. spicata* est en majeure partie expliquée par la grande portion de carvone et de limonène. Ces deux chémotypes ont des effets mucolytiques, anti-catarrhales et expectorantes, ce qui permet le dégagement des voies respiratoires grâce à la fluidification du mucus et son expulsion hors des bronches. Cette essence peut être utile dans le cas de bronchites, infections respiratoires, sinusites, blocages du plexus solaire et toux grasses (Demars, 2023).

### 3.1. Composition chimique

**Tableau 05.** Composition chimique de HE de *M. spicata* ( Guy, 2005).

Hydrocarbures terpéniques		Alcools	
Mycène	0,7 à 2,5 %	<b>Menthol</b>	<b>0,2 %</b>
Limonène	5 à 11,4 %	<b>Linalol</b>	<b>0,1 à 0,8 %</b>
Germacrème D	0,1 à 4,1 %	<b>α-terpinéol</b>	<b>0,2 à 2,7 %</b>
β -pinène	0,3 à 0,7 %	<b>4-terpinéol</b>	<b>0,2 à 2,7 %</b>
α - pinène	0,2 à 0,6 %	<b>Dihydrocarvéol</b>	<b>1,2 à 5,9 %</b>
β - caryophyllène	0,1 à 1,6 %	<b>Néodihydrocarvéol</b>	<b>1,6 à 3,9 %</b>
		<b>Cis-carvéol</b>	<b>0,3 à 2,4 %</b>
Cétones		Alcools	
Cis-dihydrocarvone	1,9 à 3,5 %	<b>Trans-carvéol</b>	<b>0,5 à 2,3 %</b>
Carvone	39,1 à 69,9 %		
Esters		Autres	
Acétate de dihydrocarevyl	1,4 à 3,5 %	<b>1,8-cinéole</b>	<b>1 à 3,4 %</b>
Acétate de trans-carveyle	0,7 à 5,9 %	<b>Composé soufré</b>	/
Acétate de cis-carveyle	2%	<b>Menthe sulfure</b>	<b>Traces</b>

Le rendement et la composition chimique des HEs de *M. spicata* sont influencés par des facteurs endogènes (génétiques) et exogènes (environnementaux) (Hua *et al.*, 2011 ; Eddaya, 2015). En effet, la composition des huiles essentielles varie en fonction du stade de développement de la plante (Rodrigues *et al.*, 2013) et des conditions de croissance (Karray-Bouraoui *et al.*, 2009). La période de floraison, en été, est considérée comme optimale pour la production d'huiles essentielles chez la menthe. De plus, la composition des huiles essentielles des différentes accessions de *M. spicata* L. varie considérablement en fonction de leur origine géographique (Hajlaoui *et al.*, 2010). Cette variation est principalement due à l'interaction complexe entre le génotype de la plante et les facteurs environnementaux (Patel *et al.*, 2015).

**Tableau 06.** Variation de la composition chimique de HE de *Mentha spicata* (El Meniyiy *et al.*, 2020).

Pays	Partie utilisée	Composés	La référence
Chine	Parties ariennes	Carvone (46,7–65,4%) Limonène (6,8%) Linalol (0,6–6,9%) Menthone (1,5–4,7%) Dihydrocarvone (0,8–15,7%) Acétate de dihydrocarvéol (0,2–7%)	(Zhao <i>et al</i> ; 2013)
Algérie	Feuilles	Carvone (59,40%) Limonène (6,12%) 1,8-Cinéole, germacrène D (0,466%) $\beta$ -Caryophyllène (2,969%) $\beta$ -Bourbonène (2,796%) $\alpha$ -Terpineol (1,986%) Terpinène-4-ol (1,120%)	(Boukhebti <i>et al</i> ; 2011)
Roumanie	Phénoliques, éthanol à 70 %	Acide férulique (27,32%) Acide sinapique (6,60%) Acide p-coumarique (15,42%) Lutéoline (4,68%)	(Benedec <i>et al</i> ; 2013).

### 3.2. Propriétés physiques : (Carlier-Loy, 2015).

- Densité : 0,917 à 0,937.
- Indice de réfraction : 1,484 à 1,491.
- Angle de rotation optique : -60° à -47°.
- Solubilité : elle est soluble à 20°C dans une partie d'alcool à 80°C. La solution devient opalescente par dilution avec de l'alcool à 80°C.

## 4. Enquête ethnobotanique

### 4.1. Définition et Historique d'enquête ethnobotanique

Le terme « ethnobotanique » a été utilisé pour la première fois en 1896 par Harschberger, botaniste, écologue et taxonomiste américain, définissant ainsi « l'étude des plantes utilisées par les peuples primitifs et aborigènes» (Harshberger, 1896).

Selon Jones (1941), l'ethnobotanique s'intéresse aux interactions entre les peuples dits primitifs et les plantes. D'autres chercheurs, comme Schultes (1967), la définissent comme l'étude des relations entre l'homme, la flore et son environnement naturel. En tant que discipline issue de la fusion entre l'ethnologie et la botanique, l'ethnobotanique examine les rapports entre l'Homme et le monde végétal, en prenant en compte à la fois les aspects culturels et biologiques. Elle s'appuie ainsi sur une double connaissance : celle des végétaux et celle des sociétés humaines. Son champ d'étude, pluridisciplinaire par nature,

accorde toutefois une importance particulière à la botanique (Fiot, 2005, cité par Gueye, 2019).

#### **4.2. L'importance d'enquête ethnobotanique**

L'ethnobotanique constitue une discipline clé pour la compréhension des interactions entre les sociétés humaines et les plantes. Elle permet d'explorer non seulement l'usage culturel et symbolique des végétaux, mais aussi leur rôle écologique au sein des communautés. Sur le plan appliqué, elle offre une base essentielle pour la documentation des savoirs traditionnels liés aux plantes médicinales, l'évaluation scientifique des usages thérapeutiques, et la compréhension des pratiques alimentaires indigènes. De plus, elle contribue à la préservation de la biodiversité et de la diversité culturelle, en mettant en lumière les pratiques locales de gestion des ressources naturelles. L'ethnobotanique joue également un rôle dans la transmission intergénérationnelle des connaissances botaniques et peut inspirer de nouvelles approches en matière de production végétale et de valorisation des produits dérivés. En ce sens, elle représente un outil précieux pour la recherche scientifique, le développement durable et la sauvegarde du patrimoine culturel (Erinso et Aworinde, 2018).

#### **4.3. Domaines de l'ethnobotanique**

Il existe quatre principaux domaines d'ethnobotanique, à savoir :

- Fondamental : Documentation des connaissances botaniques traditionnelles.
- Quantitatif : Evaluation de la valeur d'usage, valeur d'usage relative, rapport de concordance et classement des préférences.
- Expérimentale : Evaluation des avantages, test d'hypothèses et prévision.
- Appliquée : Applications pratiques de l'information ethnobotanique dans des domaines tels que la prospection de drogue et la biologie de la conservation  
(Erinso et Aworinde, 2018).

#### **4.4. Objectifs d'une enquête ethnobotanique**

- Documentation de base sur les connaissances botaniques traditionnelles,
- Evaluation quantitative de l'usage de la gestion des ressources végétales.
- Estimation expérimentale de l'apport des plantes aussi bien en termes de subsistance qu'en termes de ressources financières.
- Développement de projets appliqués visant à optimiser l'apport des ressources locales et contribution au développement de nouveaux médicaments (Malaisse F, 2004).



## *Matériel et méthodes*

Notre étude a été menée en deux phases successives. La première phase a consisté en une enquête ethnobotanique visant à recueillir des informations sur les usages traditionnels de la plante sélectionnée. La seconde phase a été consacrée à l'extraction de l'huile essentielle de la plante par distillation en laboratoire (de Biochimie appliquée, faculté Chaebt Rsasse et de Biochimie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Constantine 1, Algérie.). Cette étape a également inclus la détermination de certaines propriétés chimiques et physiques de l'huile, ainsi que l'évaluation de ses activités biologiques, telles que l'activité antioxydant et antimicrobienne.

### **1. Enquête (recherche) ethnobotanique**

Dans de nombreuses sociétés, la médecine traditionnelle constitue le principal recours pour la résolution des problèmes de santé. Cette pratique, souvent fondée sur des connaissances empiriques, est généralement transmise oralement de génération en génération.

Cette transmission séculaire par voie orale est soumise à un risque de perte de savoirs, ce qui nécessite des approches méthodologiques rigoureuses pour en préserver l'intégrité et la richesse. Les études ethnobotaniques et ethnomédicales sont aujourd'hui reconnues comme les méthodes privilégiées pour l'étude des plantes médicinales et de leurs usages (Adjanahun *et al.*, 1991 ; Farnsworth, 1966).

L'objectif de cette enquête ethnobotanique était d'identifier les diverses utilisations médicinales traditionnelles de la plante sélectionnée et de documenter les connaissances médicinales traditionnelles associées à son utilisation. Les résultats obtenus permettront de dresser un aperçu général du potentiel curatif de la plante, tel que perçu par les guérisseurs de la région d'étude.

Dans le cadre de cette étude et conformément aux protocoles en vigueur, un questionnaire structuré a été administré lors d'entretiens individuels avec un échantillon de 50 participants. Chaque entretien a permis de recueillir des informations détaillées sur les participants et sur la plante étudiée.

#### **1.1. Échantillonnage**

Selon Ould El Hadj *et al.* (2003), l'échantillonnage consiste à identifier, au sein d'une population donnée, les individus qui composeront l'échantillon. Dans notre étude, une approche d'échantillonnage aléatoire a été privilégiée, garantissant ainsi une représentativité

optimale de la population étudiée. De plus, nous avons ciblé différentes catégories de personnes susceptibles de posséder des connaissances sur les plantes médicinales et leurs usages thérapeutiques.

### **1.2. Fiche d'enquête**

L'outil de notre enquête était un questionnaire structuré, comprenant une liste de questions avec des réponses préétablies, afin de guider les entretiens semi-directifs (Annexe 1). Ce questionnaire était divisé en deux parties :

- Une première partie destinée à recueillir des informations sociodémographiques sur les participants : âge, sexe, lieu de résidence, etc.
- Une seconde partie consacrée aux questions relatives à la plante étudiée, telles que son nom vernaculaire, la partie de la plante utilisée, son mode d'utilisation, etc.

## **2. Huile essentielle et activités biologique**

### **2.1. Matériel végétal**

#### **2.1.1. La récolte et traitement de la plante**

La plante utilisée dans notre étude est le *M. spicata* (menthe verte), récoltée le 20 février 2025 dans la région de ZIGHOUD Youcef, wilaya de Constantine. Seules les feuilles de menthe verte ont été exploitées pour l'extraction des huiles essentielles coupées en petites morceaux. Les travaux de recherche ont été réalisés au sein du Laboratoire de Biochimie appliquée, faculté Chaebt Rsasset et de Biochimie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Constantine 1, Algérie.



**Figure 17 .** Le matériel végétal.

### 2.1.2. Extraction des huiles essentielles :

Les HEs de *M. spicata* sont extraites par la méthode d’hydrodistillation à l’aide d’un appareil de type Clevenger.

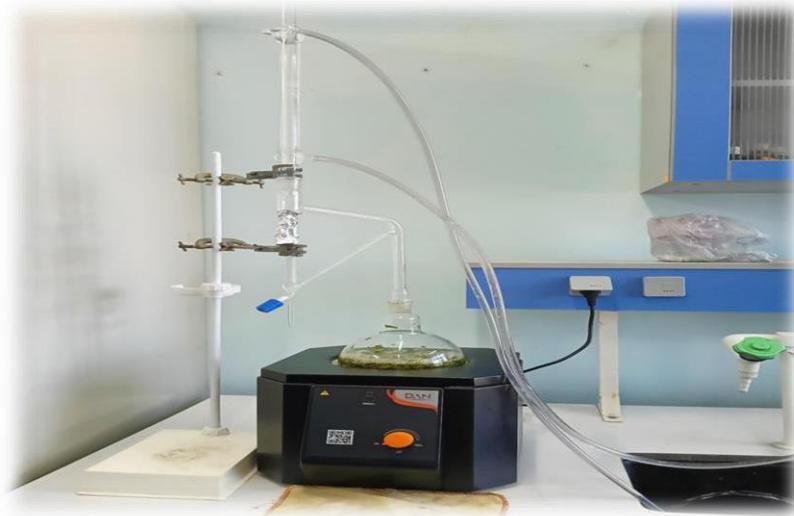
- **Principe**

L’appareil de Clevenger fonctionne par hydrodistillation. Le matériel végétal est chauffé avec de l’eau, libérant les composés volatils sous forme de vapeur. Cette vapeur est ensuite condensée, et les HEs sont séparées de l’eau par décantation, grâce à leur différence de densité. Ce procédé permet une extraction efficace et sans solvant des HEs .

- **Mode opératoire**

Cette technique, la plus ancienne pour extraire les HEs, consiste à immerger la matière végétale dans un ballon en verre de 2 L rempli d’eau aux deux tiers, placé sur une source de chaleur (chauffe ballon). Le mélange est porté à ébullition, générant des vapeurs chargées de molécules aromatiques qui s’élèvent vers un réfrigérant maintenu entre à une température entre 15°C et 18°C, où elles se condensent en un liquide. L’HE se sépare ensuite de l’eau par différence de densité, grâce à un système comme l’appareil de Clevenger.

