

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences Biologiques



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :
Ecologie

Intitulé

*Étude des activités biologiques des huiles essentielles et des extraits
de Lavandula dentata dans la Wilaya de Mostaganem*

Présenté par :

Mlle : MESKINI Ikram

Mr : SY Amadou Bocar

Devant les membres de jury :

Présidente : Mme BELKHEIR Khadidja

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Encadreur : Mme TAMERT Asma

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Examineur : Mr BENCHIHA Walid

Maître de conférences (A) (U. Relizane)

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma mère et mes chères sœurs Hafsa,

Imen et Alia

Et à mes chers frères Abdelghani et Zakaria

*À mon père bien-aimé, Meskini Abdelhamid, que j'ai perdu le 29 mars
2019. Que Dieu ait son âme en Jannah*



Dédicace

Je dédie ce modeste travail le fruit de plusieurs années d'études :

À mes très chers parents, pour leurs aides aux moments difficiles, pour leurs encouragements, pour terminer mon parcours académique et pour la réalisation de ce mémoire, que dieu leur procure bonne santé et longue vie

À mes frères et sœurs qui ont partagé tous les moments de ma vie et qui ont été avec moi dans toutes mes faiblesses et mes forces, que Dieu les protège

À tous mes amies, qui ont été à mes côtés et qui ont partagé avec moi beaucoup de choses. Je vous souhaite le bonheur du monde.

À tous les enseignants et professeurs qui ont fortement contribué à ma formation depuis l'école primaire jusqu'à l'université.

À tous mes collègues de la promotion 2022/2023.



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier « ALLAH », le tout puissant et miséricordieux pour son aide compatissante dans tous les aspects de notre vie, et pour que nous avoir donné la force pour accomplir ce mémoire.

Par ailleurs, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, Madame TAMERT Asma, pour son soutien indéfectible et ses précieux conseils tout au long de l'élaboration de ce mémoire, sa patience, sa disponibilité et sa rigueur intellectuelle nous ont permis de progresser considérablement dans nos recherches et d'aboutir à un travail de qualité.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur BENCHIHA Walid pour avoir bien voulu examiner notre travail.

Madame BELKHEIR Khadidja, Nous tenons à vous exprimer nos plus sincères remerciements pour avoir accepté de présider et de juger ce travail.

Nos sincères remerciement aux techniciens du laboratoire de la faculté des Sciences et de la Technologie, Université de Relizane, pour leur aide et leurs conseils.

Aussi nous tenons de remercier les conservateurs de forêts de Relizane et de Mostaganem pour leur aide.

Enfin du fond du cœur, nous remercions chacune d'entre vous, chers amis de promotion, pour le soutien moral inconditionnel que vous nous avez apporté tout au long de ces années inoubliables. Votre amitié précieuse a illuminé notre parcours et nous a permis de franchir les étapes avec force et détermination.

الملخص

الحزامى المسننة، والمعروفة أيضاً باسم الحزامى المهدبة، هي نبات عطري موطنها الأصلي حوض البحر الأبيض المتوسط تنتمي إلى فصيلة الشفويات، وهي معروفة باستخداماتها العلاجية تهدف دراستنا إلى استكشاف الإمكانيات المضادة للأكسدة والمضادة للبكتيريا لنبات الحزامى المسننة في منطقة مستغانم تم تقييم قوة مضادات الأكسدة للزيوت العطرية والمستخلصات المائية المغلية والمنقوعة و المنقعة لهذا النبات باستخدام طريقة 1,1-ثنائي فينيل-2-بيكريل هيدرازيل إضافة إلى ذلك، تم اختبار النشاط المضاد للبكتيريا على ثلاث سلالات بكتيرية مسببة للأمراض، وهي إشريشيا كولاي والمكورات العنقودية الذهبية، كليبسيلا ذات الرئة أعطى استخلاص الزيت العطري عن طريق التقطير المائي محصولاً بنسبة 1% كان ناتج المستخلص المنقوع هو الأعلى بنسبة 12.10% يليه المستخلص المنقوع 4.35% و المستخلص المغلي 2.75% يتمتع الزيت العطري ومستخلصات نبات الحزامى المسننة بنشاط مضاد للأكسدة جيد جداً، حيث يصل إلى 100% وقد تراوح متوسط التركيز المثبط للمستخلصات المائية بين 9.867 و 11.385 ملغم/مل وكان التركيز المثبط (IC50) للزيت العطري 1.987 ميكرو لتر/مل (IC50).

كشف تقييم النشاط المضاد للبكتيريا للزيت العطري والمستخلص المنقوع ضد السلالات الثلاث التي تم اختبارها عن نشاط معتدل ضد الإشريكية القولونية والكليبسيلا الرئوية. وأظهر المستخلص المنقوع نشاطاً ضد المكورات العنقودية الذهبية فقط، بينما منع المستخلص المنقوع الإشريكية القولونية.

توضح النتائج التي توصلنا إليها أن لحزامى المسننة لها إمكانيات ملحوظة كمصدر قيم لمضادات الأكسدة التي يمكن استغلالها في المجالات الصيدلانية والطبية.

الكلمات المفتاحية: الحزامى المسننة، عائلة الشفويات، زيت عطري، مستخلصات، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للبكتيريا، مستغانم

Résumé

La lavande dentée, également connue sous le nom de lavande frangée, est une plante aromatique originaire du bassin méditerranéen appartenant à la famille des lamiacées, connue pour son usage thérapeutique.

Notre étude vise à explorer le potentiel antioxydant et antibactérien de l'espèce *Lavandula dentata* L. dans la région de Mostaganem. Le pouvoir antioxydant des huiles essentielles et des extraits aqueux (décocté, infusé et macéré) de cette plante a été évalué en employant la méthode du test DPPH. En outre, l'activité antibactérienne a été testée sur trois souches bactériennes pathogènes, à savoir *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* par la méthode de diffusion en puits.

L'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation a engendré un rendement de 1%. Le rendement de l'extrait macéré est le plus élevé avec un pourcentage de 12,10%, suivi par l'extrait infusé (4,35%) et enfin l'extrait décocté (2,75%).

L'huile essentielle et les extraits de la plante *Lavandula dentata* ont une très bonne activité antioxydante qui atteint les 100%. La Concentration inhibitrice médiane (IC₅₀) des extraits aqueux varie entre 9,867 et 11,385 mg/ml et IC₅₀ de l'huile essentielle est de 1,987 µl /ml.

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et de l'extrait macéré vis-à-vis les trois souches testées a révélé une activité modérée contre *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae*. L'extrait infusé a présenté une activité seulement contre *Staphylococcus aureus* et l'extrait décocté a inhibé *Escherichia coli*.

Nos résultats démontrent que la lavande dentée possède un potentiel remarquable en tant que source précieuse d'antioxydants qui peut être exploité dans le domaine pharmaceutique et médical.

Mots clés : *Lavandula dentata* L., Lamiacées, huile essentielle, Extraits, Activité antioxydante, Activité antibactérienne, Mostaganem.

Abstract

Dentate lavender, also known as fringed lavender, is an aromatic plant native to the Mediterranean basin belonging to the *Lamiaceae* family, known for its therapeutic use.

Our study aims to explore the antioxidant and antibacterial potential of the species *Lavandula dentata* L. in the Mostaganem region. The antioxidant power of essential oils and aqueous extracts (decocted, infused and macerated) of this plant was assessed using the DPPH test method. In addition, antibacterial activity was tested on three pathogenic bacterial strains, namely *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* using the well diffusion method.

Extraction of the essential oil by hydrodistillation produced a yield of 1%. The yield of the macerated extract was the highest at 12.10%, followed by the infused extract (4.35%) and the decocted extract (2.75%).

Lavandula dentata essential oil and extracts have excellent antioxidant activity, reaching 100%. The median inhibitory concentration (IC₅₀) of the aqueous extracts ranged from 9.867 to 11.385 mg/ml, while the IC₅₀ of the essential oil was 1.987 µl/ml.

Evaluation of the antibacterial activity of the essential oil and macerated extract against the three strains tested revealed moderate activity against *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. The infused extract showed activity only against *Staphylococcus aureus*, while the decocted extract inhibited *Escherichia coli*.

Our results demonstrate that toothed lavender has remarkable potential as a valuable source of antioxidants that can be exploited in the pharmaceutical and medical fields.

Key words: *Lavandula dentata* L., *Lamiaceae*, essential oil, Extracts, Antioxidant activity, Antibacterial activity, Mostaganem.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Évolution du statut taxonomique de la famille des <i>Lamiaceae</i>	11
Tableau 2	Quelques espèces d'intérêt pharmacologique de la famille des <i>Lamiaceae</i>	13
Tableau 3	Classification botanique de l'espèce <i>Lavandula dentata</i>	14
Tableau 4	Principales sources des radicaux libres (endogènes et exogènes)	26
Tableau 5	Les antibiotiques utilisés	42
Tableau 6	Le rendement moyen de l'huile essentielle de <i>Lavandula dentata</i>	43
Tableau 7	Aspect, couleur et rendement des extraits de <i>Lavandula dentata</i>	43
Tableau 8	Diamètres des zones d'inhibition (mm) de l'huile essentielle et des extraits de <i>Lavandula dentata</i> L	47
Tableau 9	Diamètres des zones d'inhibition (mm) vis-à-vis des antibiotiques commercialisés	51

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Groupe de plantes de la famille des <i>Lamiaceae</i>	08
Figure 2	Exemples de tiges carrées de plantes appartenant à la famille des <i>Lamiaceae</i>	09
Figure 3	Feuilles opposées-décussées de plantes de la famille des <i>Lamiaceae</i>	10
Figure 4	Fleurs bilabiées de <i>Lamiaceae</i>	11
Figure 5	Représentation géographique de la distribution mondiale de différentes plantes de <i>Lamiaceae</i>	12
Figure 6	<i>Lavandula dentata</i>	14
Figure 7	Aire de répartition des espèces de lavandes dans le monde	15
Figure 8	Parents hydrocarbonés des terpènes des huiles essentielles	19
Figure 9	Structure de quelques monoterpènes	19
Figure 10	Structure de quelques sesquiterpènes	20
Figure 11	Montage d'hydrodistillation	22
Figure 12	Montage d'entraînement à la vapeur d'eau.	23
Figure 13	Étapes de préparation d'une décoction aqueuse.	24
Figure 14	Étapes de préparation d'une infusion aqueuse.	24
Figure 15	Étapes de préparation d'une macération aqueuse	25
Figure 16	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la wilaya de Mostaganem	29
Figure 17	Localisation de l'espèce étudiée	30
Figure 18	Appareil Clevenger	31
Figure 19	Séparation des huiles essentielles par décantation	32
Figure 20	Etapes de préparation des extraits	34
Figure 21	Les échantillons avant l'incubation	35
Figure 22	Les échantillons après l'incubation	35
Figure 23	Les différents extraits après incubation	37
Figure 24	A.B.C. Réalisation des puits ; B. incubation des boîtes dans l'étuve	41
Figure 25	Activité antioxydante de l'huile essentielle de <i>Lavandula dentata</i>	44
Figure 26	Activité antioxydante de l'extrait décocté de <i>Lavandula dentata</i>	44
Figure 27	Activité antioxydante de l'extrait infusé de <i>Lavandula dentata</i>	45
Figure 28	Activité antioxydante de l'extrait macéré de <i>Lavandula dentata</i>	45
Figure 29	Activité antioxydante de l'acide ascorbique	46
Figure 30	Activité antibactérienne de l'huile essentielle de <i>Lavandula dentata</i> vis-à-vis les trois souches testées	49
Figure 31	Activité antibactérienne de l'extrait décocté sur <i>Escherichia coli</i>	50
Figure 32	Activité antibactérienne de l'extrait infusé sur <i>Staphylococcus aureus</i>	50
Figure 33	Activité antibactérienne de l'extrait macéré vis-à-vis <i>Klebsiella pneumoniae</i>	50
Figure 34	Activité antibactérienne des antibiotiques commercialisées	52

Table des matières

<i>Dédicace</i>	I
<i>Remerciements</i>	III
<i>الملخص</i>	IV
<i>Résumé</i>	V
<i>Abstract</i>	VI
<i>Liste des tableaux</i>	VII
<i>Liste des figures</i>	VIII
<i>Table des matières</i>	IX
<i>Introduction</i>	1

Partie bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur la famille des Lamiacées et l'espèce étudiée

1. Les plantes aromatiques et médicinales	03
1.1. Intérêts des plantes aromatiques et médicinales	03
1.2. L'industrie pharmaceutique	04
1.3. Aromathérapie	05
1.4. Phytothérapie	06
1.5. Industrie de la parfumerie et des cosmétiques	07
2. La famille des Lamiacées	07
2.1. Caractéristiques morphologiques	08
2.1.1. Tige et feuilles	09
2.1.2. Fleurs	10
2.2. Systématique	11
2.3. Distribution mondiale	12
2.4. Intérêt nutritionnel et pharmacologique	12
3. <i>Lavandula dentata</i> L.	13
3.1. Description morphologique	13
3.2. Classification botanique	14
3.3. Origine et aire de répartition	15
3.4. Utilisation	15

Chapitre 2 : Aperçu sur les huiles essentielles, les extraits et les activités biologiques

1. Les huiles essentielles	17
1.1. Localisation des huiles essentielles	17
1.2. Constituants chimiques des huiles essentielles	17
1.2.1. Les terpènes	18
1.3. Techniques d'extraction des huiles essentielles	21
1.3.1. Distillation	21
2. Les extraits	23
2.1. L'extrait décocté	23
2.2. L'extrait infusé	24
3.3. L'extrait macéré	24
3. Activités biologiques	25
3.1. Activité antibactérienne	25
3.2. L'activité antioxydante	26
3.2.1. Les radicaux libres	26
3.2.2. Stress oxydant	26
3.2.3. Mécanisme d'action des antioxydants	27

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et Méthodes

1. Objectif	28
2. La zone d'étude	28
2.1. Localisation	28
2.2. La Population	28
2.3. La végétation	28
2.4. Le climat	29
3. Matériel et Méthodes	30
3.1. Matériel végétal	30
3.2. Extraction des huiles essentielles	31
3.3. Préparation des extraits	32
3.4. Activité antioxydante	35
3.4.1. Piégeage du radical 2-diphényl-1- picrylhydrazyl (DPPH)	35
3.4.2. Activité antioxydante des huiles essentielles	35
3.4.3. Activité antioxydante des extraits	36
3.4.4. Expression des résultats	37
3.5. Activité antibactérienne	38

3.5.1. Souches bactériennes	38
3.5.2. Le milieu de culture	39
3.5.3. La solution mère et les solutions diluées	39
3.5.4. Test antibactériens	39
3.5.4.1. Préparation de l'inoculum bactérien	39
3.5.4.2. Ensemencement et réalisation des puits	40
3.5.4.3. Expression des résultats	42
3.5.4.4. Sensibilité des souches vis-à-vis des antibiotiques commercialisés	42

Chapitre 2 : Résultats et Discussion

1. Résultats	43
1.1. Rendement des huiles essentielles	43
1.2. Les extraits	43
1.3. Activité antioxydants	44
1.4. Activité antibactériennes	48
1.4.1. Test antibactérien de l'huile essentielle et des extraits	48
1.4.2. Test antibactérien des antibiotiques commercialisés	51
2. Discussion	54
Conclusion	57
Références bibliographiques	58

Introduction

Depuis l'antiquité, les plantes médicinales ont toujours fait partie du savoir de base de toutes les sociétés humaines (**Bettaieb Rebey et al., 2017**). Pendant longtemps, les plantes médicinales et leur préparation constituent une source de médicaments. La nature, diversifiée par ces habitants, est considérée comme une grande usine de fabrication de plantes, celles-ci très diversifiées à leur tour par leur forme et leurs substances. Elle nous fournit l'outil végétal précieux pour la guérison de nos maladies (**Chabira et Djemmani, 2021**).

L'Algérie possède l'une des flores les plus diversifiées et originales du bassin méditerranéen. Une partie de cette flore algérienne est utilisée par les populations locales comme plantes médicinales et sont reconnues pour leurs activités biologiques. Parmi ces plantes, on trouve de nombreuses espèces de la famille des Lamiacées, comme "*Lavandula dentata*". En effet, la plupart des plantes de cette famille constituent une source d'huiles essentielles et sont largement utilisées (**Brahmi et Snoussi, 2021**).

Le genre *Lavandula* (un genre de la famille des Lamiacées), composé de 39 espèces, sont parmi les plantes les plus populaires récoltées pour la production d'huiles essentielles utilisées dans de nombreuses applications comme l'industrie pharmaceutique, alimentaire, cosmétique et de la parfumerie. L'inhalation de leurs composés volatils soulagerait les symptômes du stress, de l'épuisement, des migraines, de l'anxiété, de l'insomnie et de la dépression (**Djendi et al., 2023**).

Les huiles essentielles utilisées en aromathérapie sont des extraits naturels de plantes de composition complexe obtenus soit par entraînement à la vapeur d'eau, par distillation sèche ou par un procédé mécanique. Elles sont utilisées depuis l'antiquité pour leurs propriétés (anti-infectieuses, antibactériennes, antifongiques, antivirales, antidouleurs...). L'application des huiles essentielles (HEs) dans le domaine de la lutte a augmenté au cours des dernières années en raison de leur disponibilité et leurs propriétés biologiques (**Abdelli et Chaabane, 2022**).

Elles agissent en empêchant la multiplication des bactéries, leur sporulation et la synthèse de leurs toxines (**Caillet et Lacroix, 2007**). Elles font l'objet d'étude pour leur éventuelle utilisation comme alternative pour la protection des aliments contre l'oxydation (**Bouhdid et al., 2006**).

Les composés phytochimiques d'intérêt thérapeutiques peuvent provenir de nombreuses parties de la plante. Ces composés biologiquement actifs peuvent être isolés à partir de la plante par des procédés traditionnels à savoir la macération, la décoction, l'infusion, etc. Ils peuvent également être isolés par des techniques modernes physicochimiques et biologiques comme les fractionnements guidés, les isolements et purifications (**Dongock et al., 2018**).

Notre travail est basé sur l'évaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles et des extraits aqueux (décocté, infusé et macéré) de *Lavandula dentata* L., une espèce qui appartient à la famille des *Lamiaceae*, vis-à-vis trois souches bactériennes (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae*).

Notre manuscrit s'articule sur deux parties, une partie pour les recherches bibliographiques compte deux chapitres :

- Un chapitre sur la famille des Lamiacées et l'espèce étudiée ;
- L'autre sur les huiles essentielles, les extraits et les activités biologiques.

Et une partie expérimentale avec deux chapitres :

- Matériel et méthodes (extraction des huiles essentielles, préparation des extraits, activités antioxydante et antibactérienne) ;
- L'ensemble des résultats obtenus ainsi que leur discussion.

Partie I

Partie bibliographique

Chapitre I

*Généralités sur la famille des
Lamiacées et l'espèce étudiée*

1. Les plantes aromatiques et médicinales

Les plantes aromatiques, communément appelées herbes et épices, ont été utilisées depuis des millénaires au Moyen-Orient. Les plantes aromatiques possèdent des propriétés médicinales et sont utilisées pour améliorer l'arôme et la saveur des aliments (**Chang, 2000 ; Piccaglia et al., 1993**). A ces jours, leur utilisation se poursuit dans le monde. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), près de 80 % de la population mondiale dépendent encore de médicaments d'origine végétale pour leurs soins de santé, particulièrement dans les pays en développement.

Les extraits et les huiles essentielles des plantes aromatiques et médicinales ont été étudiés en raison de leurs avantages par rapport aux antibiotiques en tant que stimulateurs de croissance. Ils ne contiennent pas de résidus et sont généralement reconnus comme sûrs (**Varel, 2002 ; Windisch et al., 2009**).

L'utilisation d'herbes et d'épices dans l'alimentation animale provoque un intérêt croissant, afin de remplacer l'utilisation d'antibiotiques et d'anticoccidiens ionophores, en particulier après l'interdiction des additifs antibiotiques pour l'alimentation animale dans les pays européens et en dehors de l'Europe (**Greathead, 2003 ; Barton, 1999**).

En raison de l'hétérogénéité écologique et des variations climatiques, les pays du Maghreb possèdent des plantes aromatiques et médicinales très diversifiées. 3150 espèces en Algérie, 2200 en Tunisie, 1800 en Libye, et 1100 en Mauritanie. L'Algérie est le plus grand pays du bassin méditerranéen, de l'Afrique et de la région arabe avec une superficie totale de près de 2,4 millions de km² et 1600 km de côtes. Outre un climat diversifié, l'Algérie se caractérise par une flore très riche de 4000 taxons, 917 genres et 131 familles (**Belhouala et Benarba, 2021**).

1.1. Intérêts des plantes aromatiques et médicinales

Les humains ont d'abord réalisé que la plante entière ou les parties de la plante étaient très utiles pour rendre la santé aux malades et les soulager, ce qui a conduit à l'utilisation et à l'application de ces plantes dans les médicaments (**Inoue et Craker, 2014**). Au cours des 18^e et 19^e siècles, de nouvelles perceptions des causes des maladies sont apparues, comme la théorie des germes de Pasteur et Koch, l'utilisation de désinfectants par Lister, mais les

plantes aromatiques sont restées les principaux agents pharmaceutiques jusqu'au début des années 1900 (**Craker et Gardner, 2006**). Les capacités antioxydantes et antibactériennes des plantes aromatiques ont fait l'objet d'études approfondies et se sont révélées avantageuses dans toute une série d'applications sanitaires telles que la prévention et la réduction de diverses maladies (**Gutteridge et Halliwell, 2010 ; Ndhlala et al., 2010**).

➤ Utilisations conventionnelles des plantes aromatiques

En Europe de l'Est et en Irak, les archéologues ont découvert des corps enveloppés dans des plantes aromatiques et des graines séchées, et des peintures rupestres. En outre ils ont également documenté l'existence de rituels tribaux impliquant la combustion de feuilles ou d'arbres aromatiques séchés (**Guidi et Landi, 2014**). Les plantes aromatiques telles que le fenouil, le galbanum et le pin étaient utilisées par les Sumériens (4000 av. J.-C.), qui ont été la première communauté à utiliser des plans écrits pour les remèdes à base de plantes. Les Égyptiens (3000 av. J.-C.) ont été les premiers à utiliser les plantes aromatiques comme médicaments. Les huiles aromatiques ont longtemps été utilisées pour préserver le corps du défunt sous forme de momie lors de son passage à la vie après la mort. Les Indiens (1500 av. J.-C.) ont posé les premiers jalons de la médecine ayurvédique, une méthode hindoue de médecine traditionnelle folklorique issue de l'Inde. Les Grecs (1000 av. J.-C.) ont largement contribué à l'exploitation des plantes aromatiques en tant qu'éléments médicinaux. Hippocrate, le "père de la médecine", est reconnu pour avoir protégé Athènes de l'épidémie de peste en demandant aux citoyens de brûler d'énormes urnes de plantes aromatiques dans les avenues (**Bhattacharya et al., 2022**).

1.2. L'industrie pharmaceutique

Plusieurs raisons justifient le rôle prépondérant des plantes aromatiques dans l'industrie pharmaceutique. Ces plantes sont la source d'une large gamme de composés biologiquement actifs et ne peuvent être négligées par la pratique médicale actuelle en raison de leurs effets curatifs. Elles ne peuvent cependant pas être synthétisées en raison de leurs caractéristiques souvent non identifiées et de leur complexité. Leur fabrication synthétique est également excessivement coûteuse tels que les alcaloïdes de l'ergot de seigle, les glycosides cardiaques, etc. (**Bhattacharya et al., 2022**).