La durée du processus, variable (de quelques heures à une journée), dépend du type de plante et de sa teneur en composés volatils. À la fin de l’extraction, le volume et la masse de l’huile essentielle obtenue ont été mesurés. L’huile a ensuite été stockée dans des tubes en verre fumé, bien scellés, et conservée à 4 °C afin de préserver ses propriétés chimiques et aromatiques. (Merabet, 2018).



**Figure 18 .** Montage de type Clevenger utilisé pour l'extraction.

### 2.1.3. Détermination du rendement

Le rendement en HE, exprimé en pourcentage (%), est défini comme le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue après extraction et la masse de la matière végétale initiale.

$$R(\%) = \frac{\text{Masse HE}}{\text{Masse MV}} \times 100$$

R : rendement en HE en (%)

HE : huile essentielle

MV : matière végétale

## 2.2. Caractères physicochimiques

### 2.2.1. Détermination de potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH mesure l'activité des ions hydrogène ( $H^+$ ) en solution. Cette mesure est effectuée à l'aide de papier pH.

### 2.2.2. Détermination densité

La densité, ou masse volumique, est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume (Merabet, 2018). Pour une huile essentielle, la densité est le rapport entre la masse d'un certain volume de cette huile et ce volume. La densité est ainsi exprimée en  $g/cm^3$ .

$$d = \rho = m/v$$

m : masse d'un certain volume HE.

V : volume d'HE

## 2.3. Activités biologique

### 2.3.1. Activités antioxydants

#### 2.3.1.1. Test de DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl)

- **Principe**

Le test DPPH repose sur la capacité des antioxydants à réduire le radical libre DPPH, un composé stable de couleur violette. En présence d'un antioxydant, le DPPH est neutralisé, entraînant une perte de couleur mesurable par spectrophotométrie à 517 nm. Une décoloration plus marquée indique une activité antioxydante plus importante de l'échantillon.

- **Mode opératoire**

La détermination de l'activité antiradicalaire par le test DPPH a été réalisée selon une méthode légèrement modifiée de celle décrite par Molyneux en 2003.

Une solution méthanolique de DPPH<sup>·</sup> a été préparée en dissolvant précisément 4 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol. L'HE a été solubilisée dans du méthanol. Pour obtenir différentes concentrations, 50 µL d'HE ont été ajoutés à 5 mL de méthanol. Le test a consisté à mélanger 1,5 mL de la solution de DPPH avec 15 µL de l'HE aux concentrations préparées. Après une incubation de 30 minutes à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 517 nm. Un antioxydant de référence, l'acide ascorbique (AA) (contrôle positif), a été préparé et testé dans les mêmes conditions et aux mêmes concentrations à des fins de comparaison. Chaque concentration de produit testé a fait l'objet de trois répétitions.

L'activité antioxydante, exprimée en pourcentage d'inhibition (PI) du radical DPPH<sup>·</sup>, a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$I \% = (A_0 - A_1 / A_0) \times 100$$

I % : pourcentage d'inhibition

A0 : absorbance DPPH

A1: absorbance échantillon

La CI50 (concentration de l'échantillon nécessaire pour neutraliser 50% des radicaux libres) a été obtenue en utilisant le logiciel GRAPH PAD Prism.

### **2.3.1.2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power)**

#### **○ Principe**

Le test évalue l'aptitude d'un échantillon à réduire les ions ferriques ( $Fe^{3+}$ ) en ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ). Les ions  $Fe^{2+}$  ainsi formés réagissent avec un agent complexant, fréquemment le ferricyanure de potassium ( $K_3[Fe(CN)_6]$ ), pour générer un complexe coloré.

#### **○ Mode opératoire**

L'activité réductrice du fer des extraits a été évaluée selon la méthode Ghedadba *et al.* (2015), basée sur la réduction des ions  $Fe^{3+}$  du complexe  $K_3Fe(CN)_6$  en ions  $Fe^{2+}$ .

Un volume de 0,5 mL d'HE diluée à diverses concentrations a été mélangé avec 1,25 mL d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 1,25mL d'une solution de ferricyanure de potassium  $K_3[Fe(CN)_6]$  à 1 %. Le mélange a été incubé au bain-marie à 50°C pendant 30 minutes. La réaction a ensuite été stoppée par l'ajout de 1,25 mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 10 %. Les tubes ont été centrifugés à 2000 rpm pendant 10 minutes.

Par la suite, 0,625 mL du surnageant ont été mélangés avec 0,625 mL fraîchement préparée de chlorure ferrique à 1 %. L'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm contre un blanc préparé de manière identique, en substituant l'HE par du méthanol pour calibrer le spectrophotomètre. Une solution d'AA a servi de contrôle positif, et son absorbance a été mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons. Une absorbance croissante indique un pouvoir réducteur accru d'HE analysée.

### **2.3.2. Activité antibactérienne**

- **Principe**

Pour évaluer l'activité antibactérienne *in vitro* d'HE de *M. spicata*, la méthode de diffusion sur milieu solide en puits a été employée. Cette technique permet de tester la sensibilité des souches bactériennes et de déterminer les zones d'inhibition. Elle consiste à introduire l'HE dans des puits pratiqués dans des milieux de culture préalablement ensemencés avec les bactéries. Une activité antibactérienne positive se traduit par la formation de zones d'inhibition (ZI) de croissance bactérienne autour des puits.

- **Souches bactériennes testées**

Les trois souches bactériennes utilisées dans notre étude, à savoir *Bacillus sp.*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, comprennent une bactérie Gram positive (*Bacillus sp.* et *Staphylococcus aureus*) et une bactérie Gram négative (*Escherichia coli*). Elles ont été obtenues du laboratoire de microbiologie n° 08 de la faculté des SNV, Constantine 1.

- **Milieux de culture utilisés**

Selon les méthodes employées, les milieux de culture suivants ont été utilisés : gélose Mueller-Hinton et gélose nutritive (GN).

- **Réactivation des souches bactériennes**

À partir des souches conservées, les bactéries à tester sont ensemencées sur des boîtes de Pétri contenant la gélose nutritive (GN). Dans un second temps, les bactéries sont incubées à une température de 37 °C pendant une durée de 24 heures. Ce processus a pour objectif d'obtenir des colonies de bactéries jeunes et isolées.

- **Préparation de l'inoculum bactérien**

Après 24 heures d'incubation à 37 °C, une ou deux colonies bien isolées et morphologiquement identiques de chaque souche bactérienne sont prélevées à l'aide d'une anse de platine stérile et transférées dans des tubes contenant de l'eau physiologique stérile à 0,9 %. Les suspensions bactériennes sont ensuite agitées au vortex afin d'obtenir une turbidité voisine de celle de l'échelle de McFarland 0,5 (environ 10<sup>7</sup> cellules/mL).

- **ensemencement des boîtes de Pétri**

Tout d'abord, différentes concentrations de l'HE (25, 50, 75 et 100 %) ont été préparées en utilisant du DMSO stérile. Ensuite, le milieu de culture gélosé Mueller-Hinton a été coulé aseptiquement dans des boîtes de Pétri. Après solidification, toute la surface des boîtes de Pétri a été ensemencée uniformément à l'aide d'un écouvillon stérile trempé dans les suspensions bactériennes standardisées.

Après séchage de la surface (environ 5 min), des puits de 6 mm ont été creusés à l'aide d'une pipette Pasteur. 50 $\mu$ L de chaque concentration des extraits ont ensuite été versés délicatement dans chaque puits à l'aide d'une micropipette.

Parallèlement, un autre puits a été réalisé au centre de chaque boîte de Pétri pour déposer le DMSO (50  $\mu$ L) comme témoin négatif, afin de confirmer sa non-activité sur les germes. Dans une autre boîte de Pétri, une solution d'antibiotique Augmentin (ATB) à la concentration de 1 mg/mL a été utilisée comme témoin positif. Les boîtes de Pétri ont ensuite été placées à basse température (+4 °C) pendant 15 à 30 minutes afin de permettre la pré-diffusion de l'HE dans la gélose avant que les bactéries ne commencent à se multiplier. Ultérieurement, les boîtes ont été retirées du réfrigérateur et incubées à 37 °C pendant 24 heures (Toty *et al.*, 2013). Après incubation, les zones d'inhibition bactérienne autour des puits ont été mesurées en millimètres afin d'évaluer l'activité antibactérienne de l'HE testé.

### **3. Traitement et analyse statistique**

- Pour l'enquête ethnobotanique, les données enregistrées sur les fiches d'enquêtes ont été traitées et saisies dans le logiciel Excel. Pour les analyser, on a utilisé des méthodes simples de statistiques descriptives. On a ensuite exprimé ces données sous forme de cercles relatifs.

- Pour l'étude phyto-chimique, Les résultats quantitatifs sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  erreur standard. Les représentations graphiques ont été générées à l'aide du logiciel Excel, tandis que les valeurs d'IC<sub>50</sub> et d'A<sub>0,5</sub> ont été déterminées graphiquement via le logiciel GraphPad Prism. De plus, une comparaison statistique des moyennes des différents extraits étudiés a été réalisée à l'aide du test t de Student (pour des comparaisons appariées ou non appariées, selon la nature des données), implémenté dans le logiciel SPSS (version 20).