L'industrie pharmaceutique exploite régulièrement les composants efficaces présents dans les plantes aromatiques comme ingrédients initiaux pour la fabrication de produits semi-

synthétiques tel que les corticostéroïdes produits à partir d'alcaloïdes de *Solanum*, ou pour l'isolement de certains composés modèles désignés comme la sécologanine. Les huiles essentielles et les arômes chimiques constituent un grand nombre de produits industriels. Dans de nombreux domaines de la vie humaine, ces huiles constituent des ingrédients de première nécessité. Elles entrent dans la composition des cosmétiques, des savons, des médicaments, de la parfumerie, des désinfectants. Les substances naturelles sont saines et agréables (**Riaz et al., 2021**).

1.3. Aromathérapie

L'aromathérapie est une branche de la phytothérapie qui utilise les huiles essentielles, métabolites secondaires produits par les plantes pour les protéger contre les conditions de stress causées par les maladies, les herbivores et les insectes, ainsi que les températures élevées et les conditions de sécheresse. Les huiles essentielles, généralement volatiles, sont extraites de différentes parties de plantes comme les racines, les tiges, les écorces, les feuilles, les fleurs, les fruits, etc. A l'aide de diverses procédures ou techniques (**Acimović, 2021**).

En aromathérapie, les huiles essentielles sont principalement utilisées pour modifier l'esprit, l'humeur, les fonctions cognitives ou la santé (**Schneider et al., 2019 ; Michalak, 2018 ; Shah et al., 2011; Shibamoto et al., 2010 ; Steflitsch et Steflitsch, 2008**). L'aromathérapie tire son nom du mot *aroma*, qui signifie parfum ou odeur, et *therapy*, qui signifie traitement (**Ali et al., 2015**). Les huiles essentielles sont des mélanges de nombreux composés organiques, et leur activité biologique et leur parfum sont conditionnés par leur composition chimique m (**Michalak, 2018**). Elles peuvent être mélangées pour créer des arômes complexes, qui agissent de manière synergique (**Schneider et al., 2019 ; Shah et al., 2011**). Les huiles essentielles sont principalement appliquées par inhalation (par le système respiratoire ou les nerfs olfactifs), par absorption topique (par la peau) ou par ingestion (système digestif) (**Gnatta et al., 2016; Martinec, 2012**).

L'aromathérapie est une science qui a une grande importance, qui est reconnue et qui est largement utilisée. Elle est donc connue sous le nom de thérapie aromatique (**Esposito et al., 2014**). Les fabricants de produits d'hygiène personnelle, de fitness et d'assainissement, ainsi que les professionnels tels que les infirmières et les médecins, les chiropracteurs et les massothérapeutes utilisent cette thérapie. Certaines huiles essentielles ayant des propriétés

antimicrobiennes, elles peuvent être utilisées pour soigner des maladies contagieuses **(Bhattacharya et al., 2022)**.

L'aromathérapie peut être utilisée en association avec d'autres thérapies d'harmonisation. Les faits empiriques sur les activités pharmacologiques des huiles essentielles ou volatiles et des produits chimiques aromatiques tels que les anti-inflammatoires, les antibactériens, les expectorants, les tranquillisants **(Krings et Berger, 1998 ; Rowe, 2009)**:-

1.4. Phytothérapie

La phytothérapie se caractérise, de la manière la plus simple, par le traitement des maladies en utilisant les plantes médicinales extraites des plantes d'une manière nouvelle. Elle intègre les principes fondamentaux de la médecine conventionnelle (ethnomédecine) et de la médecine moderne, bien qu'elle soit représentée de manière différente dans différents pays **(Mills et Bone, 2000)**.

La phytothérapie est l'application de doses thérapeutiques de plantes aromatiques séchées ou d'extraits de diverses parties de plantes pour le traitement des signes apparents des maladies. Elle est donc équivalente à l'utilisation des médicaments traditionnels **(Barnes et al., 2007)**. De nombreux médicaments ont été préparés à partir de plantes, mais à l'heure actuelle, ils sont soit fabriqués dans des laboratoires chimiques, soit réformés pour favoriser la normalisation, l'administration uniforme et la bioactivité sécurisée des médicaments **(Inoue et Craker, 2014)**.

Pour classer les espèces, calculer l'infektivité bactérienne, évaluer l'efficacité et générer des certificats d'analyse, la phytothérapie moderne peut utiliser des approches traditionnelle pour évaluer la qualité des médicaments à base de plantes, mais il est plus pratique de s'appuyer sur des procédures récentes comme la chromatographie en phase gazeuse (GC), la chromatographie liquide à haute performance (HPLC), la spectroscopie d'absorption atomique (AAS) ou la spectrophotométrie ultraviolette / visible **(Gad et al., 2013)**.

La phytothérapie se distingue élémentairement de l'homéopathie et des médecines anthroposophiques en ce qu'elle limite l'utilisation d'agents bioactifs naturels (végétaux) et synthétiques dans les traitements de la maladie d'Alzheimer **(Bhattacharya et al., 2022)**.

1.5. Industrie de la parfumerie et des cosmétiques

Les huiles essentielles sont largement utilisées dans le monde entier dans les industries de la parfumerie et de la cosmétique. Les remèdes à base de plantes sont largement admirés et jouent un rôle important dans les soins à domicile et les soins de santé, qu'ils soient indirects ou non. L'adoption et l'utilisation croissantes des dérivés végétaux de soins de santé dans les industries cosmétiques (**Aburjai et Natsheh, 2003**), ainsi que l'utilisation dans la vie quotidienne pour maintenir la santé et le bien-être personnels, ont conduit à la reconnaissance de ces produits. Selon une étude récente menée dans les États membres de l'Union européenne, environ 1400 préparations à base de plantes sont largement utilisées (**Kole et al., 2005**). Dans des conditions d'utilisation standard ou pratiquement prévisibles, les produits cosmétiques doivent être sûrs et sains. Selon le règlement de l'Union européenne de 2009, l'analyse des risques et des avantages ne doit pas être utilisée pour valider une menace pour la santé humaine (**Bhattacharya et al., 2022**). En raison de la présence d'éléments antioxydants tels que les caroténoïdes, les flavonoïdes et les polyphénols, les extraits de plantes sont couramment incorporés dans les formulations cosmétiques et très utilisés pour leurs effets anti-inflammatoires sur la peau (**Kole et al., 2005**).

2. La famille des Lamiacées

La famille des Lamiacées, anciennement appelée Labiées, pour ses fleurs caractérisées par une corolle bilabée, compte plus de 7000 espèces (**Moreira et Bragança, 2011**). La famille des Lamiacées (anciennement *Labiatae*) constitue une famille cosmopolite de plantes à fleurs d'une grande importance commerciale, comprenant environ 250 genres et 7825 espèces (**Prakash et al., 2016**). Les genres les plus importants et les plus connus sont *Salvia*, *Scutellaria*, *Stachys*, *Plectranthus*, *Hyptis*, *Teucrium*, *Vitex*, *Thymus* et *Nepeta*. De nombreuses espèces sont très aromatiques et possèdent des mélanges complexes de métabolites secondaires bioactifs qui contribuent à leur importance mondiale en tant que sources d'herbes médicinales et culinaires (**Rattray et Van Wyk, 2021**).

Les lamiacées sont largement répandues dans le monde entier, avec des hauteurs et des habitats variés, et une plus grande abondance dans la région méditerranéenne (**Kallunki, 1994**). Elles préfèrent les zones chaudes. mais on les trouve aussi dans les régions de températures basses (**Harley, 2012; Kadereit, 2004**).

2.1. Caractéristiques morphologiques

Les espèces de la famille des lamiacées ont des caractéristiques morphologiques diversifiées et peuvent être des herbes ou des plantes médicinales, des plantes herbacées, des arbustes ou des arbres (**Harley, 2012**). Aujourd'hui, c'est l'une des plus grandes familles botaniques avec des fleurs de différentes tailles, avec des couleurs chaudes et voyantes, des sépales et des pétales apparents, des inflorescences et des fleurs et une symétrie bilatérale (zygomorphes), et le tube de la corolle est divisé en deux parties distinctes, donnant une forme de "lèvre", qui est la principale caractéristique de la famille des *labiées*. leurs feuilles sont normalement simples, et leurs fruits sont secs et multiples qui se séparent à maturité (fruits schizocarpiques) (**Harley, 2013; Moreira et Bragança, 2011; Lorenzi, 2002**). Cette famille présente de nombreuses espèces riches en flavonoïdes et en terpènes (**Guerreiro, 2018**).



Figure 1 : Groupe de plantes de la famille des *Lamiaceae*

(A): *Salvia officinalis* L., (B): *Salvia hispanica* L., (C): *Thymbra capitata* L. Cav., (D): *Thymus saturejoides* Coss., (E): *Rosmarinus officinalis* L., (F): *Mentha spicata* L., (G): *Melissa officinalis* L., (H): *Leonurus sibiricus* L., (I): *Thymbra spicata* L., (J): *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (K): *Lycopus lucidus* Turcz L. ex Benth, (L): *Scutellaria baicalensis* Georgi, (M): *Ocimum species*, (N): *Mesona chinensis* Benth. (O): *Leonotis leonurus* L. R.Br. (**Diab et al., 2022**).

2.1.1. Tige et feuilles

Les feuilles des espèces de la famille des Lamiacées sont toujours simples et opposées-décussées sans stipules et portées en verticilles sur la tige quadrangulaire ligneuse (**Lim, 2014**). Elles sont velues, ont un limbe à surface réduite, épaisse et souvent enroulés par-dessous. Elles possèdent des stomates enfoncés (protection contre l'évaporation) et un hypoderme collenchymateux très développée (**Menoura et al., 2023**). Ainsi que, les tiges sont plus faibles et arquées, ont tendance à être plus vertes que grises (**Catherine et al., 2001**).

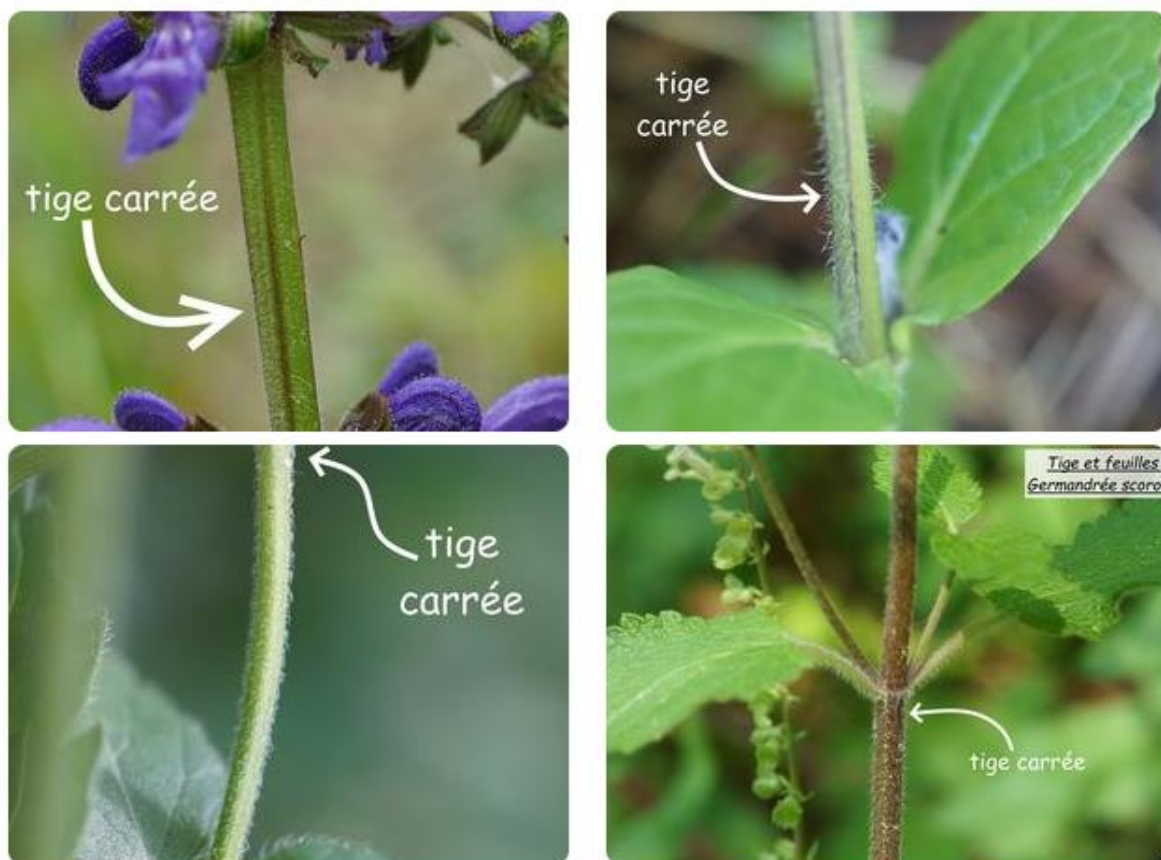


Figure 2 : Exemples de tiges carrées de plantes appartenant à la famille des *Lamiaceae* (**Vanette, 2020**).

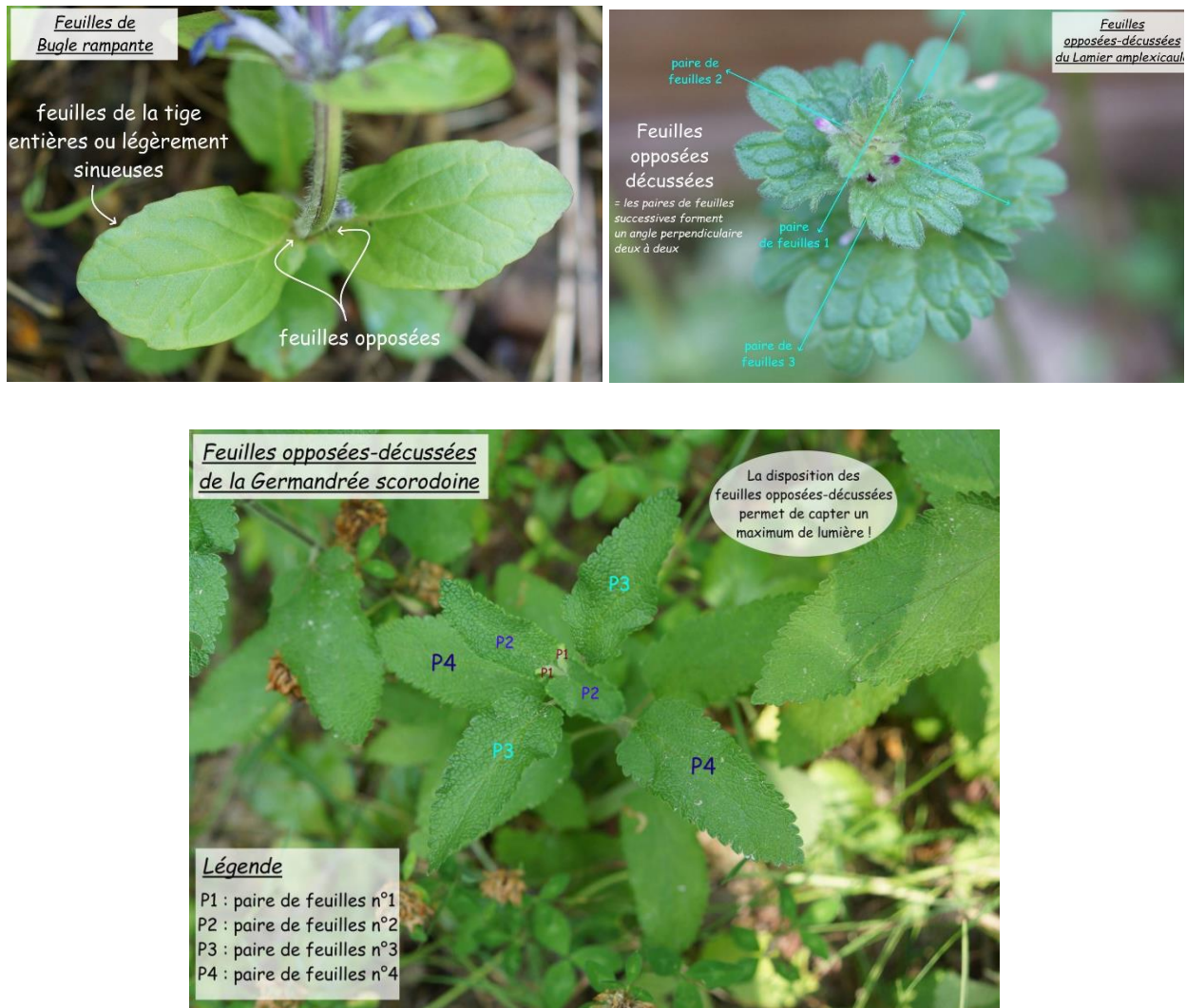


Figure 3 : Feuilles opposées-décussées de plantes de la famille des *Lamiaceae* (Vanette, 2020).

2.1.2. Fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites. Elles sont reformées à l'aisselle des feuilles supérieures en glomérules, eux-mêmes souvent regroupées en épis plus ou moins denses (Figure 4). Leur calice persistant est formé de 5 sépales diversement soudés avec souvent 2 lèvres (**Menoura et al., 2023**).



Figure 4 : Fleurs bilabiées de *Lamiaceae* (Vanette, 2020).

2.2. Systématique

Les Lamiacées font partie de l’embranchement des Spermaphytes (plantes à graine), du sous-embranchement des Angiospermes (plantes à ovules cachés dans un ovaire, formation d’un fruit), de la classe des Dicotylédones (deux cotylédons: organes de réserve) et de la sous-classe des Gamopétales (pétales soudés) (Elhadj et Bouchentouf, 2019).

Tableau 1 : Évolution du statut taxonomique de la famille des *Lamiaceae*

Classification classique (Crété, 1965)	Classification classique Cronquist, 1969	APG IV (Angiosperm Phylogenetic Group IV 2016)
	Domaine : Eucaryotes	
Règne : Végétal	Règne : Végétal	Règne : <i>Plantae</i>
	Division : <i>Magnoliophyta</i>	Embranchement : Spermaphytes
		Sous embranchement : Angiospermes
Classe : <i>Magnoliopsida</i>	Classe : <i>Magnoliopsida</i>	Classe : Eudicotylédones
Sous classe : Gamopétales	Sous – classe : Asteridées	Sous classe : <i>Asteridae</i> (<i>Euasteridae</i>)
Série : Hypogynes		
Sous série : Isostémones		
Ordre : Lamiales	Ordre : Lamiales	Ordre : Lamiales
Famille : Labiées	Famille : Lamiacées	Famille : <i>Lamiaceae</i>

2.3. Distribution mondiale

Les Lamiacées constituent une grande famille d'angiospermes quasi cosmopolite, absente uniquement dans les régions les plus froides de haute latitude et altitude. Cette famille comprend 236 genres et plus de 7000 espèces (**Bendiksby, 2011**). Les espèces de la famille des lamiacées sont des plantes diverses et adaptables, s'épanouissent dans une multitude d'écosystèmes, allant des forêts tropicales aux prairies arides. De nombreuses espèces sont également cultivées à grande échelle pour leurs propriétés culinaires, médicinales et ornementales (**Bekut et al., 2018**), mais il a été remarqué que la principale distribution de ces espèces se trouve dans la région méditerranéenne (Figure 5).

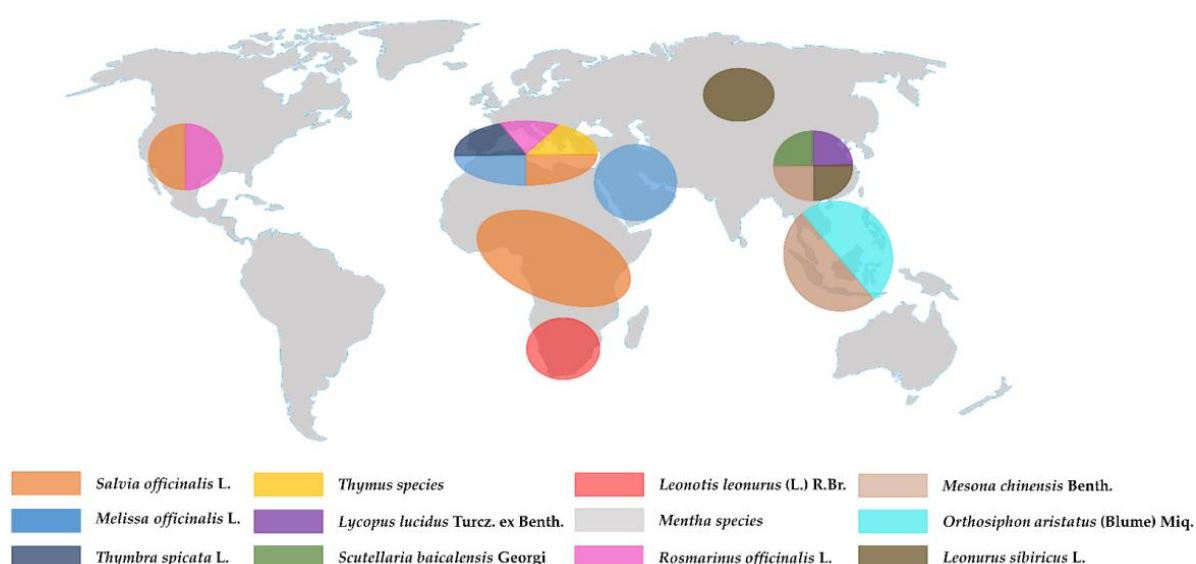


Figure 5 : Représentation géographique de la distribution mondiale de différentes plantes de *Lamiaceae* (**Diab et al., 2022**).

2.4. Intérêt nutritionnel et pharmacologique

Cette famille représente l'une des principales sources mondiales de plantes médicinales. Les espèces de *Mentha*, *Thymus*, *Salvia*, *Origanum*, *Coleus* et *Ocimum* sont largement utilisées à des fins alimentaires, aromatiques et dans diverses industries, y compris celle du bois (Tecton). En culture ornementale d'intérieur, on retrouve également quelques espèces du genre *Satureja*, de *Tubifera*, ainsi que des variétés de *Salvia* et de *Coleus* (**Elhadj et Bouchentouf, 2019**).

Dans la médecine traditionnelle africaine, les lamiacées sont employées comme des remèdes diurétiques, antisyphilitiques, antidiarrhéiques, cicatrisants, antiseptiques, et pour traiter divers troubles tels que les problèmes intestinaux et le météorisme (gonflement abdominal dû à des gaz) (Bechlem, 2018). De nombreuses espèces de cette famille ont démontré leur valeur pharmacologique dans la littérature et peuvent être répertoriées à titre indicatif dans le tableau2.

Tableau 2 : Quelques espèces d'intérêt pharmacologique de la famille des *Lamiaceae* (Naghibi *et al.*, 2010).

Nom scientifique	Nom français	Activité pharmacologique	Partie utilisée
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romarin	Insecticide, antinociceptive, antioxydante, diurétique. Anti-inflammatoire, tonique	Les sommités fleuries, les feuilles.
<i>Lavandula stoechas</i>	Lavette à toupet	Anticonvulsante, calmante, antispasmodique	Les feuilles.
<i>Thymus vulgaris</i>	Thym commun / Farigoule	Anti-inflammatoire, fongicide	Les sommités fleuries, les feuilles
<i>Lavandula dentata</i>	Lavande dentée	Effets anxiolytiques et calmants	Les feuilles et fleures

3. *Lavandula dentata* L.