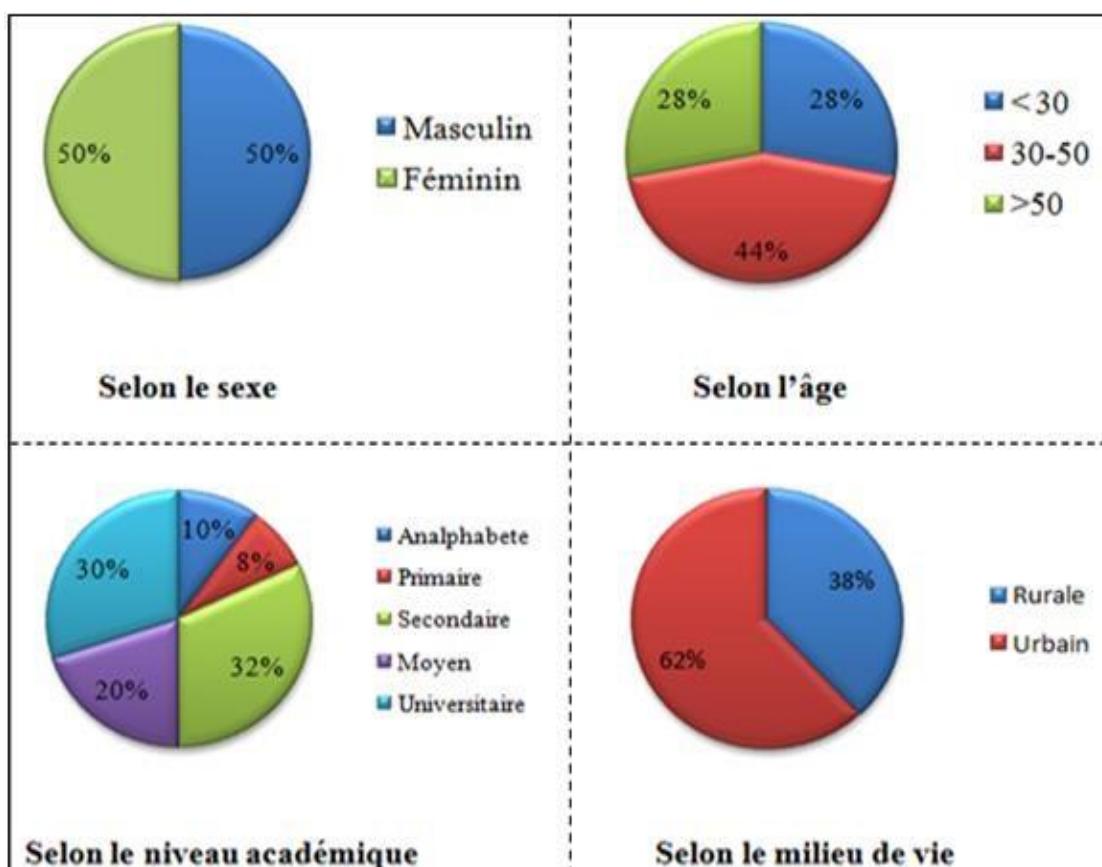


*Résultats et discussion*

## 1. Enquête ethnobotanique

### 1.1. Description de la population étudiée

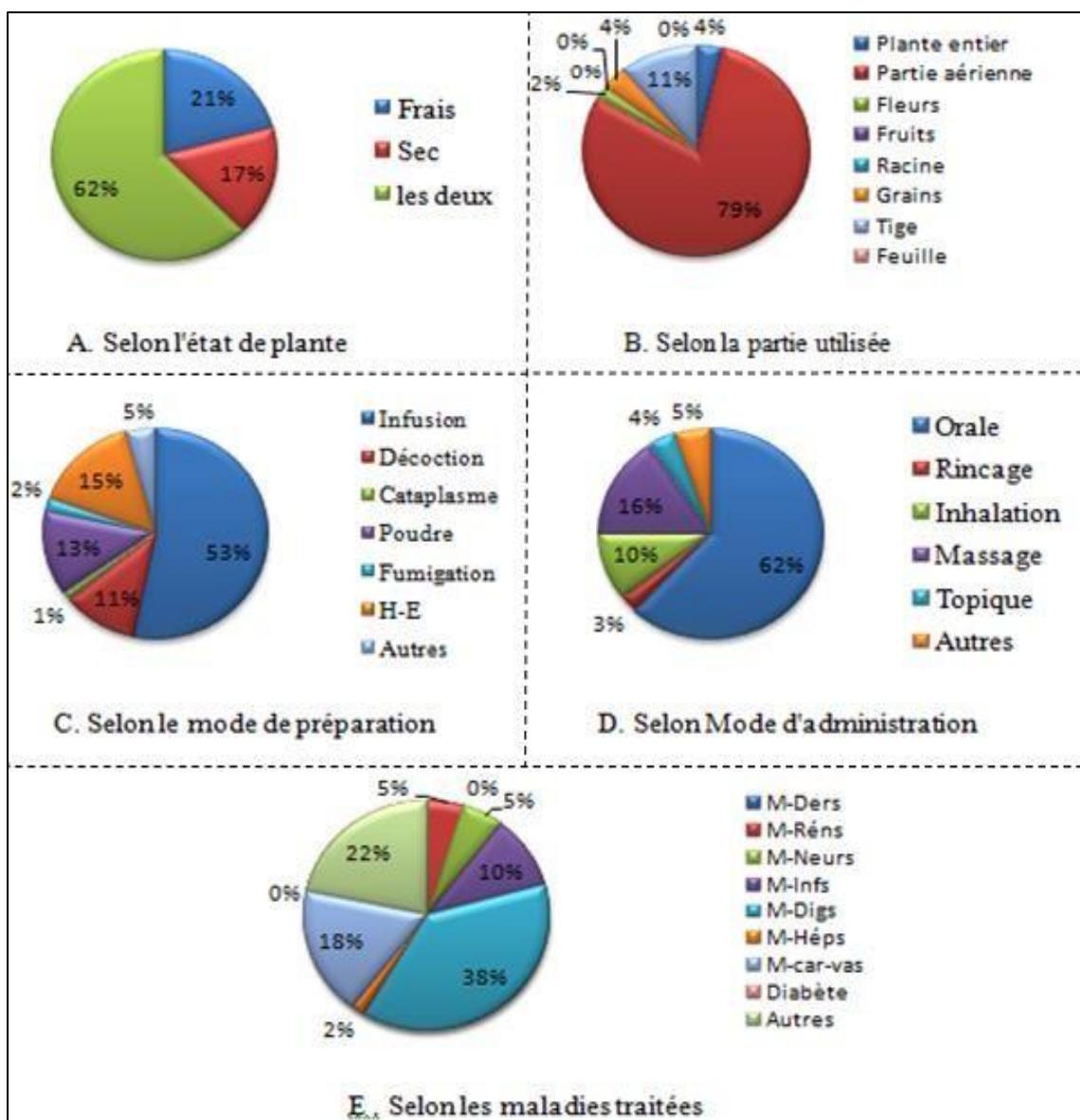
L'étude ethnobotanique menée auprès d'un échantillon de cinquante individus résidant dans la Daïra de ZIGHOUD Youcef, wilaya de Constantine, présente une distribution par sexe équilibrée, avec une représentation égale des hommes et des femmes (50% chacun). L'analyse du profil démographique révèle une prédominance significative de la tranche d'âge adulte (30-50 ans), constituant 44% de l'échantillon. Les groupes d'âge plus jeunes (moins de 30 ans) et plus âgés (plus de 50 ans) représentent chacun une proportion identique de 28%. La diversité des niveaux d'instruction est un aspect notable de la population étudiée, reflétant un spectre allant de l'analphabétisme (10%) aux études primaires (20%), secondaires (32%) et supérieures (30%). En termes de milieu de résidence, l'étude met en évidence une majorité de participants issus de zones urbaines (62%), tandis qu'une proportion substantielle réside en zones rurales (38%), soulignant l'hétérogénéité socio-spatiale de la population examinée. Les résultats obtenus sont illustrés sous forme de diagrammes circulaires dans la figure 19.



**Figure 19.** Les proportions de population selon le sexe, l'âge, niveau académique et le milieu de vie.

## 1.2. Description de la plante étudiée

Une enquête ethnobotanique, dont les données sont présentées dans la figure 20, a été réalisée afin d'inventorier les différentes utilisations de la menthe par les populations locales dans le cadre de leur approche traditionnelle de traitement diverses maladies. Cette démarche a permis de rassembler des informations concrètes concernant les parties de la plante utilisée, les méthodes de préparation et d'administration, ainsi que les troubles pour lesquelles la menthe est traditionnellement employée.



**Figure 20.** Les proportions de population : (A) l'état de la plante, (B) la partie utilisée, (C) mode de préparation, (D) mode d'administration et (E) les maladies traitées.

### **1.2.1. Selon l'état de la plante**

La figure (20.A) analyse la distribution de l'état de la plante (frais, sec, ou les deux) privilégié par la population étudiée. Les résultats mettent en évidence une préférence marquée pour l'utilisation combinée des deux états ("les deux"), représentant(62 %)de l'ensemble des usages recensés. Cette observation est particulièrement pertinente car elle pourrait suggérer une optimisation des pratiques en fonction des propriétés spécifiques ou de la disponibilité des formes fraîche et sèche, voire même refléter une croyance en une synergie de leurs effets. L'utilisation de la plante à l'état frais seul (21%) ou sec seul (17%) est significativement moins fréquente, soulignant ainsi la tendance dominante au sein de l'échantillon étudié à exploiter simultanément les deux formes.

### **1.2.2. Selon la partie utilisée**

L'examen des données présentées à la figure (20.B), concernant la partie de la plante utilisée, révèle une prédominance significative de la partie aérienne, représentant (79%). Cette prépondérance est fréquemment corrélée à la forte concentration en composés actifs que l'on retrouve dans les feuilles et les fleurs. Dans le cadre de cette analyse, la tige se positionne en deuxième lieu, avec un pourcentage de (12 %). L'emploi de la plante entière (4 %) et des grains (2 %) constitue une part négligeable, tandis que l'utilisation d'autres parties spécifiques telles que les fleurs, les fruits ou les racines demeure marginale. Cette approche témoigne d'une connaissance empirique ancrée dans la tradition, privilégiant l'utilisation des parties de la plante perçues comme les plus efficaces ou les plus aisément accessibles pour la préparation et l'usage.

### **1.2.3. Selon le mode de préparation**

Selon la figure (20.C), l'analyse des modes de préparation révèle une nette prédominance de l'infusion, adoptée par (53%) de la population étudiée. Cette méthode, privilégiée pour l'extraction des principes hydrosolubles des parties aériennes, est fréquemment associée à une administration par voie orale. Viennent ensuite les préparations à base d'huile essentielle (HE) avec(15 %), suivies de la poudre (13 %) et de la décoction (11 %), cette dernière suggérant une nécessité d'extraction plus poussée des composés. Les autres modes d'utilisation, tels que le cataplasme ou la fumigation, ne représentent qu'une faible part des pratiques recensées, soulignant une préférence marquée pour les préparations aqueuses destinées à la consommation orale.

#### **1.2.4. Selon le mode d'administration**

Les données présentées à la Figure (20.D) mettent en lumière la prévalence de l'administration orale comme principale voie d'utilisation de la plante, avec (62 %) des cas. Cette forte proportion s'explique principalement par la nature des usages thérapeutiques souvent recherchés, en particulier pour traiter les affections internes. Le massage (16 %) se positionne comme la deuxième voie d'administration la plus courante, suivi de l'inhalation (10 %). D'autres modes d'administration, tels que le rinçage ou l'application topique, sont moins répandus mais témoignent d'une diversité des pratiques, potentiellement adaptées à des conditions spécifiques.

#### **1.2.5. Selon les maladies traitées**

À travers l'analyse des résultats présentés dans la figure (20.E), il ressort que l'usage principal de la menthe est le traitement des maladies digestives (38%), ce qui est cohérent avec ses propriétés apaisantes connues (les ballonnements, les douleurs abdominales et les indigestions). Son utilisation pour les problèmes cardiovasculaires (18%) est un résultat intéressant et mérite d'être étudié plus en profondeur. L'utilisation de la menthe pour les affections cutanées (dermatologiques), neurologiques et inflammatoires est moins fréquente (05-10%). L'absence d'utilisation de la menthe dans le cas des maladies rénales et le diabète (00%) est un résultat important qui souligne la nécessité de ne pas attribuer à la menthe des propriétés curatives qu'elle ne possède pas. Ces maladies nécessitent une prise en charge médicale appropriée. Enfin, (22%) des personnes interrogées déclarent utiliser la menthe pour soigner d'autres maladies, ce qui suggère une variété d'utilisations traditionnelles de la menthe qui n'ont pas été spécifiquement identifiées dans l'enquête. Il s'agit notamment de remèdes maison pour les troubles respiratoires, les douleurs musculaires....

Malgré la taille modeste de la population étudiée, qui se limite à cinquante individus, il a néanmoins été possible de recueillir de nombreuses informations pertinentes concernant les usages traditionnels de la menthe par les populations locales dans le traitement de diverses affections. Les données recueillies, relatives aux parties de la plante utilisées, aux méthodes de préparation et d'administration, ainsi qu'aux maladies traitées, constituent une source précieuse de savoir ethno-pharmacologique local. Ces résultats pourraient avoir des implications notables dans le domaine de la recherche de nouvelles sources de médicaments, ainsi que dans la valorisation des connaissances traditionnelles.

Pour mieux appréhender ces résultats, il serait utile de s'appuyer sur les conclusions d'études similaires menées dans d'autres régions d'Algérie ou dans des cultures proches. À titre d'illustration, une étude menée par Souilah *et al.* (2022) a exploré les usages traditionnels des plantes médicinales dans la région de Skikda, révélant une grande variété de connaissances sur les espèces locales et leurs applications thérapeutiques. De même, une recherche entreprise par Bentabet *et al.* (2022) a étudié les savoirs ethno-pharmacologiques associés aux plantes utilisées pour traiter les affections dermatologiques dans la région d'Aïn Témouchent, soulignant l'efficacité de certaines espèces pour ce type de maladies. Enfin, une étude comparative réalisée par Belhouala *et al.* (2021) a analysé les pratiques ethnobotaniques liées aux plantes médicinales dans diverses régions d'Algérie, soulignant les similarités et les différences régionales.

## **2. Extraction d'HE**

### **2.1. Détermination de rendement**

L'HE a été extraite des feuilles de menthe par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, à partir de 150 g de matière végétale fraîche. L'huile obtenue se distinguait par une couleur vert clair et une odeur fraîche et caractéristique de la menthe. Un volume total de 0,3 mL a été recueilli, correspondant à un faible rendement en HE de 0,06 % (v/m), calculé sur la base de la masse initiale de la matière végétale fraîche utilisée.

Ce faible rendement pourrait s'expliquer par une combinaison de facteurs tels que la variété de menthe (*M. spicata*), des conditions de culture potentiellement défavorables (nature du sol, exposition solaire, irrigation), un stade de récolte non optimal, et possiblement des paramètres d'extraction qui n'ont pas été entièrement optimisés (durée, température). Des études récentes soulignent la complexité inhérente à la maximisation du rendement en huile essentielle chez les espèces de *Mentha*.



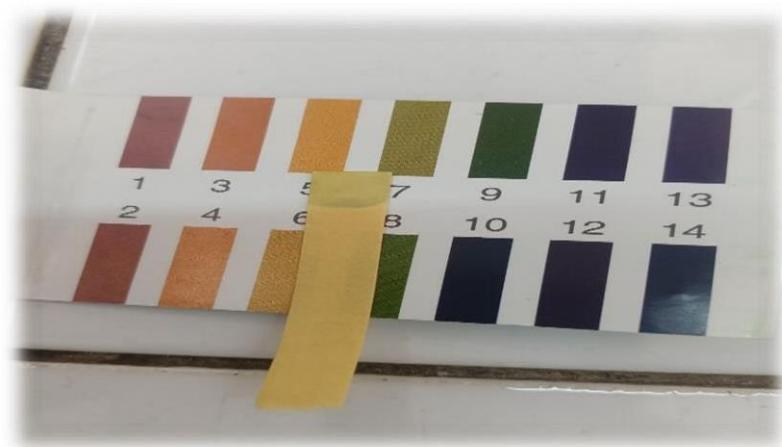
**Figure 21.** Le rendement d'extraction.

À cet égard, l'étude de Yeşil et Özcan (2018) a mis en évidence l'influence significative de multiples facteurs interconnectés sur le rendement en HE chez les espèces de *Mentha*. Leur recherche, menée sur différentes espèces cultivées en Turquie (*Mentha piperita*, *Mentha spicata*, et *Mentha longifolia*), a démontré des variations considérables de rendement entre les espèces, mais également au sein des mêmes espèces en fonction des conditions de culture et du nombre de récoltes. De plus, l'importance cruciale du stade de récolte sur le rendement et la composition de l'HE a été réaffirmée par des travaux récents. Une étude menée sur *Mentha arvensis* en Inde par Kumar *et al.* (2024) a démontré que le rendement en huile et la teneur en menthol variaient considérablement en fonction du stade de croissance et des pratiques d'irrigation.

## **2.2. Caractères physicochimiques**

### **2.2.1. Détermination de potentiel d'Hydrogène (pH)**

Le pH de l'HE de *M. spicata*, déterminé à l'aide de papier pH, a été estimé à environ 6, suggérant une légère acidité. Cette acidité mesurée ( $\text{pH} \approx 6$ ) d'HE de *M. spicata* ne s'explique probablement pas par ses composants majeurs non acides (carvone, limonène). Selon Laggoune *et al.* (2016), des constituants mineurs avec des groupements acides (acides carboxyliques) ou des traces de métabolites secondaires/produits de dégradation pourraient être responsables de cette acidité. La complexité de l'huile rend l'attribution à un seul composant difficile.



**Figure 22.** Détermination du pH.

### 2.2.2. Détermination de la densité

À l'aide de la formule décrite dans le chapitre précédent, la densité d'HE de *M. spicata* a été déterminée à 0,333 g/cm<sup>3</sup>. Cette valeur est nettement inférieure à celle de l'eau (1 g/cm<sup>3</sup> à 4°C), ce qui confirme que l'HE est moins dense et hydrophobe, en accord avec sa composition majoritairement organique et lipophile. Elle est principalement constituée de composés volatils à faible masse molaire, notamment des monoterpènes et des cétones, tels que la carvone, son principal constituant.

Zarith *et al.* (2018) expliquent que cette faible densité est due à la prédominance des hydrocarbures terpéniques et de leurs dérivés oxygénés dans la composition des HEs. Ces composés ont généralement des masses moléculaires plus faibles et des interactions intermoléculaires moins fortes que l'eau, ce qui se traduit par une densité inférieure. Bien que cette revue ne se concentre pas spécifiquement sur *M. spicata*, elle fournit un contexte général solide pour comprendre pourquoi la densité de son HE est inférieure à celle de l'eau.

## 3. Les activités biologiques

### 3.1. Activités antioxydants

Des travaux récents ont mis en évidence que les résultats relatifs à l'évaluation de l'activité antioxydante d'un composé peuvent varier en fonction de la méthode analytique employée. Par conséquent, afin d'obtenir une estimation plus fiable et complète du potentiel antioxydant d'un extrait végétal, il est recommandé de recourir à au moins deux techniques complémentaires. Dans cette optique, notre choix s'est porté sur deux méthodes couramment utilisées et reconnues pour leur sensibilité et leur simplicité : le test DPPH (2,2-diphényl-1-

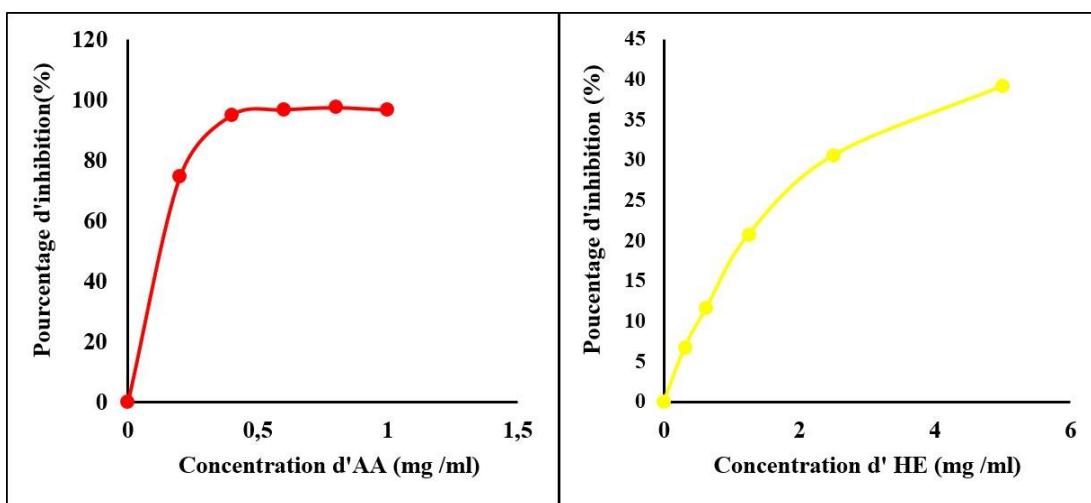
picrylhydrazyl) et le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), dont les principes reposent sur un changement de couleur proportionnel à l'activité antioxydante de l'échantillon analysé (Bangou, 2012).

### **3.1.1. Test de DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl)**

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits naturels, et plus particulièrement des HEs, constitue une étape cruciale pour déterminer leur potentiel d'application dans divers domaines, notamment pharmaceutique, cosmétique et alimentaire. Dans le cadre de la présente étude, l'activité antiradicalaire de l'HE de *M. spicata* (Menthe verte) a été évaluée *in vitro* en utilisant la méthode spectrophotométrique de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl). Cette approche, largement reconnue et décrite par Brand-Williams *et al.* (1994), est couramment employée pour sa simplicité, sa rapidité et sa capacité à évaluer la capacité d'un échantillon à neutraliser les radicaux libres en cédant des atomes d'hydrogène ou des électrons.

L'analyse de la figure 23 met en évidence une relation dose-réponse qui révèle une augmentation graduelle et directement proportionnelle du pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration croissante en HE. Ce comportement, caractéristique des composés antioxydants, suggère une interaction directe entre les constituants actifs de l'huile et le radical libre.

Le même comportement a été observé avec l'antioxydant de référence, l'AA (figure 23). Cependant, une stabilisation de la valeur d'inhibition a été notée malgré l'augmentation de la concentration. Plus précisément, à des concentrations plus élevées, nous avons observé un plateau, indiquant un possible effet de saturation où l'ajout d'une quantité supérieure d'AA n'entraînait plus d'augmentation significative de l'inhibition.



**Figure 23.** Pourcentages d'inhibition du radical DPPH• d'HE de *M. spicata* et d'AA.

Pour mieux comprendre le pouvoir antioxydant de notre HE, nous avons déterminé la valeur d'IC 50 µg /ml qui est définie comme étant la concentration de l'extrait antioxydant nécessaire pour inhiber et réduire 50% du radical DPPH•. Dont les valeurs d'IC 50 calculées, nous a permis d'évaluer et comparer l'efficacité d'HE plus la valeur est petite, plus l'activité antioxydant à piéger les radicaux libres est élevée. Les valeurs d'IC 50 des différents extraits, sont illustrées dans le tableau 07.

**Tableau 07.** DPPH IC 50 d'HE et AA.

Echantillon	DPPH IC 50 (µg/ml)
HE	367,20 ± 2,11
AA	35,40 ± 0,48

Les résultats obtenus mettent en évidence que l'HE de *M. spicata* présente une activité antioxydante notable, avec une IC 50 de  $367,20 \pm 2,11$  µg/mL. Néanmoins, en comparaison avec l'AA (vitamine C), un antioxydant de référence hydrosoluble et puissant dont l'IC 50 a été déterminé à  $35,40 \pm 0,48$  µg/mL dans des conditions expérimentales identiques, l'activité antioxydante d'HE de *M. spicata* s'avère environ dix fois inférieure dans le cadre de ce test spécifique. Il convient de mentionner que des recherches antérieures ont révélé une variabilité de l'activité antioxydante d'HE de *M. spicata*, influencée par l'origine géographique et les conditions de culture (Anwar *et al.*, 2010). Les valeurs d'IC 50 pour le DPPH rapportées dans ces études se situent généralement dans une fourchette comparable, voire supérieure aux

résultats obtenus, ce qui conforte la cohérence des observations pour cette espèce (Mohammed *et al.*, 2017).

Afin de corroborer ces résultats, un test de Student (t-test) a été réalisé en se basant sur les valeurs enregistrées de l'IC50 pour l'extrait étudié (HE) et l'AA. Cet outil statistique permet de comparer les moyennes de deux groupes et d'évaluer si la différence observée entre elles est statistiquement significative, écartant ainsi l'hypothèse d'une fluctuation due au simple hasard de l'échantillonnage. En d'autres termes, il sert à déterminer si les groupes étudiés présentent une réelle divergence au regard des données analysées.

Le test d'homogénéité des variances (test de Levene) révèle une statistique F de 7,357 (Sig. = 0,053), ce qui indique une égalité des variances des deux groupes (tableau 08).

Les résultats du t-test pour échantillons indépendants indiquent une différence statistiquement très significative entre les moyennes des deux groupes comparés, à savoir l'extrait HE et l'AA ( $p < 0,001$ ).

**Tableau 08.** Comparaison des Moyennes d'IC50 par t-test Indépendant.

		Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
		F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
IC50	Hypothèse de variances égales	7,357	,053	-265,090	4	,000

Néanmoins, une analyse comparative d'HE de *M. spicata* avec d'autres HEs révèle une activité significative (IC 50 =  $367,20 \pm 2,11 \mu\text{g/mL}$ ). En effet, l'efficacité de cette huile est supérieure à celle de *M. pulegium* d'Algérie (IC 50 = 29,4 mg/mL), et significativement supérieure à l'activité des huiles de *M. pulegium* et de *M. piperita* du Maroc, dont les IC 50 s'établissent respectivement à 4,8 et 6,4 mg/mL (Ou-Yahia, 2015 ; Achiri, 2018).

Il est crucial de souligner, avec une perspicacité scientifique avérée, que le potentiel antioxydant observé pour l'HE de *M. spicata* résulte probablement d'une interaction complexe entre ses multiples composés. La richesse de cette huile en monoterpènes, notamment la carvone et le limonène, combinée à la présence de composés phénoliques et de flavonoïdes (bien que généralement en concentrations moindres que les monoterpènes, comme le soulignent Bardaweel *et al.*, 2018), offre un terrain fertile pour des interactions moléculaires bénéfiques. Les recherches menées par Heim *et al.* (2002) ont permis de mettre

en évidence le rôle crucial des groupements hydroxyle des composés phénoliques et des flavonoïdes dans la neutralisation des radicaux libres. Ces résultats, corroborés par les travaux de Yang *et al.* (2020), qui ont démontré les propriétés antioxydantes de certains monoterpènes via divers mécanismes, suggèrent une interaction synergique entre ces composés, aboutissant à un effet global résultant d'une action concertée.

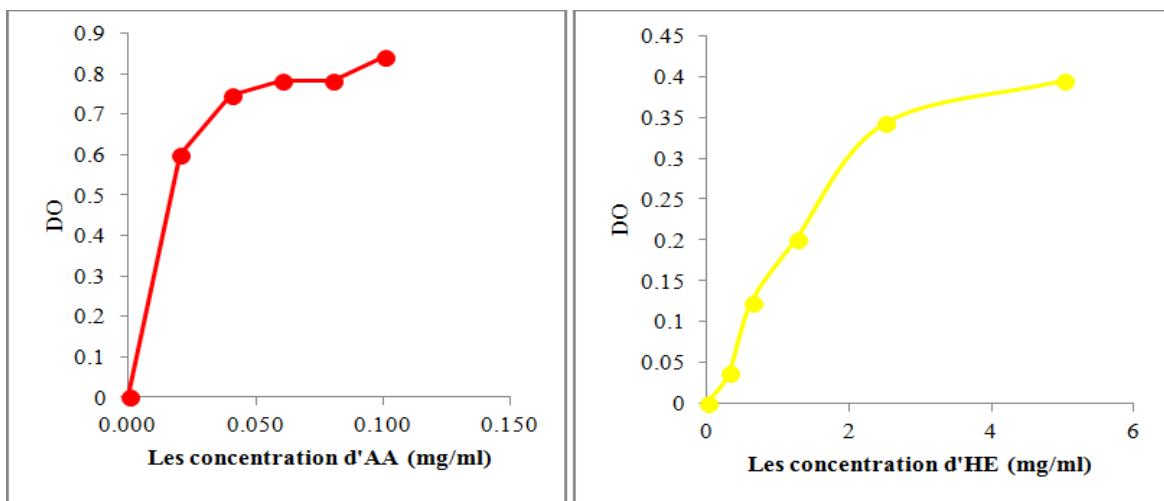
Cette capacité antioxydante confère indéniablement aux HE de menthe, et en particulier à celle de *M. spicata* étudiée, un intérêt considérable pour des applications prometteuses. Que ce soit dans le domaine de la conservation des aliments, où elle pourrait jouer un rôle dans la prévention du rancissement, ou même dans la sphère de la lutte contre le vieillissement cellulaire humain, son potentiel mérite d'être exploré plus avant (Diop *et al.*, 2021).