3.1. Description morphologique

Lavandula dentata appartient à la famille des Lamiacées (*Lamiaceae*) et au genre *Lavandula*. Il existe environ 25 à 30 espèces différentes de lavande dans ce genre (Martins *et al.*, 2019). En Algérie poussent certaines espèces de Lavande : *Lavandula dentata*, *L. multifida*, *L. stricta*, *L. pubescens* et *L. stoechas* (Bousmaha *et al.*, 2005)

Lavandula dentata L. est un arbrisseau vivace, aromatique, dressé avec une grande ramification (Martins *et al.*, 2019 ; Bettai *et al.*, 2017), qui forme des touffes avec des tiges quadrangulaires, ligneuses, feuilletées au fond et lattées sous les pointes florales. Les feuilles persistantes sont très étroites, avec des bords enroulés, dentés et crénelés (El Abdali, 2017).

Elle se caractérise aussi par une abondante floraison bleu violet clair observée en saison printanière. Les fleurs et les bractées sont bleuâtres. La corolle monopétale à tube plus long que calice et renversée, à limbe partagé en cinq lobes arrondis et divisés en 2 lèvres (El Abdali, 2017).



Figure 6 : *Lavandula dentata* (Cliché Meskini, 2024)

3.2. Classification botanique

Lavandula dentata, communément appelée la lavande dentée, est une plante de la famille des Lamiacées. Voici une classification botanique simplifiée de cette plante :

Tableau 3 : Classification botanique de l'espèce *Lavandula dentata*

APG IV (Angiosperm Phylogenetic Group IV), 2016	
Règne	<i>Plantae</i>
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Eudicotylédones
Sous classe	<i>Asteridae (Euasteridae I)</i>
Ordre	Lamiales
Famille	<i>Lamiaceae</i>
Genre	<i>Lavandula</i>
Espèce	<i>Lavandula dentata</i>

3.3. Origine et aire de répartition

Le genre *Lavandula* est trouvé sous différents bioclimats et réparti dans la région méditerranéenne, l'Asie du sud-ouest et la péninsule arabe (**Belcadi et al., 2024**).

Lavandula dentata est originaire de la France et de la Méditerranée occidentale, et on le trouve également sur l'île du Cap-Vert, en Inde, dans les îles Canaries, en Afrique du Nord, dans la région méditerranéenne et dans le sud de l'Arabie (**Chaytor, 1937**). Elle pousse sur les sols rocheux et les garrigues des régions arides méditerranéennes ou sahariennes (**Bouyahya et al., 2023**).

En Algérie, le genre est représenté par sept espèces spontanées : *Lavandula dentata*, *L. multifida*, *L. coronopifolia*, *L. pubescens*, *L. stoechas*, *L. antineae* et *L. sahariensis* (**Quézel et Santa, 1963**). Quelques rares espèces disséminées en haute montagne ou limitées au grand désert du Sahara. Elles sont particulièrement abondantes et réparties sur de vastes zones.

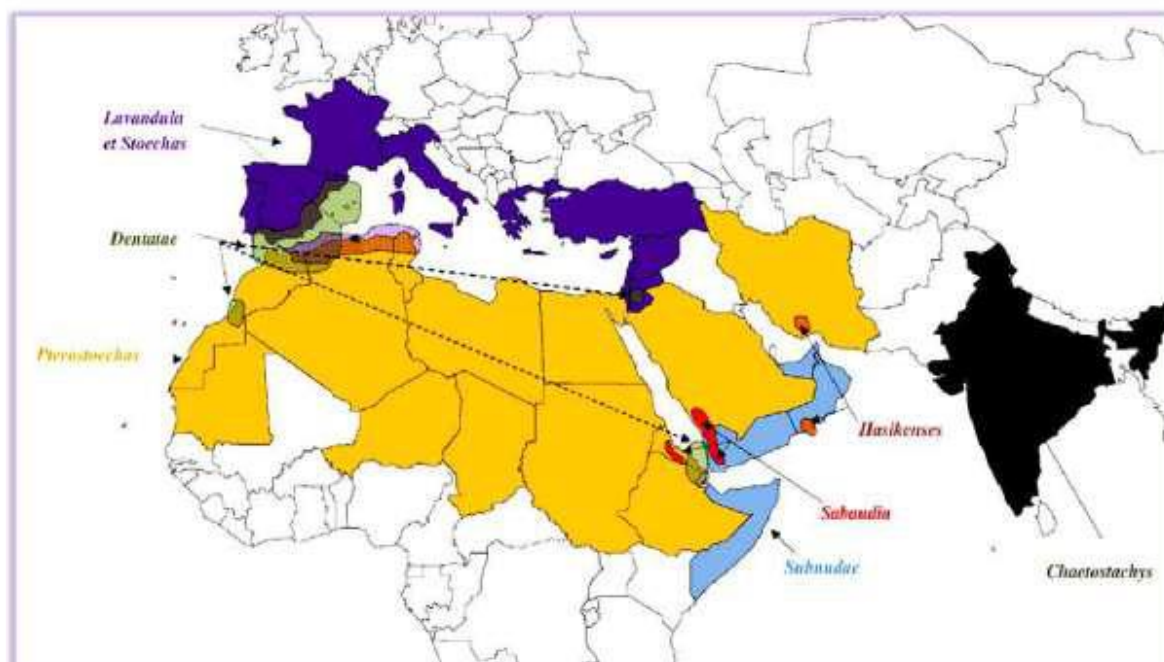


Figure 7 : Aire de répartition des espèces de lavandes dans le monde (**Guitton, 2012**).

Les principales zones de présence : **Jaune** : Section *Pterostoechas*, **Violet** : Sections *Lavandula* *Stoechas*, **Noir** : Section *Chaetostachys*, **Bleu clair** : Section *Subnuda*. **Vert** : Section *Dentatae*, **Rouge** : Section *Sabaudia* et **Orange** : Section *Hasikenses*.

3.4. Utilisation

Les données de la littérature ont indiqué que les huiles essentielles (HE) et les extraits de *Lavandula dentata* sont utilisés comme antioxydants (**Imen et al., 2021 ; Justus et al., 2018 ; Hu et al., 2017**), antidiabétiques, anticancéreux (**Justus et al., 2019a, 2019b ; Cossetin et al., 2018**), antispasmodique, antidiarrhéique. Ces activités biologiques peuvent être attribuées à la composition chimique de cette plante. En effet, *L. dentata* contient de nombreuses classes de composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, les terpénoïdes, les tanins et des dérivés anthracéniques (**Bouyahya et al., 2023**).

La lavande est employée en herboristerie, en aromathérapie. Elle est considérée comme une plante médicinale pour l'action de son huile. La production d'essences aromatiques par cette plante a un grand intérêt économique (**Guillon, 2010**), plus particulièrement, dans l'industrie de la lessive et de la savonnerie ainsi qu'en parfumerie. Cette lavande est utilisée pour soigner des plaies et des brûlures superficielles et présente des effets sédatifs, antibactériens, antifongiques, antidépressifs (**Cavanagh et al., 2002**) et anti-inflammatoires (**Sosa et Altinier, 2005**). Elle est également considérée comme une plante médicinale pour l'action de son huile dans le traitement des affections gastrointestinales, les infections microbiennes (**Boubaker et al., 2019 ; Bettaib et al., 2017**).

En 2009, La France compte près de 15.000 hectares de lavande. En Algérie, il y avait autrefois une quantité limitée d'huiles essentielles de lavande Produite (**Benabdelkader, 2012**). Les fleurs de lavande peuvent être infusées dans du lait puis utilisées pour préparation de la crème glacée à la lavande (**Kim et Lee, 2002**).

Les espèces de lavande produisent également du miel à la couleur et à l'odeur propres à chaque espèce (**Guyot-declerck et al., 2002**). De nombreuses plantes de lavande sont également vendus comme plantes ornementales dans les jardins populaires (**Lis-Balchin, 2002 ; Margaret, 1971**).

Chapitre II

Aperçu sur les huiles essentielles, les extraits et les activités biologiques

1. Les Huiles essentielles

Ce sont des substances volatiles et odorantes contenues dans les végétaux. Elles peuvent également être nommées huiles instables ou étherées, car elles proviennent d'une extraction par distillation des parties aromatiques des plantes. L'huile est dite "essentielle" car elle capture l'essence même de la plante, c'est-à-dire son parfum unique et ses propriétés caractéristiques. Elle représente la quintessence de la plante, concentrant ses principes actifs et ses arômes dans un liquide précieux (Sanon *et al.*, 2002 ; Ahmed *et al.*, 1993).

1.1. Localisation des huiles essentielles

L'huile essentielle est souvent considérée comme l'essence même de la plante, concentrant ses "forces vitales". On l'extrait de différentes parties du végétal, comme les fleurs, les feuilles, les tiges, les racines, les graines et les écorces. La quantité d'huile essentielle obtenue peut varier considérablement, allant de 0,001 % à 9 % de la plante entière. Les huiles essentielles, prisées pour leurs saveurs et leurs vertus réparatrices, sont présentes dans une multitude de produits, tels que les aliments, les médicaments et les cosmétiques. Contrairement aux imitations de qualité inférieure, les huiles authentiques offrent une palette complète d'intensités aromatiques et curatives (Ahmed *et al.*, 1993).

1.2. Constituants chimiques des huiles essentielles

Une huile essentielle est un véritable trésor de complexité, composée de plus de 250 composants chimiques. Si la plupart de ces composés sont connus et compris, certains peuvent néanmoins se révéler imprévisibles, ajoutant une part de mystère à ce concentré naturel. L'huile essentielle est une composition complexe de substances, principalement constituées d'oxygène, de carbone et d'hydrogène (Palai, 2015).

Deux groupes de composés se distinguent au sein de cette composition :

✓ Partie volatile

Cœur aromatique de l'huile essentielle, la partie volatile représente 85 à 90% de son poids. Elle est composée d'hydrocarbures monoterpéniques et sesquiterpéniques, ainsi que d'esters, qui lui confèrent son odeur caractéristique et ses propriétés (Palai, 2015).

✓ **Partie non volatile**

La partie non volatile, représentant 1 à 10% de l'huile essentielle, est un ensemble complexe de substances. Elle se compose d'hydrocarbures, d'acides gras, de cires et de flavonoïdes. La composition exacte de cette partie varie selon le type de plante et son environnement (**Hites, 1997**).

1.2.1. Les terpènes

Les huiles essentielles sont des mélanges, souvent complexes, de constituants qui appartiennent à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des *terpénoïdes* et le groupe des *phénylpropanoïdes* qui est cependant moins fréquemment rencontré (**Pharmacognosie, 1999**) .

Les terpènes constituent le plus important groupe des produits naturels, comprenant environ 30.000 composés (**Breitmaier, 2006**). Ils sont constitués de l'assemblage d'une ou plusieurs unité(s) à cinq atomes de carbones à squelette 2-méthylbutane, très fréquemment représentée par une unité isoprène (C_5H_8)ⁿ.

Selon le nombre d'unité(s) isoprène(s), on distingue :

Les *hémiterpènes* C_5 , les *monoterpènes* C_{10} , les *sesquiterpènes* C_{15} , les *diterpènes* C_{20} , les *sesterpènes* C_{25} , les *triterpènes* C_{30} , les *tétraterpènes* C_{40} et les *polyterpènes* C_{5n} (Figure 8). Les terpènes les plus fréquemment rencontrés dans les huiles essentielles sont les hémiterpènes, les monoterpènes, les sesquiterpènes, et parfois quelques diterpènes (**Bakkali et al., 2008; Breitmaier, 2006**). Dans la nature, les terpènes peuvent présenter diverses fonctions chimiques: alcools, oxydes, aldéhydes, cétones, acides carboxyliques, et esters (**Breitmaier, 2006**).