### **3.1.2. Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)**

La présente étude avait pour objectif d'évaluer le pouvoir réducteur d'HE étudiée au moyen du test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Ce test permet d'évaluer la capacité des composés à réduire les ions ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Le test FRAP présente plusieurs avantages : il est peu coûteux, les réactifs nécessaires à sa réalisation sont simples à préparer, les résultats obtenus sont hautement reproductibles et la procédure est simple et rapide. Le test FRAP (pour Ferric Reducing Antioxidant Power) est un indicateur potentiel du potentiel antioxydant, ou réducteur, des fluides biologiques. Cette technologie est à la portée de tous les laboratoires et chercheurs intéressés par le stress oxydatif et ses effets, comme l'ont démontré Benzie et Strain en 1996. Dans le cadre de notre étude, l'acide ascorbique a été sélectionné comme contrôle positif. Cette décision a été motivée par les preuves scientifiques solides concernant les propriétés antioxydantes de ce composé. Notre objectif était d'assurer une comparaison pertinente entre les effets de l'AA et ceux d'HE étudié.

Les résultats du test FRAP pour l'HE et l'AA ont révélé une augmentation progressive des valeurs d'absorbance (DO) en fonction de la concentration, mettant en évidence une relation proportionnelle dose-réponse claire pour les deux substances (Figure 24). Pour l'HE, les concentrations testées s'échelonnaient 0,312 à 5 mg/mL, avec des valeurs d'absorbance correspondantes comprises entre 0,037 et 0,394. La valeur A<sub>0,5</sub>, représentant la concentration nécessaire pour atteindre 50 % de l'activité maximale, a été calculée à  $223,214 \pm 0,622$  µg/mL. La valeur A<sub>0,5</sub> (ou parfois notée EC 50 dans un contexte plus général d'activité

biologique) représente la concentration d'un antioxydant nécessaire pour atteindre 50 % de son activité antioxydante maximale mesurée dans l'essai (Benzie et Strain, 1996).



**Figure 24.** Réduction du fer par HE de *M. spicata* et l'AA.

En revanche, l'AA démontré un pouvoir réducteur significatif à des concentrations nettement inférieures. Les concentrations testées ont été déterminées dans une plage allant de 0,02 à 0,1 mg/mL, avec des valeurs d'absorbance s'étendant de 0,598 à 0,841. Il est à noter que la concentration la plus faible éprouvée pour l'AA (0,02 µg/mL) a engendré une absorption (0,598) nettement supérieure à celle constatée à la concentration maximale d'HE (0,394 à 5 mg/mL). Dans la présente étude, il a été enregistré que la valeur de l'A 0,5 de l'AA était estimée à une concentration inférieure à  $3,571 \pm 0,018$  µg/mL. Cette observation suggère que l'AA présente une efficacité antioxydante élevée, même à des concentrations très faibles.

Afin d'étayer ces résultats, nous avons eu recours à l'application du t-test en nous fondant sur les valeurs enregistrées de l'A0,5 pour l'extrait étudié (HE) et l'AA .

Le test d'homoscédasticité, également connu sous le nom de test de Levene, a révélé une statistique F de 13,463, avec un niveau de signification de 0,021. Cette valeur indique une hétéroscédasticité, c'est-à-dire une inégalité des variances, entre les deux groupes étudiés.

Les analyses statistiques des données du t-test pour des échantillons indépendants dégagent une différence statistiquement très significative entre les moyennes des deux groupes comparés, à savoir l'extrait HE et l'AA ( $p < 0,001$ ). Tableau 09.

**Tableau 09.** Comparaison des Moyennes d'A0.5 par t-test Indépendant.

	Test de Levene sur l'égalité des variances		Test t pour égalité des moyennes		
	F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)
A0.5 Hypothèse de variances inégales	13.463	,021	-610,968	2.003	,000

Ces résultats suggèrent que l'AA présente une capacité de réduction très élevée et semble offrir une efficacité supérieure à celle de l'HE, à masse équivalente, dans le cadre du test FRAP. L'activité antioxydante remarquable des HEs peut être attribuée à leur composition chimique complexe, riche en composés tels que les phénols, les terpènes et leurs dérivés. Ces substances possèdent des structures chimiques leur permettant de donner des électrons ou des atomes d'hydrogène, neutralisant ainsi les radicaux libres ou réduisant des espèces oxydées telles que  $\text{Fe}^{3+}$  (Pourmorad *et al.*, 2006). Si des composés phénoliques sont présents en quantité suffisante dans l'HE étudiée, ils pourraient être principalement responsables de cette activité marquée (Carocho et Ferreira, 2013).

Par conséquent, les antioxydants sont considérés comme des réducteurs et inactivateurs des oxydants Siddhuraju et Becker 2007. Quelques études antérieures ont également montré que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle (Bougandoura et Bendimerad 2012).

### 3.2. Activité antibactérienne

Suite à l'évaluation de son activité antioxydante, l'activité antimicrobienne d'HE de *M. spicata* a également été examinée *in vitro*. Cette expérimentation a été menée en utilisant la méthode de diffusion sur gélose en puits, une technique couramment employée pour déterminer l'efficacité d'un agent antimicrobien sur la croissance bactérienne. Les résultats sont exprimés par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition (ZI) qui se forme autour des puits contenant différentes concentrations de l'HE. Le diamètre de la ZI ainsi mesuré reflète la sensibilité de la souche bactérienne à l'agent testé : une ZI plus étendue témoigne d'une efficacité accrue.

Dans cette étude, l'activité d'HE de *M. spicata* a été évaluée à des concentrations de 25 %, 50%, 75 % et 100 %. Afin de valider la méthodologie, des contrôles ont été mis en place. Le diméthylsulfoxyde (DMSO) a été utilisé comme contrôle négatif pour vérifier l'absence d'activité intrinsèque du solvant. De plus, un antibiotique de référence, l'Augmentin (à raison

de 50 µL par puits), a servi de contrôle positif, confirmant ainsi la viabilité et la sensibilité des souches bactériennes dans des conditions expérimentales optimales. Les résultats obtenus, présentés sous forme de moyenne ± écart type du diamètre des zones d'inhibition (ZI), sont répertoriés dans le tableau 10.

**Tableau 10.** Diamètres des zones d'inhibition (en mm) induites par l'HE de *M. spicata* à différentes concentrations contre trois souches bactériennes.

Souche	Concentration (%)	Zone d'inhibition (mm)	DMSO témoin négatif (50µL/puits)	Augmentin (50µL/puits)
<i>E.coli</i>	100	0,0 ± 0,00	-	10 ± 0,00
	75	0,0 ± 0,00		
	50	0,0 ± 0,00		
	25	0,0 ± 0,00		
<i>S.aureus</i>	100	27 ± 2,56	-	40 ± 0,00
	75	22 ± 1		
	50	15 ± 1		
	25	7 ± 0,6		
<i>B.sp</i>	100	21 ± 3	-	40 ± 0,00
	75	15 ± 2		
	50	13 ± 1		
	25	8 ± 1		

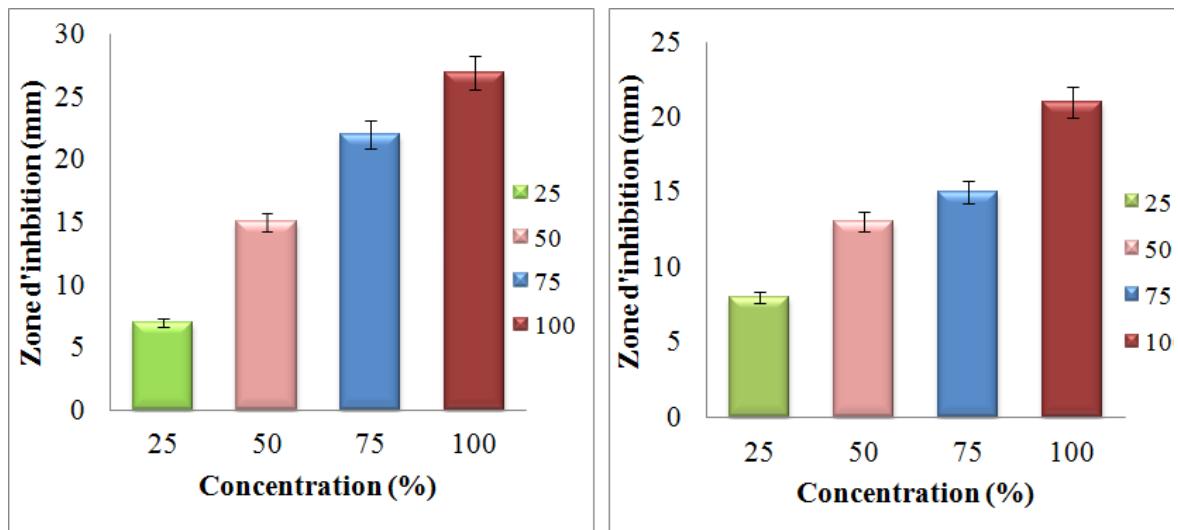
L'analyse des résultats obtenus (Figure 25 et Tableau 10) révèle une activité antibactérienne sélective d'HE de *M. spicata*. En effet, l'HE s'est avérée inactive contre la bactérie Gram-négative *E.coli*, pour laquelle aucune zone d'inhibition (ZI = 0,00 ± 0,000 mm) n'a été détectée, quelle que soit la concentration testée (de 25 % à 100 %). Ce résultat contraste nettement avec l'efficacité significative observée pour le contrôle positif (Augmentin, ZI = 10,00 ± 0,00 mm), d'une part.

D'autre part, une activité notable et dose-dépendante a été observée concernant les souches Gram-positives, notamment *S . aureus* et *B. sp*. En effet, les diamètres des zones d'inhibition ont augmenté de manière proportionnelle à la concentration d'HE (voir Figure 25). Ces diamètres ont atteint des valeurs maximales de 27,00 ± 2,65 mm pour *S. aureus* et de 21,00 ± 3,00 mm pour *B. sp*. À la concentration de 100 %. Bien que cette activité demeure inférieure à celle de l'antibiotique de référence (Augmentin, ZI = 40,00 ± 0.00 mm), l'effet dose-dépendant clairement observé et les zones d'inhibition mesurables confirment un potentiel antibactérien significatif de l'HE contre ces souches Gram-positif.

Cette différence marquée de sensibilité des bactéries testées à l'HE de *M. spicata*, avec une activité ciblée sur les Gram-positifs et une absence d'effet sur les Gram-négatifs, est un phénomène largement rapporté dans la littérature scientifique concernant les extraits végétaux et les huiles essentielles (Mnayer, 2014). Cette sélectivité est principalement attribuée aux différences structurelles fondamentales de leurs parois cellulaires. Les bactéries Gram-négatif possèdent une membrane externe complexe, riche en lipopolysaccharides, qui agit comme une barrière de perméabilité efficace, limitant la diffusion des composés hydrophobes des HEs vers leurs sites d'action intracellulaires. En revanche, les bactéries Gram-positif, dépourvues de cette membrane externe protectrice, sont généralement plus perméables aux composés bioactifs (Poli, 2018). Nos résultats concordent avec les observations de Tajkarimi et Salam (2011), qui ont mis en évidence une forte activité antibactérienne de l'HE de *M. spicata* contre plusieurs souches bactériennes tel que *S. aureus*, *Listeria monocytogenes* et *B. cereus*.... Par ailleurs, Dhifi *et al.* (2013) ont établi des conclusions concordantes, démontrant l'efficacité d'HE de *M. spicata* (chémotype menthone/pulégone) contre les bactéries Gram positif, notamment *S. aureus* et *S. epidermidis*.

L'effet dose-dépendant observé est caractéristique du mode d'action de nombreux agents antimicrobiens. La puissance inférieure de l'HE comparativement à l'Augmentin peut s'expliquer par sa nature de mélange complexe, où les composés actifs sont présents en concentrations relatives plus faibles et peuvent potentiellement interagir entre eux (Cartier Loy, 2015). L'activité démontrée contre *S. aureus* et *B. sp.* revêt une pertinence clinique considérable, étant donné le rôle pathogène bien établi de ces espèces bactériennes.

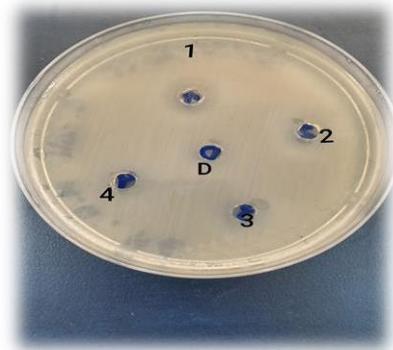
En général, il est communément admis que la propriété antibactérienne des huiles essentielles trouve son origine dans le pourcentage de terpènes et d'aldécols (Ait-Ouazzou *et al.*, 2012). Des recherches antérieures ont révélé que le 1,8-cinéole et le limonène (Snoussi *et al.*, 2015), ainsi que l'oxyde de cis-carvone (Božović *et al.*, 2015), présentaient des propriétés antibactériennes. En outre, Zaidi et Dahiya (2015) ont rapporté que l'activité antibactérienne de l'huile essentielle des espèces de menthe est attribuable à la présence de composés phénoliques et d'alcaloïdes. Les industries alimentaires et cosmétiques préfèrent les agents antimicrobiens et les antioxydants naturels pour leurs avantages potentiels par rapport à leurs équivalents chimiques. En raison de leur nature volatile, les HEs sont étudiées pour la prévention et le traitement des maladies. On peut donc conclure que l'HE de l'espèce *M. spicata* peut constituer une bonne source d'agents antimicrobiens naturels.



**Figure 25.** Activité antibactérienne de L'HE de *M. spicata* évaluée par les zones d'inhibition moyennes sur deux souches bactérienne.



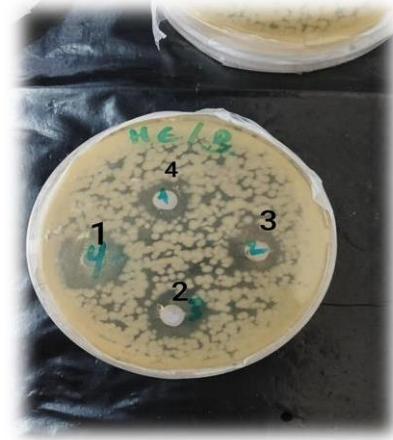
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figure 26.** Les diamètres des ZIs de différentes bactéries et DMSO (D) et ATB(Augmentin)  
( a : ATB ; E.coli. c: *Staphylococcus aureus*. d: *Bacillus sp* . 1 : 100 % , 2 :75% , 3 :50 % , 4 : 25% )



*Conclusion et perspectives*

Le règne végétal représente une source inestimable de composés naturels, largement exploités dans les secteurs de la nutrition, de l'hygiène et de la santé. *Mentha spicata*, une plante médicinale de premier plan, se distingue par ses propriétés thérapeutiques, aromatiques et nutritionnelles considérables, directement corrélées à la richesse et à la diversité de ses constituants bioactifs. L'extraction des huiles essentielles de ces végétaux, et notamment de *M. spicata*, suscite un intérêt croissant au sein de la recherche scientifique en vue du développement de nouvelles solutions naturelles à haute valeur ajoutée pour divers domaines d'application et de la mitigation des effets secondaires associés aux molécules de synthèse en santé humaine.

Notre travail s'est focalisé sur l'évaluation du potentiel antioxydant et antibactérien de l'HE de *M. spicata*.

En premier lieu, l'étude ethnobotanique menée dans la région de ZIGHOUD Youcef (Constantine) révèle un profil démographique varié de la population étudiée et met en évidence des pratiques traditionnelles bien ancrées concernant l'utilisation de la menthe pour traiter divers maux, avec une emphase sur les préparations par infusion et l'administration orale pour les troubles digestifs, tout en soulignant une utilisation judicieuse des différentes formes de la plante.

Cette étude nous montre comment nos ancêtres utilisaient les plantes de leur environnement pour se soigner. Elle souligne l'importance de la menthe, une plante simple, pour soulager des maux courants comme les problèmes de digestion. Remarquez qu'ils utilisaient différentes parties de la plante et différentes manières de la préparer, ce qui indique une compréhension fine de ses propriétés. C'est un exemple de savoir traditionnel précieux qui peut inspirer la recherche de nouvelles solutions naturelles pour notre santé aujourd'hui.

L'hydrodistillation des feuilles de *Mentha spicata* a permis d'extraire une huile essentielle avec un faible rendement (0,06 % v/m). Cette faible efficacité d'extraction peut s'expliquer par divers facteurs intrinsèques à la plante (comme sa variété spécifique et son stade de développement) et extrinsèques (tels que les conditions de culture et les paramètres techniques de l'extraction). L'huile essentielle obtenue présente des caractéristiques physicochimiques notables : une légère acidité ( $\text{pH} \approx 6$ ) et une densité inférieure à celle de l'eau ( $0,333 \text{ g/cm}^3$ ), ce qui est cohérent avec sa composition majoritairement organique et lipophile. Ce rendement modeste souligne la complexité d'optimiser l'extraction des composés

secondaires des plantes. Des recherches approfondies sur l'influence des pratiques agricoles et des méthodes d'extraction sont essentielles pour améliorer à la fois la quantité et potentiellement la qualité de cette précieuse huile essentielle, ouvrant ainsi la voie à une meilleure valorisation de cette ressource naturelle.

Ces résultats indiquent que le potentiel antioxydant de l'huile essentielle de *Mentha spicata* est significativement moins efficace que celui de l'acide ascorbique. La divergence observée entre les résultats des tests DPPH et FRAP pourrait refléter les mécanismes d'action distincts des composés antioxydants présents dans l'huile essentielle face aux réactifs spécifiques de chaque essai.

Bien que l'effet global de cette activité soit modeste, elle pourrait résulter de l'action combinée et potentiellement synergique des divers constituants bioactifs de l'huile, tels que les monoterpènes (notamment la carvone et le limonène), ainsi que certains composés phénoliques et flavonoïdes. Ces derniers, bien que présents en concentrations généralement plus faibles, possèdent des groupements hydroxyle qui leur confèrent une aptitude à neutraliser les radicaux libres. Ainsi, malgré une efficacité inférieure à celle de l'acide ascorbique à dosage équivalent, la diversité et la richesse de ces composés confèrent à l'huile essentielle de *M. spicata* un potentiel indéniable en tant que source d'antioxydants naturels.

Les essais antimicrobiens réalisés au cours de cette étude ont mis en évidence une activité antibactérienne significative de l'huile essentielle de *Mentha spicata* à l'égard de certaines souches bactériennes. Plus précisément, une inhibition de croissance notable a été observée pour les bactéries Gram-positif *Staphylococcus aureus* et *Bacillus sp.*, tandis que l'huile essentielle s'est avérée inactive contre la souche Gram-négatif *Escherichia coli*. Cette sélectivité d'action est vraisemblablement liée à la complexité chimique de l'huile essentielle, où des composés tels que les monoterpènes et les phénols sont reconnus pour leur capacité à perturber l'intégrité des membranes cellulaires bactériennes et à entraver leurs mécanismes de reproduction.

Ces observations renforcent l'intérêt croissant des chercheurs pour l'exploration des huiles essentielles en tant qu'alternatives thérapeutiques potentielles aux antibiotiques conventionnels, particulièrement dans le contexte actuel de l'émergence et de la propagation de la résistance bactérienne.

En générale, cette étude met en lumière la richesse de *Mentha spicata* en composés bioactifs aux propriétés antioxydantes et antibactériennes, tout en soulignant l'importance du savoir ethnobotanique local. Bien que le potentiel de l'huile essentielle étudiée soit parfois modeste en comparaison avec des références pures, la complexité et la diversité de sa composition suggèrent un intérêt significatif pour de futures investigations, notamment pour identifier les composés clés et optimiser leur utilisation dans divers domaines thérapeutiques et de conservation. Les perspectives de recherche incluent l'analyse approfondie de la composition chimique, l'évaluation de la toxicité et l'étude de l'influence des conditions de culture, afin de valoriser pleinement le potentiel de cette ressource naturelle algérienne.

Les perspectives de recherche incluent l'analyse approfondie de la composition chimique (CPG/SM), l'identification des composés actifs, l'évaluation de la toxicité, la comparaison avec d'autres extraits de la plante et l'étude de l'influence des conditions de culture, afin de valoriser pleinement le potentiel de cette ressource naturelle.

Dans la perspective de ce travail, il serait pertinent d'envisager les axes de recherche suivants afin d'approfondir la compréhension et la valorisation de l'huile essentielle de *Mentha spicata* :

- Analyse chimique détaillée par CPG/SM pour identifier et quantifier les composants de l'huile essentielle.
- Isolement et évaluation des fractions pour identifier les composés responsables des activités antioxydante et antibactérienne et comprendre leurs mécanismes d'action.
- Étude de la toxicité de l'huile essentielle à différentes concentrations pour des applications thérapeutiques ou cosmétiques.
- Comparaison de l'activité biologique de l'huile essentielle avec d'autres extraits de la plante (aqueux, alcooliques) pour explorer les synergies.
- Évaluation de l'influence des conditions de culture (sol, climat, stade de récolte) sur la composition et l'efficacité de l'huile essentielle.



## *Références bibliographiques*

- A -

- Achiri, R.** (2018). *Étude chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de Mentha pulegium, Lavandula angustifolia et Verbena officinalis au niveau de la pépinière de Ain Fettouh* [Mémoire de master, Université de Tlemcen]. Faculté des Sciences, Université de Tlemcen.
- Ait-Ouazzou, A.**, Lorán, S., Arakrak, A., Laglaoui, A., Rota, C., Herrera, A., & Conchello, P. (2012). Evaluation of the chemical composition and antimicrobial activity of *Mentha pulegium*, *Juniperus phoenicea*, and *Cyperus longus* essential oils from Morocco. *Food Research International*, 45(1), 313–319.
- Ali-Shtayeh, M.**, Jamous, R., Abu-Zaitoun, S., Khasati, A., & Kalbouneh, S. (2019). Biological properties and bioactive components of *Mentha spicata* L. essential oil: Focus on potential benefits in the treatment of obesity, Alzheimer's disease, dermatophytosis, and drug-resistant infections. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019, Article 3834265.
- Anwar, F.**, Abdullah, I. H., & Muhammad, S. (2010). Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of spearmint (*Mentha spicata* L.) from Pakistan. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 22, 78–84. (Note : à vérifier si ce numéro de volume est correct, car cela semble incohérent avec l'année)

-B-

- Bakchiche, B.**, & Gherib, A. (2014). Activités antioxydantes des polyphénols extraits de plantes médicinales de la pharmacopée traditionnelle d'Algérie. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 9(1), 167.
- Bangou, M. J.** (2012). *Étude phytochimique et activités biologiques des tiges feuillées de Lantana camara L. et de Lippia chevalieri Moldenke: deux Verbenaceae du Burkina Faso* [Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou].
- Bardaweeil, S. K.**, Bakchiche, B., AlSalamat, H. A., Rezzoug, M., Gherib, A., & Flamini, G. (2018). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan Atlas. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 1–7.
- Bassolé, I. H. N.**, & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006.

- Bassolé, I. H. N., Lamien-Meda, A., Bayala, B., Tirogo, S., Franz, C., Novak, J., ... & Dicko, M. H.** (2010). Composition and antimicrobial activities of *Lippia multiflora* Moldenke, *Mentha × piperita* L. and *Ocimum basilicum* L. essential oils and their major monoterpenic alcohols alone and in combination. *Molecules*, 15(11), 7825–7839.
- Bayani, M., Ahmadi-Hamedani, M., & Javan, A. J.** (2017). Study of hypoglycemic, hypocholesterolemic and antioxidant activities of Iranian *Mentha spicata* leaves aqueous extract in diabetic rats. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 16(Suppl), 75.
- Belhouala, K., & Benarba, B.** (2021). Medicinal plants used by traditional healers in Algeria: A multiregional ethnobotanical study. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 760492.
- Benayad, N.** (2008). *Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées* [Thèse de doctorat, Université Mohammed V – Agdal].
- Benazzouz, A., & Hamdane, A.** (2012). *Étude et analyse des plantes médicinales algériennes : Mentha pulegium, Mentha rotundifolia et Mentha spicata L* [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)].
- Benedec, D., Vlase, L., Oniga, I., Mot, A. C., Silaghi-Dumitrescu, R., Hanganu, D., & Crișan, G.** (2013). LC-MS analysis and antioxidant activity of phenolic compounds from two indigenous species of *Mentha*. Note I. *Farmacia*, 61(2), 262–267.
- Bentabet, N., Rajaa, R., & Sakina, N.** (2022). Enquête ethnobotanique et inventaire des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies dermatologiques dans la ville d'Ain Témouchent. *Journal of Applied Biosciences*, 170(1), 17704–17719.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J.** (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Bessah, R., & Benyoussef, E. H.** (2015). La filière des huiles essentielles : État de l'art, impacts et enjeux socioéconomiques. *Journal of Renewable Energies*, 18(3), 513–528.
- Bougandoura, N., & Bendimerad, N.** (2013). Évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technology*, (9), 14.

- Boukhebti, H., Chaker, A. N., Belhadj, H., Sahli, F., Ramdhani, M., Laouer, H., & Harzallah, D.** (2011). Chemical composition and antibacterial activity of *Mentha pulegium* L. and *Mentha spicata* L. essential oils. *Der Pharmacia Lettre*, 3(4), 267–275.
- Bouyanya, A., Abrini, J., Bakri, Y., & Dakka, N.** (2018). Les huiles essentielles comme agents anticancéreux : Actualité sur le mode d'action. *Phytothérapie*, 16(5), 254–267.
- Božović, M., Pirolli, A., & Ragno, R.** (2015). *Mentha suaveolens* Ehrh. (Lamiaceae) essential oil and its main constituent piperitenone oxide: Biological activities and chemistry. *Molecules*, 20(5), 8605–8633.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C.** (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Bruneton, J.** (1999). *Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Édition Technique et Documentation.
- Bruneton, J.** (2016). *Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales* (5e éd.). Lavoisier.