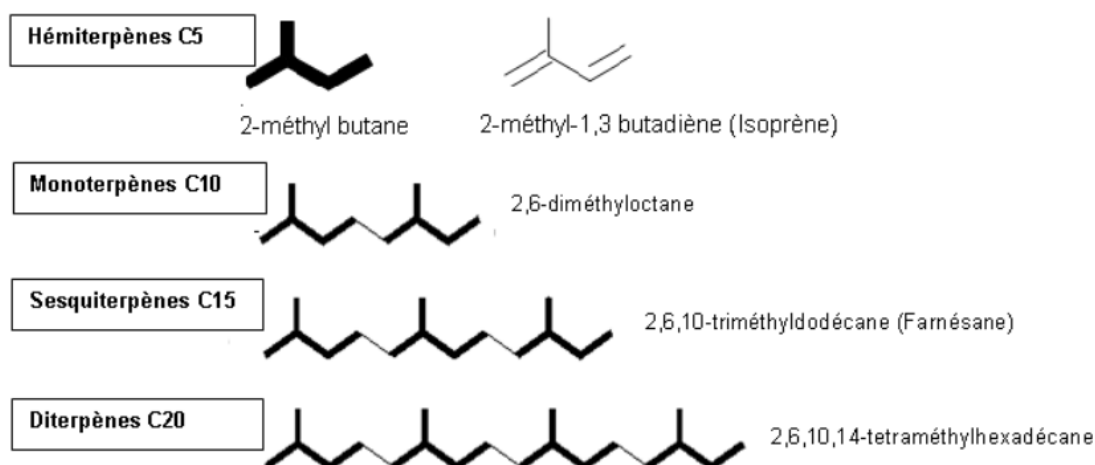


Figure 8: Parents hydrocarbonés des terpènes des huiles essentielles (Breitmaier, 2006).

- Les monoterpènes

Plus de 1500 monoterpènes, résultant de la fusion de deux unités isoprènes ont été décrits (Breitmaier, 2006). Ils peuvent être, linéaires (acycliques), ou cycliques (mono, bi ou tricycliques).

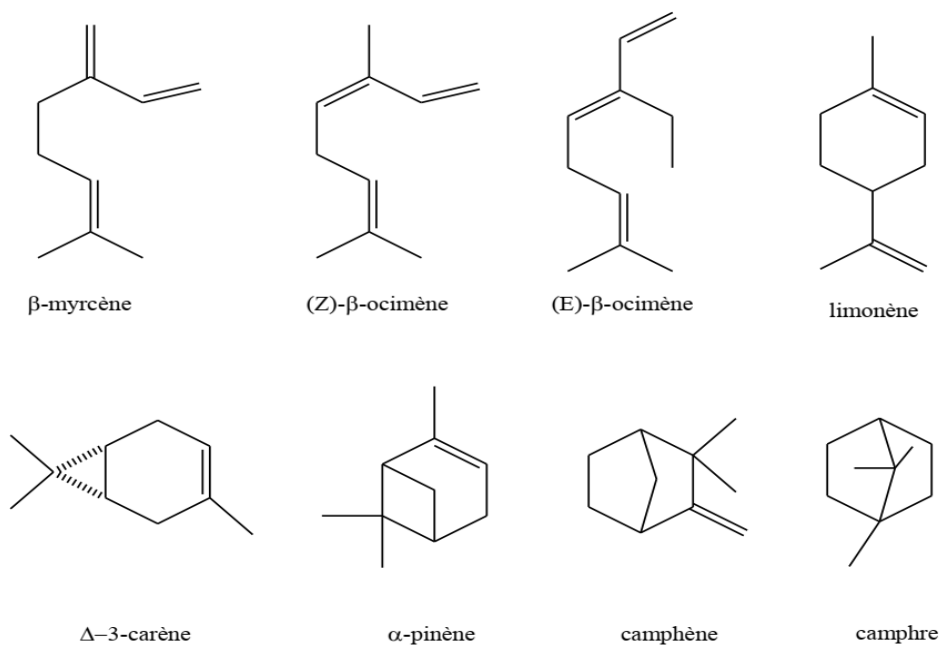


Figure 9 : Structure de quelques monoterpènes (Breitmaier, 2006).

- Les sesquiterpènes

Le nombre de molécules sesquiterpéniques connues n'a cessé de croître, depuis l'isolement du cadinène et du caryophyllène par Wallach à la fin du XIX^e siècle. Il s'agit de la classe la plus diversifiée des terpènes, avec plus de 10000 molécules connues jusqu'à ce jour (**Breitmaier, 2006**). Ce sont des dérivés du 2, 6, 10-triméthyl dodécane ou farnésane, et ils présentent une très grande variété de squelettes (figure 10).

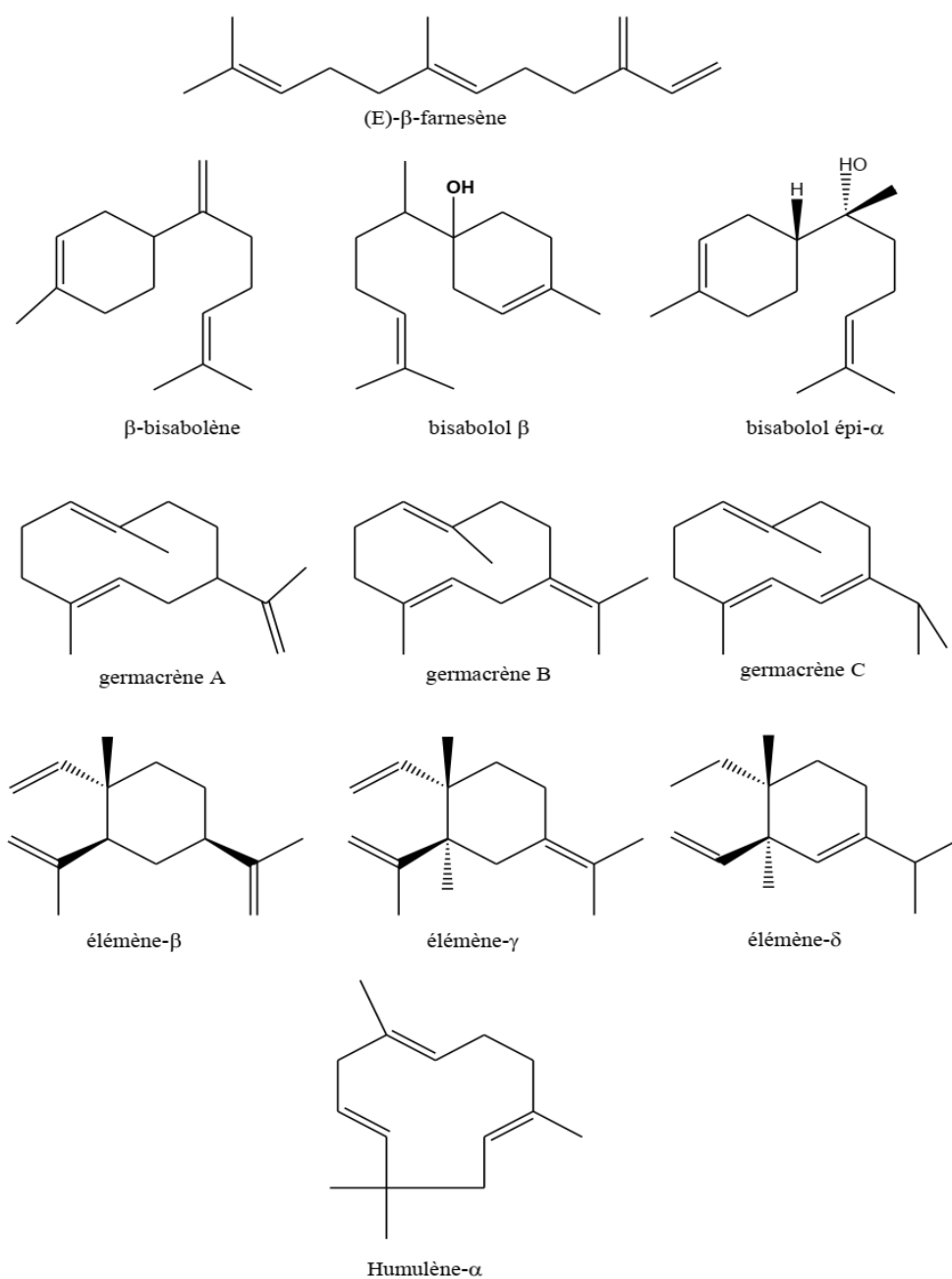


Figure 10 : Structure de quelques sesquiterpènes (**Breitmaier, 2006**).

1.3. Techniques d'extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont obtenues avec des rendements très faibles (de l'ordre de 1%), ce qui en fait des substances fragiles, rares, et précieuses. Ainsi, les différentes techniques d'extraction des huiles essentielles ou extraits aromatiques doivent d'une part, tenir compte de ces caractéristiques et d'autre part, apporter des performances quantitatives satisfaisantes. Une forte demande toujours plus exigeante basée sur différents phénomènes physiques : la distillation, l'extraction ou la séparation, ces techniques d'extraction seront présentées selon le principe sur lequel elles sont basées et classées en deux catégories distinctes selon le produit final obtenu : une huile essentielle ou un extrait aromatique **(El Haib, 2011)**.

1.3.1. Distillation

La méthode traditionnelle d'extraction des composés volatils sous forme d'huiles essentielles à partir de matériel végétal est la distillation. Lors de la distillation, les plantes aromatiques exposées à l'eau bouillante ou à de la vapeur d'eau libèrent leurs huiles essentielles par évaporation. La récupération de l'huile essentielle est facilitée par la distillation de deux liquides non miscibles, à savoir l'eau et l'huile essentielle, selon le principe qu'à la température d'ébullition, la pression de vapeur combinée est égale à la pression ambiante. Ainsi, les ingrédients de l'huile essentielle, dont les points d'ébullition se situent normalement entre 100 et 300°C, sont évaporés à une température proche de celle de l'eau. La vapeur chargée d'huile essentielle s'élève et pénètre dans un tube étroit qui est refroidi par une source extérieure. Les vapeurs et la vapeur d'huile essentielle étant condensées, elles sont recueillies et séparées dans un récipient traditionnellement appelé " flacon florentin " **(Guenther, 1948)**.

L'huile essentielle, plus légère que l'eau, flotte en haut tandis que l'eau va au fond et peut être facilement séparée. La quantité d'huile essentielle produite dépend de quatre critères principaux : la durée de la distillation, la température, la pression de fonctionnement et, surtout, le type et la qualité du matériel végétal. En règle générale, le rendement en huiles essentielles des plantes se situe entre 0,005 et 10 % **(Naves, 1974)**.

Historiquement, il existe deux types de distillation : la distillation à l'eau (hydrodistillation), la distillation eau/vapeur.

➤ Hydrodistillation

Il s'agit de la méthode la plus simple et de ce fait-là plus anciennement utilisée. Le principe de l'hydrodistillation correspond à une distillation hétérogène qui met en jeu l'application de deux lois physiques (loi de Dalton et loi de Raoult) (**Pavia *et al.*, 1976**).

La distillation à l'eau est parfois appelée distillation indirecte à la vapeur. Dans cette méthode, le matériel végétal est trempé dans l'eau et chauffé jusqu'à ébullition. La vapeur qui résulte de l'ébullition de l'eau entraîne les huiles volatiles avec elle. Le refroidissement et la condensation séparent ensuite l'huile de l'eau. Outre sa lenteur, cette technique présente l'inconvénient de détériorer les matériaux et les parfums en raison de l'exposition constante à la chaleur (**Al-Hilphy, 2017**).