-C-

- Carlier-Loy, P.** (2016). Étude des différentes espèces de menthe utilisées en phytothérapie et en aromathérapie : composition chimique et propriétés biologiques des huiles essentielles [Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne].
- Chemat, F., Abert Vian, M., & Zill-E-Huma.** (2009). Microwave-assisted separations: Green chemistry in action. *Molecules*, 14(11), 4577–4599.
- Chemat, F., Zill-E-Huma, & Khan, M. K.** (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835.
- Cirlini, M., Mena, P., Tassotti, M., Herrlinger, K. A., Nieman, K. M., Dall'Asta, C., & Del Rio, D.** (2016). Phenolic and volatile composition of a dry spearmint (*Mentha spicata* L.) extract. *Molecules*, 21(8), 1007.

-D-

- De Cleyn, R., & Verzele, M.** (1972). Constituents of peppers. *Chromatographia*, 5(6), 346–350.

**Degnon**, G. R., Adjou, E., Smetome, G., & Dahouenon-Ahoussi, E. (2016). Efficacité des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* et de *Mentha piperita* dans la stabilisation du lait frais de vache au sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4), 1894–1902.

**Degryse**, A. C., Delpla, I., & Voinier, M. A. (2008). *Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles* (87 p.). IGS, EHESP.

**Demars**, V. (2023). Menthe crêpue. *Hegel*, 4(4), 306–308.

**Dhifi**, W., Jelali, N., Mnif, W., Litaiem, M., & Hamdi, N. (2013). Chemical composition of the essential oil of *Mentha spicata* L. from Tunisia and its biological activities. *Journal of Food Biochemistry*, 37(3), 362–368.

**Dieng**, S. I. M., Fall, A. D., Diatta-Badji, K., Sarr, A., Sene, M., Sene, M., Mbaye, A., Diatta, W., & Bassene, E. (2017). Évaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-éthanoliques des feuilles et écorces de *Piliostigma thonningii* Schumach. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 768–776.

**Diop**, S. M., Gueye, M. T., Thiam, A., Cissokho, P. S., Sanghare, C. H., & Fauconnier, M. L. (2021). Activités antioxydante et insecticide d'huiles essentielles de *Mentha arvensis* L. du Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(3), 966–975.

-E-

**Eddaya**, T. (2015). *Gestion intégrée des ravageurs de la menthe verte (*Mentha spicata* L. ou Huds) au Centre-Sud du Maroc* [Thèse de doctorat, Université Moulay Ismail]. 285 p.

**Ekhtelat**, M., Bahrani, Z., Siahpoosh, A., & Ameri, A. (2019). Evaluation of antibacterial effects of *Mentha spicata* L., *Cuminum cyminum* L. and *Mentha longifolia* L. essential oils individually and in combination with sodium benzoate against *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 14(3), e59092.

**El Meniyiy**, N., Mrabti, H. N., El Omari, N., Bakili, A. E., Bakrim, S., Mekkaoui, M., ... & Bouyahya, A. (2022). Medicinal uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Mentha spicata*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, Article 7990508. <https://doi.org/10.1155/2022/7990508>

**Erceau**, C., & Pasquier, B. (2016). *Mentha x piperita* subsp. *piperita* – Diversité des aspects morphologiques, agronomiques et chimiques de variétés et clones collectés par le CNPMAI. [Rapport technique, CNPMAI].

**Erinoso, S. M., & Aworinde, D. O.** (2018). Current outlook and future promise of ethnobotany in Nigeria: A review and personal observation. *African Journal of Plant Science*, 12(4), 73–80. <https://doi.org/10.5897/AJPS2018.1624>

-F-

**Figueredo, G.** (2007). *Étude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (Lamiaceae) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne* [Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II].

**Filly, A.**, Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. (2014). Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: From laboratory to pilot and industrial scale. *Food Chemistry*, 150, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.139>

**Fleischhauer, S. G., Guthmann, J., & Spiegelberger, R.** (2019). *Plantes sauvages comestibles*. Ulmer.

**Fourmentin, S., & Kfouri, M.** (2024). Les huiles essentielles : renaissance d'ingrédients naturels et durables. *Technologie et Innovation*, 24(9), 1–21.

**FranceAgriMer.** (2020). *Aromadays : Production et marchés des huiles essentielles..*

**FranceAgriMer.** (2020, avril). *Marché des plantes à parfum, aromatiques et médicinales – Panorama 2018* [Édition avril 2020]

**FranceAgriMer.** (2020, janvier). *Production et marchés des huiles essentielles – Aromadays 2020.*

-G-

**Gholoum, F. A.** (2013). Antimicrobial effect of some plants and herbs. *International Journal of Engineering and Science*, 3, 20–29.

**Gueye.** (2019). *Médecine traditionnelle du Sénégal : exemples des quelques plantes médicinales de la pharmacopée sénégalaise traditionnelle.*

**Gundel, S. D. S., Reis, T. R. D., & Copetti, P. M.** (2019). Evaluation of cytotoxicity, genotoxicity and ecotoxicity of nanoemulsions containing Mancozeb and Eugenol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 207–215.

**Guy, G.** (2005). *Plantes aromatiques et huiles essentielles à Grasse : Botanique, culture, chimie, production et marchés*. L'Harmattan.

-H-

**Hajlaoui**, H., Ben Abdallah, F., Snoussi, M., Noumi, E., & Bakhrouf, A. (2010). Effect of *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia* essential oil on the morphology of four pathogenic bacteria visualized by atomic force microscopy. *African Journal of Microbiology Research*, 4, 1122–1127.

**Harshberger**, J. W. (1896). The purposes of ethnobotany. *Botanical Gazette*, 21, 146–154.

**Heim**, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002). Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure–activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)

**Hemmerlin**, A., Harwood, J. L., & Bach, T. J. (2012). A raison d'être for two distinct pathways in the early steps of plant isoprenoid biosynthesis? *Progress in Lipid Research*, 51(2), 95–148. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2011.12.001>

**Hernandez Ochoa**, L. R. (2005). *Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combiné (solvant/actif) d'origine végétale* [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse].

**Hua**, C. X., Wang, G. R., & Lei, Y. (2011). Evaluation of essential oil composition and DNA diversity of mint resources from China. *African Journal of Biotechnology*, 10(78), 16740–16745.

**Hubert**, R. (1992). *Épices et aromates*. Tec & Doc Lavoisier.

**Hüsnü Can Başer**, K., & Buchbauer, G. (2015). *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (2nd ed.). CRC Press.

**Hussain**, A. I., Anwar, F., Shahid, M., Ashraf, M., & Przybylski, R. (2010). Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of spearmint (*Mentha spicata* L.) from Pakistan. *Natural Product Communications*, 5(1), 145–150.

-I-

**International Union for Conservation of Nature**. (2003). *Programme de la biodiversité en Afrique du Nord – Phase III* [Rapport]. IUCN.

-K-

- Kapp**, K., Püssa, T., Orav, A., Roasto, M., Raal, A., Vuorela, P., Vuorela, H., & Tammela, P. (2020). Chemical composition and antibacterial effect of *Mentha* spp. grown Estonia. *Natural Product Communications*, 15(1), 1–14. <https://doi.org/10.1177/1934578X20904820>
- Karray-Bouraoui**, N., Rabhi, M., Neffati, M., Baldan, B., Ranieri, A., Marzouk, B., Lachaâl, M., & Smaoui, A. (2009). Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. *Industrial Crops and Products*, 30(2), 338–343. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.009>
- Kassahun**, B. M., Egata, D. F., Lulseged, T., Yosef, W. B., & Tadesse, S. (2014). Variability in agronomic and chemical characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) genotypes in Ethiopia. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(10), 2704–2711.
- Kee**, L. A., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2017). Bioactivity and health effects of *Mentha spicata*. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 5(1), 1–2.
- Koul**, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63–84.
- Kumar**, D., Kumar, A., Nilofer, N., Singh, A. K., Chaudhary, A., Kumar, R., ... & Singh, S. (2024). Maximizing essential oil yield and quality in menthol mint (*Mentha arvensis* L.) by reducing water requirement through deficit irrigation practices. *Agrotechniques in Industrial Crops*, 4(1), 24–37.
- Kunwar**, G., Pande, C., & Tewari, G. (2017). Essential oil composition of the aerial parts of *Mentha spicata* L. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 13(3), 353–356.

-L-

- Laggoune**, S., Öztürk, M., Erol, E., Duru, M. E., Abaza, I., Kabouche, A., & Kabouche, Z. (2016). Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the essential oil of *Mentha spicata* L. from Algeria. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(11), 4205–4213.
- Leon**, R. H. O. (2005). *Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine "solvant/actif" d'origine végétale* [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse].

- Létard, J.-C., Canard, J.-M., Costil, V., Dalbiès, P., Grunberg, B., Lapuelle, J., & Commissions nutrition et thérapies complémentaires du CREGG.** (2015). Phytothérapie – Principes généraux. *Hegel*, 5(1), 29.
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A.-S., & Chemat, F.** (2014). History, localization and chemical compositions. [Information incomplète – veuillez préciser le titre de l'article complet, la revue ou l'ouvrage, et les pages.]
- Lucchesi, M. E.** (2005). *Extraction sans solvant assistée par micro-ondes : conception et application à l'extraction des huiles essentielles* [Thèse de doctorat, Université de La Réunion, Faculté des Sciences et Technologies].

-M-

- Mahboubi, M.** (2021). *Mentha spicata L. essential oil, phytochemistry and its effectiveness in flatulence*. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 11, 75–81.
- Mahendran, G., Verma, S. K., & Rahman, L. U.** (2021). The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278, 114266. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114266>
- Makhloufi, K., & Makhlouf, S.** (2018). *Évaluation de l'activité antioxydante des extraits de Mentha spicata* [Mémoire de Master, Université Frères Mentouri Constantine 1].
- Malaisse, F.** (2004). Ressources alimentaires non conventionnelles. *Tropicultura*, 22(1), 30–36.
- Mayer, F.** (2012). *Utilisations thérapeutiques des huiles essentielles: Étude de cas en maison de retraite* [Thèse de doctorat, Université de Lorraine].
- Merabet, G.** (2018). *Huiles essentielles de trois espèces d'Eucalyptus d'Algérie : composition et activité acaricide (Varroa destructor)* [Thèse de doctorat non publiée, Faculté des Sciences Exactes, Département de Chimie, Université de Constantine 1]. (N° d'ordre: 209/Ds/2018, N° de série: 28/Ch/2018)
- Mohammed, L. M. A., Salah, T. F. M., & Qader, K. O.** (2017). Chemical composition and antifungal activity of *Mentha spicata* L. plant from Sulaimaniyah in Iraq. *Kurdistan Journal of Applied Research*, 2(1), 20–24.
- Moja, S., & Jullien, F.** (2014). Les menthes, diversité des espèces et composition chimique. *Jardins de France*, 630, 27–29.

**Moradalizadeh**, M., Samadi, N., & Rajaei, P. (2013). Comparison of hydrodistillation, microwave hydrodistillation and solvent-free microwave methods in analysis of the essential oils from aerial parts of *Haplophyllum robustum* Bge. by GC/MS method. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1, 1058–1067.

-N-

**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], 5–6.

-O-

**Önder**, A. (2018). *Coriander and its phytoconstituents for the beneficial effects*. In *Potential of Essential Oils*.

**Organisation mondiale de la santé**. (2015). *Plan d'action mondial pour combattre la résistance aux antimicrobiens*. Organisation mondiale de la santé.

**Ou-Yahia**, D. (2015). *Activités antimicrobienne et antioxydante des huiles essentielles de : Mentha piperita et Mentha pulegium* [Mémoire de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah].

**Oyaizu, M.** (1986). Studies on products of browning reaction. Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307–315.

-P-

**Paniagua-Zambrana**, N. Y., Bussmann, R. W., Echeverría, J., & Romero, C. (2020). *Mentha × piperita* L., *Mentha spicata* L., *Mentha suaveolens* Ehrh. (Lamiaceae). In *Ethnobotany of the Andes* (pp. 1–11). Springer.

**Patel**, R. P., Singh, R., Saikia, S. K., Rao, B. R. R., Sastry, K. P., Zaim, M., Lal, R. K. (2015). Phenotypic characterization and stability analysis for biomass and essential oil yields of fifteen genotypes of five *Ocimum* species. *Industrial Crops and Products*, 77, 21–29.

**Pourmorad**, F., Hosseinimehr, S. J., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 5(11), 1142–1145.

-R-

**Raveau, R.** (2020, décembre). *Contribution au développement d'une filière éco-innovante de phytomanagement de sols pollués par les éléments traces : culture de plantes aromatiques et production d'huiles essentielles* [Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale].

**Rhazi, L.**, Grillas, P., & Juffe-Bignoli, D. (2012). Utilisations et valeur socio-économique des espèces de *Mentha* en Afrique du Nord. In D. Juffe-Bignoli & W. R. T. Darwall (Éds.), *Évaluation de la valeur socio-économique des espèces d'eau douce en Afrique du Nord* (p. 100). UICN.

**Rodrigues, L.**, Póvoa, O., Teixeira, G., Figueiredo, A. C., Moldão, M., & Monteiro, A. (2013). Trichomes micromorphology and essential oil variation at different developmental stages of cultivated and wild growing *Mentha pulegium* L. populations from Portugal. *Industrial Crops and Products*, 43, 692–700.

-S-

**Salomé-Abarca, L. F.**, Soto-Hernández, R. M., Cruz-Huerta, N., & González-Hernández, V. A. (2015). Chemical composition of scented extracts obtained from *Calendula officinalis* by three extraction methods. *Botanical Sciences*, 93, 633–638.

**Santoyo, S.**, Jaime, L., García-Risco, M. R., Ruiz-Rodríguez, A., & Reglero, G. (2014). Antiviral properties of supercritical CO<sub>2</sub> extracts from oregano and sage. *International Journal of Food Properties*, 17, 1150–1161.

**Schultes, R. E.** (1967). The place of ethnobotany in the ethno-pharmacologic search for psychotomimetic drugs. *Lloydia*, 30(4), 305–314.

**Siddhuraju, P.**, & Becker, K. (2007). The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. *Food Chemistry*, 101(1), 10–19.

**Silva, B.**, Cadavez, V., Caleja, C., Pereira, E., Calhelha, R., Añibarro-Ortega, M., Finimundy, T., Kostić, M., Soković, M., Teixeira, J., Barros, L., & Gonzales-Barrón, Ú. (2023). Phytochemical composition and bioactive potential of *Melissa officinalis* L., *Salvia officinalis* L. and *Mentha spicata* L. extracts. *Foods*, 12(1), 1–17.

**Snoussi, M.**, Noumi, E., Trabelsi, N., Flamini, G., Papetti, A., & De Feo, V. (2015). *Mentha spicata* essential oil: Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities against planktonic and biofilm cultures of *Vibrio* spp. strains. *Molecules*, 20(8), 14402–14424.

- Socasau**, F. C. (2017). *Les huiles essentielles référencées à l'agence Européenne du Médicament* [Mémoire de Master, Université de Bordeaux].
- Souilah**, N., Miara, M. D., Bendif, H., Medjroubi, K., & Snorek, J. (2022). Traditional ethnobotanical knowledge on medicinal plants used by the populations in Central Russikada (Northeastern Algeria). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 28(1), 15–35.

**-T -**

**Tajkarimi**, M., & Ibrahim, S. A. (2011). Antimicrobial activity of ascorbic acid alone or in combination with lactic acid on *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium and carrot juice. *Food Control*, 22(6), 801–804.

**Teixeira**, B., Marques, A., Ramos, C., et al. (2013). Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. *Industrial Crops and Products*, 43, 587–595.

**Tongnuanchan**, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), R1231–R1249.

**Toty**, A. A., Guessennd, N., Bahi, C., Kra, A. M., Otokore, D. A., & Dosso, M. (2013). Évaluation in vitro de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de l'écorce de tronc de *Harungana madagascariensis* sur la croissance de souches multirésistantes. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 82, 12–21.

**Turek**, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of essential oils: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40–53.

**-V -**

**Vaverková**, Š., Mistríková, I., & Hollá, M. (2009). Qualitative properties of *Mentha × piperita* (L.) after

**Vogt**, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant*, 3(1), 2–20.

**-Y -**

**Yang**, W., Chen, X., Li, Y., Guo, S., Wang, Z., & Yu, X. (2020). Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Natural Product Communications*, 15(3), 1934578X20903555.

**Yeşil**, M., Öner, E. K., & Özcan, M. M. (2018). Determination of agricultural characteristics of different mint (*Mentha* sp.) species in Ordu ecological conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(3), 1734–1740.

-Z-

**Zaidi**, S., & Dahiya, P. (2015). In vitro antimicrobial activity, phytochemical analysis and total phenolic content of essential oil from *Mentha spicata* and *Mentha piperita*. *International Food Research Journal*, 22(6), 2440–2445.

**Zarith**, A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., ... & Ashraf, G. M. (2018). Essential oils: Extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential – A review. *Current Drug Metabolism*, 19(13), 1100–1110.

**Zhao**, D., Xu, Y. W., Yang, G. L., Husaini, A. M., & Wu, W. (2013). Variation of essential oil of *Mentha haplocalyx* Briq. and *Mentha spicata* L. from China. *Industrial Crops and Products*, 42, 251–260.

**Zhao**, S., & Zhang, D. (2014). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of *Eucalyptus* leaves oil and comparison with Soxhlet extraction and hydro-distillation methods. *Separation and Purification Technology*, 133, 443–451.

**Znini**, M., Bouklah, M., Majidi, L., Kharchouf, S., Aouniti, A., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Costa, J., & Al-Deyab, S. S. (2011). Chemical composition and inhibitory effect of *Mentha spicata* essential oil on the corrosion of steel in molar hydrochloric acid. *International Journal of Electrochemical Science*, 6, 691–704.



## *Annexes*

## Annexe 1 :

Enquête ethnobotanique sur La menthe						
<b>1- Description de la population étudiée (Profil de l'informateur)</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selon le sexe : Masculin <input type="checkbox"/> Féminin <input checked="" type="checkbox"/></li>   <li>• Selon la tranche d'âge : &lt; 30 ans <input type="checkbox"/> 30-50 ans <input checked="" type="checkbox"/> &gt;50 ans <input type="checkbox"/></li>   <li>• Selon le niveau académique : Analphabète <input type="checkbox"/> Primaire <input type="checkbox"/> Secondaire <input checked="" type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Universitaire <input type="checkbox"/></li>   <li>• Selon le milieu de vie (lieu d'habitation) : Rurale <input type="checkbox"/> Urbain <input type="checkbox"/></li> </ul>						
<b>2- La plante</b>						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Nom vernaculaire de la plante</td> <td style="width: 50%;">La menthe (العناع الأخضر)</td> </tr> <tr> <td>Nom scientifique de la plante</td> <td><i>Mentha spicata L.</i></td> </tr> </table>	Nom vernaculaire de la plante	La menthe (العناع الأخضر)	Nom scientifique de la plante	<i>Mentha spicata L.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selon L'état de la plante : Frais <input type="checkbox"/> Sec <input type="checkbox"/> Les deux <input type="checkbox"/></li>   <li>• Selon la partie utilisée : Plante entier <input type="checkbox"/> Partie aérienne <input type="checkbox"/> Fleurs <input type="checkbox"/> Fruits <input type="checkbox"/> Racines <input type="checkbox"/> Grains <input type="checkbox"/> Tige <input type="checkbox"/></li>   <li>• Mode Préparation : Infusion <input checked="" type="checkbox"/> Décoction <input type="checkbox"/> Cataplasme <input type="checkbox"/> Poudre <input type="checkbox"/> Fumigation <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/> H.E <input type="checkbox"/></li>   <li>• Mode d'administration : Orale <input type="checkbox"/> Rinçage <input type="checkbox"/> Inhalation <input type="checkbox"/> Massage <input type="checkbox"/> Topique <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/></li>   <li>• Selon Type des maladies traitées : Maladies dermatologiques <input type="checkbox"/> Maladies rénales <input type="checkbox"/> Maladies neurologiques <input type="checkbox"/> Maladies infectieuses <input type="checkbox"/> Maladies digestives <input type="checkbox"/> Maladies hépatiques <input type="checkbox"/> Maladies cardio-vasculaires <input type="checkbox"/> Diabète <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/></li> </ul>	
Nom vernaculaire de la plante	La menthe (العناع الأخضر)					
Nom scientifique de la plante	<i>Mentha spicata L.</i>					

Figure 01. Fiche d'enquête.

**Annexe 2 :**

**Tableau 01. Tableaux explicatifs de l'utilisation de *Mentha spicata L.* et de la description de la population étudiée**

		Sexe	
Pourcentage	Masculin	Féminin	
	25	25	
	50	50	

Tranche d'âge			
Pourcentage	< 30	30-50	>50
	14	22	14
	28	44	28

Milieu de vie		
Pourcentage	Rurale	Urbain
	19	31
	38	62

Niveau académique				
Analphabète	Primaire	Secondaire	moyen	Universitaire
5	4	16	10	15
Pourcentage	10	8	32	20

Etat de la plante			
	Frais	Sec	Les Deux
	11	9	33
Pourcentage	22	18	66

Partie utilisée								
	Plante entier	Partie aérienne	Fleur	Fruits	Racine	grains	Tige	Feuille
	2	43	1	0	0	8	6	0
Pourcentage	4	86	2	0	0	4	12	0

Mode de préparation							
Infusion	Décoction	Cataplasme	Poudre	Fumigation	HE	Autres	
49	10	1	12	2	14	4	
Pourcentage	98	20	2	24	4	28	8

Mode d'administration						
orale	rinçage	inhalation	Massage	Topique	Autre	
47	2	8	12	3	4	
Pourcentage	94	4	16	24	6	8

Maladies traités									
M-Ders	M-Réns	M-Neurs	M-Info	M-Digs	M-Héps	M-Car-Vas	Diabète	Autre	
5	0	6	11	40	2	19	0	23	
Pourcentage	10	0	12	22	80	4	38	0	46

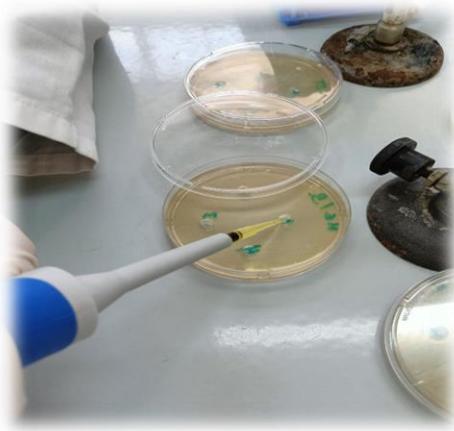
**Annexe 3 :**



**A . les ZIs contre *B .sp* à différentes concentrations**



**B. les ZIs contre *S. aureus* à différentes concentrations**



**C. Distribuer le volume dans les puits, en fonction des concentrations.**



**D. formation des puits avec l'ase de platine (Méthode des puits )**

**Figure 02.** Photographies illustrant l'essai de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de menthe

**Année universitaire : 2024-2025**

**Présenté par :** BOUCHRITE Lina Malak.  
BOUSMID Sandra.

**Evaluation du potentiel antioxydant et antibactérien de l'huile essentielle de *Mentha spicata* L.**

**Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en biodiversité et Physiologie Végétale**

Ce travail s'inscrit dans une démarche de validation scientifique de l'huile essentielle (HE) extraite de la menthe verte (*Mentha spicata* L.), une plante aromatique et médicinale dont l'usage traditionnel en Algérie est profondément établi pour ses vertus thérapeutiques. Notre étude visait à positionner cette HE comme une alternative naturelle prometteuse aux agents antioxydants et antibactériens synthétiques. Les feuilles de *Mentha spicata* ont été récoltées dans la daïra de ZIGHOUD Youcef, Constantine, Algérie. L'objectif principal de cette étude a été d'extraire l'HE, de caractériser ses propriétés physico-chimiques, de déterminer son rendement d'extraction, et d'évaluer ses activités biologiques *in vitro*. Il est crucial de noter qu'en amont des analyses de laboratoire, une étude ethnobotanique a été menée, permettant de documenter les connaissances ancestrales et les applications médicinales traditionnelles de cette plante au sein des communautés locales, offrant ainsi un contexte empirique précieux pour la validation de ses propriétés. L'HE a été obtenue par hydrodistillation des feuilles fraîches, à l'aide d'un appareil de type Clevenger (un rendement de 0,06%). Les analyses physico-chimiques ont révélé des caractéristiques cohérentes avec une huile essentielle, notamment sa densité et son pH (densité de 0,333 g/cm<sup>3</sup> et pH d'environ 6). Concernant les activités biologiques, l'activité antioxydante de l'HE a été évaluée par les tests de piégeage du radical DPPH et du pouvoir antioxydant de réduction du fer (FRAP), montrant une efficacité notable (IC<sub>50</sub> = 367,20 ± 69,68 µg/mL pour le test DPPH et A<sub>0,5</sub> = 223,214 ± 0,622 µg/mL pour le test FRAP). Parallèlement, l'activité antibactérienne a été évaluée contre des souches Gram-positives (*Bacillus sp.* et *Staphylococcus aureus*), démontrant des zones d'inhibition significatives. Cependant, aucune activité inhibitrice n'a été observée contre la souche Gram-négative *Escherichia coli*, suggérant une sélectivité d'action spécifique. En conclusion, cette investigation confirme le potentiel de l'huile essentielle de *Mentha spicata* en tant qu'agent antioxydant quantifiable et révèle une activité antibactérienne sélective contre certaines souches Gram-positives, renforçant ainsi son intérêt comme ressource naturelle pour le développement de nouvelles stratégies en pharmacologie et en conservation des aliments.

**Mots-clés :** *Mentha spicata*, Hydrodistillation, Huile essentiel, Antioxydante, Antibactéreinne.

**Laboratoire de recherche :** Laboratoire de Biochimie Appliquée (U Frères Mentouri Constantine 1).

<b>Président du jury :</b>	<b>Dr. ZAGHAD Nadia</b>	(MCA - U Frères Mentouri Constantine 1).
<b>Encadrant :</b>	<b>Dr. BOUDERSA Nabil</b>	(MAB - U Frères Mentouri Constantine 1).
<b>Examinateur(s) :</b>	<b>Dr. MADI Aicha</b>	(MCA - U Frères Mentouri Constantine 1).