Au laboratoire, le système équipé d'une cohobe généralement utilisé pour l'extraction des huiles essentielles est le Clevenger (Figure 11)

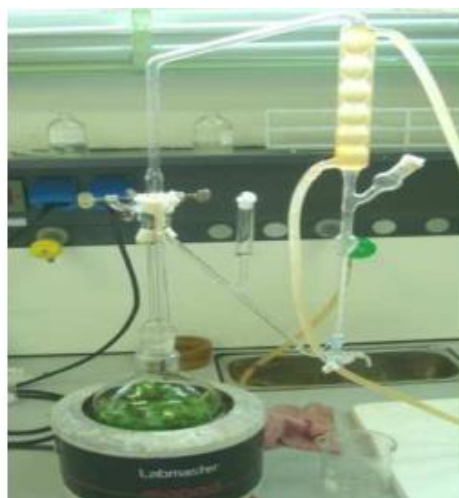
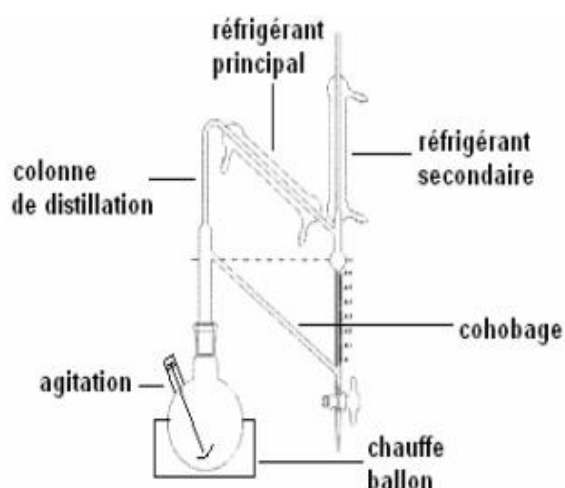


Figure 11 : Montage d'hydrodistillation (**El Haib, 2011**).

Les eaux aromatiques ainsi prélevées sont ensuite recyclées dans l'hydro-distillateur afin de maintenir le rapport plante/eau à son niveau initial.

➤ Entraînement à la vapeur d'eau

Dans la méthode eau/vapeur, le matériel végétal feuillu est placé sur une grille au-dessus de l'eau chaude, et la vapeur passe à travers le matériel végétal. Les feuilles doivent être

soigneusement réparties sur le gril pour que la vapeur soit homogène et que l'extraction soit complète (Chemat et Sawamura, 2010).

Dans ce processus, aucune eau n'est placée dans la cuve de distillation elle-même. Au lieu de cela, la vapeur est dirigée dans le réservoir à partir d'une source extérieure. Les huiles essentielles sont libérées de la matière végétale lorsque la vapeur fait éclater les sacs contenant les molécules d'huile. À partir de ce stade, le processus de condensation et de séparation est standard (Akdağ et Öztürk, 2019).

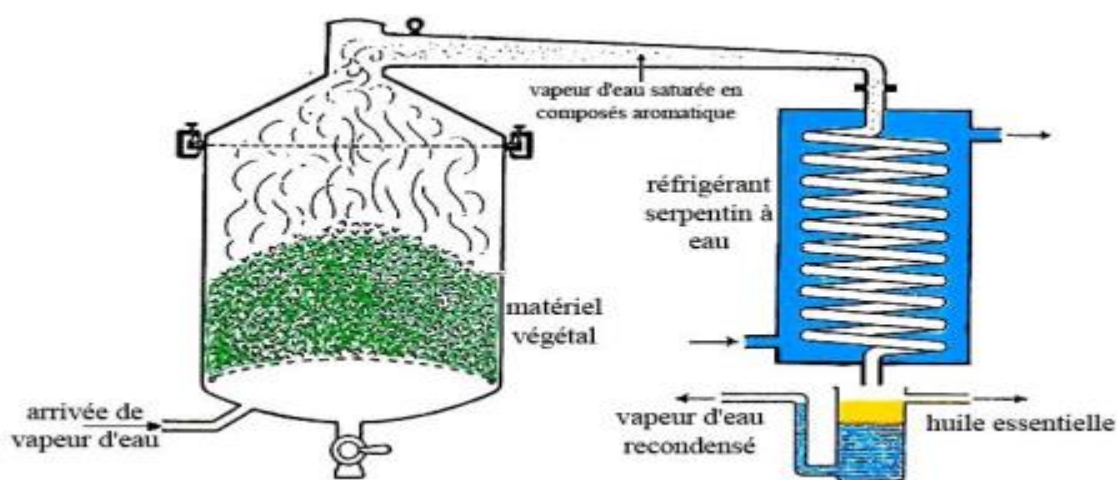


Figure 12 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau (El Haib, 2011).

2. Les extraits

2.1. L'extrait décocté

Pour extraire les principes actifs des racines, des tiges et des baies, il faut généralement leur faire subir un traitement plus énergétique qu'aux feuilles ou aux fleurs. Une décoction consiste à faire bouillir dans l'eau les plantes séchées ou fraîches, préalablement coupées en petits morceaux ; puis à filtrer le liquide obtenu (le décocté). On peut la consommer chaude ou froide (Chevallier, 2001).

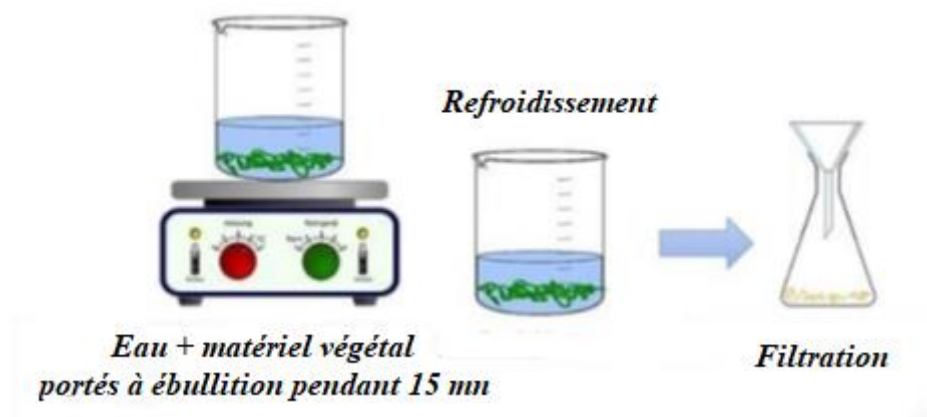


Figure 13 : Étapes de préparation d'une décoction aqueuse.

2.2. L'extrait infusé

Pour obtenir une infusion, verser de l'eau bouillante sur les plantes dans un récipient couvert pour éviter toute perte d'essence volatile pendant 24 heures, puis filtrer (**Paul, 1977**).

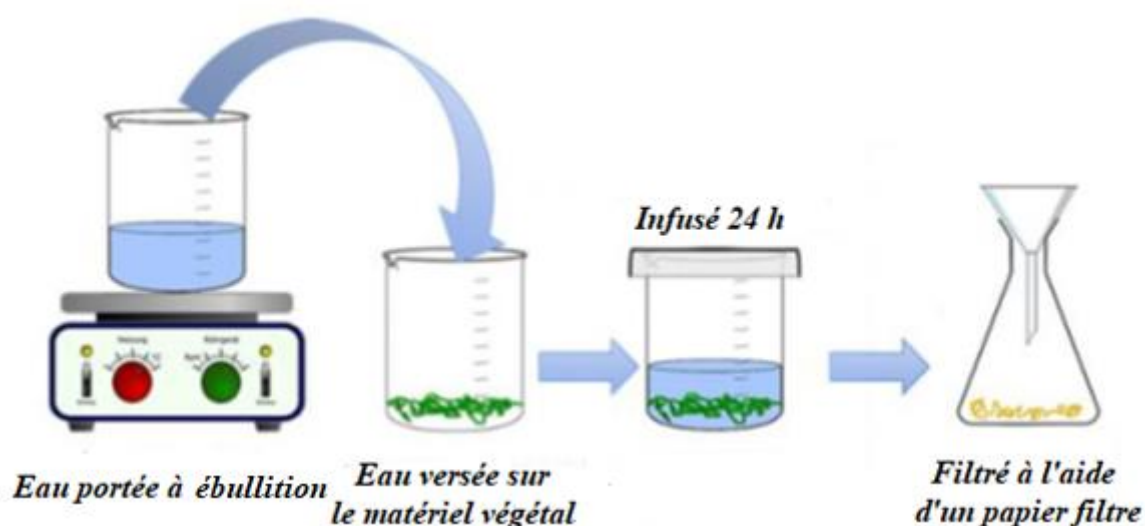


Figure 14 : Étapes de préparation d'une infusion aqueuse.

3.3. L'extrait macéré

La macération consiste à faire tremper les plantes dans de l'eau froide pendant plusieurs heures. Les plantes peuvent également macérer dans l'alcool, dans la glycérine. Un solvant est un liquide qui retient les principes actifs de la plante (**Nogaret-Ehrhart, 2003**).

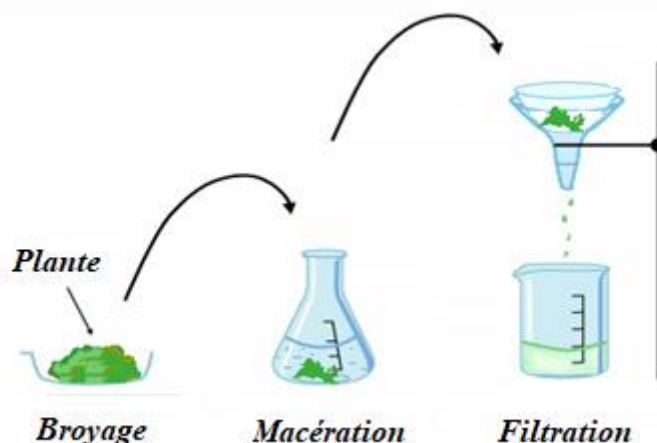


Figure 15 : Étapes de préparation d'une macération aqueuse.

3. Activités biologiques

3.1. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des agents naturels, telles que les huiles végétales, ont été reconnue et utilisée depuis des siècles, notamment dans la conservation des aliments (**Lehout et Laib, 2015**).

Les huiles essentielles les plus étudiées pour leurs propriétés antibactériennes appartiennent à la famille des Labiées, riches en composés phénoliques tels que l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés possèdent un effet antibactérien contre un large éventail de bactéries, y compris *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Bacillus cereus* (**Bourkache, 2016**).

L'évaluation de l'activité antibactérienne d'un principe actif se fait grâce à la détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI). La CMI se définit comme la plus faible concentration en principe actif capable d'inhiber toute croissance bactérienne à 24 h (cette grandeur est aussi utilisée pour l'évaluation des activités antifongiques) (**Jehl, 2014**). La CMI se distingue de la CMI₅₀, de la CMI₉₀ et de la CMB (Concentration Minimale Bactéricide). Il existe plusieurs définitions des CMI₅₀ et CMI₉₀ suivant les auteurs. Nous ne retiendrons que celle de la CMB qui correspond à la concentration en principe actif permettant de tuer 99,9 % des bactéries à 24 h. La CMI est actuellement la seule valeur pour laquelle il existe un consensus en termes de définition et d'utilisation, pour l'évaluation des activités antibactériennes et antifongiques (**Fontanay et al., 2015**).

3.2. L'activité antioxydante

Radicaux libres, espèces oxygénées activées (EOA), stress oxydant et antioxydants sont devenus des termes familiers tant dans le monde médical que dans le grand public. Au début des années 2000, ces notions n'étaient généralement évoquées que dans les congrès scientifiques. Mais ces dernières années, l'industrie pharmaceutique, les laboratoires d'analyses médicales et la presse grand public ont massivement diffusé des informations relatives aux antioxydants (**Hadjdjilani et al., 2022**).

3.2.1. Les radicaux libres

Un radical libre est une substance chimique, atome ou molécule, qui contient un électron non jumelé. Extrêmement instable, ce composé peut réagir avec les molécules les plus stables. Il peut soit arracher un électron (se comporter comme un agent oxydant), ou en produire un (qui agit alors comme un agent réducteur). Cette première réaction entraîne généralement la formation de chaînes de nouveaux radicaux libres (**Larbi, 2022**).

Un radical libre est une entité chimique caractérisée par la présence d'un électron non apparié sur sa couche périphérique. Les espèces oxydantes se divisent en deux catégories : les espèces réactives de l'oxygène et celles comprenant de l'oxygène combiné à de l'azote ou du chlore. Le tableau ci-dessous présente les principales sources de ces radicaux libres (**Rahou, 2017**).

Tableau 4 : Principales sources des radicaux libres (endogènes et exogènes)

Sources des radicaux libres	
Endogènes	Exogènes
NADPH oxydase	Toxiques environnementaux
Chaine respiratoire mitochondriale	Radiations ionisantes
Peroxyosomes	Radiations UV
Cytochromes P450	Champ électrique
Xanthine oxydase	Xénobiotiques pro-oxydants

3.2.2. Stress oxydant

Le stress oxydatif, également connu sous le nom de stress oxydant, se caractérise par un déséquilibre entre les agents oxydants et les défenses antioxydantes de l'organisme, favorisant les premiers. Cela entraîne des dommages cellulaires irréversibles. Ce déséquilibre peut être

causé par divers facteurs, tels que la surproduction endogène d'agents pro-oxydants d'origine inflammatoire, une carence en antioxydants, ou une exposition à des éléments environnementaux pro-oxydants comme la pollution, les rayonnements gamma et ultraviolets, l'ozone, certains pesticides et solvants, les métaux toxiques, un exercice physique intense ou mal géré, la consommation de tabac et d'alcool, ainsi que la prise de certains médicaments **(Fettah, 2019)**.

Lorsque la production physiologique des radicaux libres au sein de l'organisme est parfaitement régulée par des systèmes de défense : la balance entre antioxydants et pro-oxydants est en équilibre. Si cet équilibre est perturbé, soit par une carence en antioxydants, soit par une surproduction massive de radicaux libres, le déséquilibre entre les systèmes producteurs d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les systèmes de défense provoquera un « stress oxydatif » **(Boudjedjou, 2020)**.

3.2.3. Mécanisme d'action des antioxydants

Dans les conditions dites physiologiques, il y a un équilibre entre la production des radicaux libres et les mécanismes endogènes de défense antioxydante constituée par le système enzymatique (catalase, peroxydase dismutase, glutathion peroxydase), les vitamines A, E et C et les polyphénols apportés par l'alimentation et les plantes. Ainsi le rôle déterminant de la peroxydase dismutase SOD dans le système de défense antioxydante de l'organisme est connu depuis 1968. L'ion peroxyde O^{2-} est le point de départ de la chaîne de production des radicaux libres. Or dès ce stade précoce, la SOD inactive l'ion O^{2-} en le transformant en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 . Celui-ci est rapidement catabolisé par la catalase et les peroxydases en dioxygène O_2 et en molécules d'eau H_2O . L'activité antioxydante de ces molécules est déterminée in vitro par plusieurs méthodes telles que celle du DPPH **(Koudou, 2009)**.

Partie 2

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et Méthodes

1. Objectif

Notre travail consiste à étudier le pouvoir antioxydant des huiles essentielle et des extraits aqueux (décocté, macéré et infusé) de la plante *Lavandula dentata* L. de la région de Mostaganem, et d'estimer également son activité antibactérienne vis-à-vis *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae*.

2. La zone d'étude

2.1. Localisation

La wilaya de Mostaganem est située au nord-ouest du territoire Algérien ; comprise entre les latitudes : « 35°56'00" N » et les longitudes : « 0°05'00" E » et couvre une superficie de **2.269 Km²**. La Wilaya de Mostaganem est constituée de 10 Daïras et 32 Communes. Elle possède une façade maritime s'étendant sur **150 Km**, elle est limitée :

- Au Nord par la mer méditerranée ;
- A l'Ouest par les wilayas d'Oran et de Mascara ;
- A l'Est par la wilaya de Chlef ;
- Au Sud par la wilaya de Relizane (**Boughazi, 2018**).

2.2. La Population

En 2018, la population de la Wilaya de Mostaganem a été estimée de 877.450 Habitants avec une densité moyenne de 387 hab./Km² (**Boughazi, 2018**).

2.3. La végétation

Les forêts de la wilaya de Mostaganem, couvrent une superficie de 34.154 ha avec un taux de boisement de 15% caractérisé par une forte dispersion des peuplements et sa distribution est très inégale selon les zones.

Les essences principales qui composent le fond forestier sont *Tetraclinis articulata*, *Juniperus oxycedrus*, *Pinus halepensis*, *Pinus picea* et l'Eucalyptus avec un sous-bois dense composé de : *Lavandula*, *Rosmarinus* et *Nerium*, facilement inflammables en périodes de sécheresse.

Les menaces sur ces ressources forestières sont essentiellement dues aux phénomènes d'incendies, de déboisements, de maladies parasitaires causées par les attaques répétées des insectes et les pressions exercées par les populations riveraines (Mecib, 2019).

2.4. Le climat

À partir de diagramme illustré par la figure 16, on constate que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux périodes : une *période froide et humide* : allant du mois d'Octobre au mois de Mai ; et une *période sèche et chaude* : durant les mois de Mai, Juin, Juillet et Août.

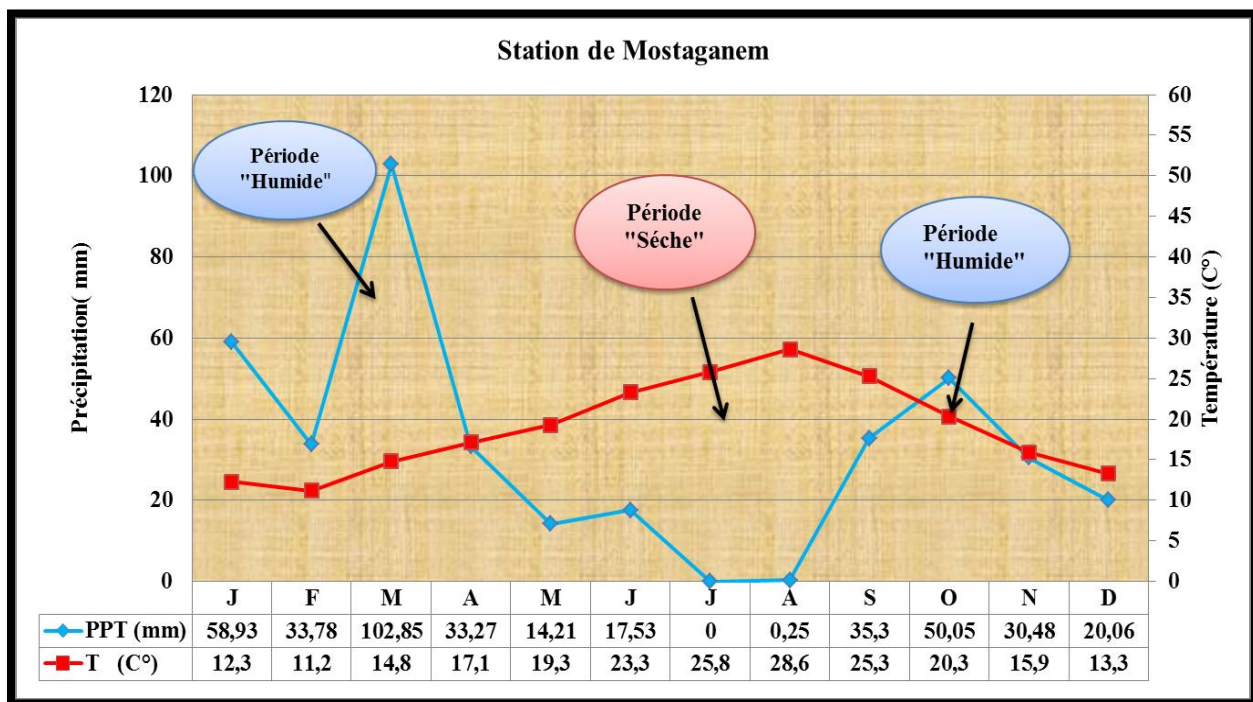


Figure 16: Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la wilaya de Mostaganem (ONM, 2019).

3. Matériel et Méthodes

3.1. Matériel végétal

➤ L'identification de la plante *Lavandula dentata* a été effectuée par l'observation détaillée de la morphologie des tiges, feuilles et fleurs, conformément au guide de flore de **Quezel et Santa (1962)**.

➤ Après l'identification, la plante étudiée a été récolté durant le mois de février 2024 dans la commune de Ben Abdelmalek Ramadan (Wilaya de Mostaganem), situé à 28 km à l'Est du centre de la wilaya de Mostaganem et près du phare maritime Cap Ivi (36°06'48.7"N 0°14'02.8"E).

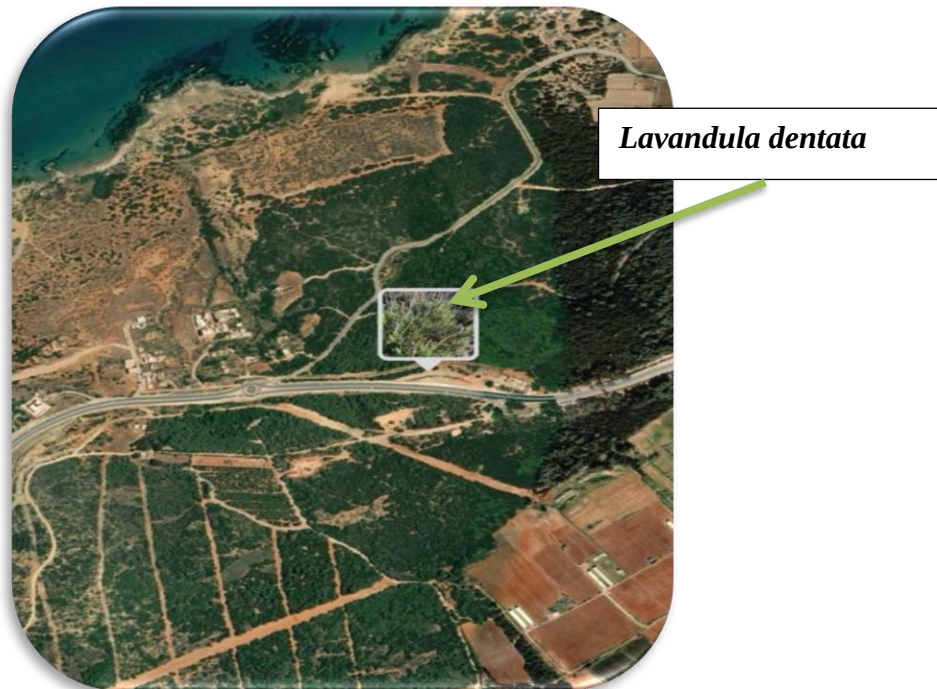


Figure 17 : Localisation de l'espèce étudiée (Google Map, 2024)

➤ Après la récolte, La plante prélevée est mise à sécher à l'abri de la lumière, dans un environnement sec et aéré, à température ambiante, pendant une quinzaine de jours.

3.2. Extraction des huiles essentielles

Dans notre étude, nous avons procédé à l'extraction des huiles essentielles en utilisant la méthode d'hydrodistillation par l'appareil Clevenger (figure 18).

Une quantité de 50g de la matière sèche de l'espèce *Lavandula dentata* et 400ml de l'eau distillée ont été placées dans le ballon de Clevenger, le mélange a été porté à ébullition. La vapeur détruit la structure des cellules végétales, libère les molécules contenues et entraîne les plus volatiles en les séparant du substrat cellulosique. La vapeur chargée de l'essence de la matière première distillée se condense dans le serpentín de l'alambic, ce qui permet d'obtenir deux phases plus ou moins immiscibles : l'hydrolat (eau aromatique) et l'huile essentielle. Cette dernière se distingue de l'hydrolat par sa différence de densité et de couleur. L'huile essentielle est récupérée grâce à un robinet.



Figure 18 : Appareil Clevenger (Cliché Meskini et Sy, 2024).

L'huile essentielle récupérée est pesée et conservée à l'abri de la lumière dans des tubes bien fermés, puis stockés dans un réfrigérateur à une température de 6°C jusqu'à leur utilisation (figure 19).

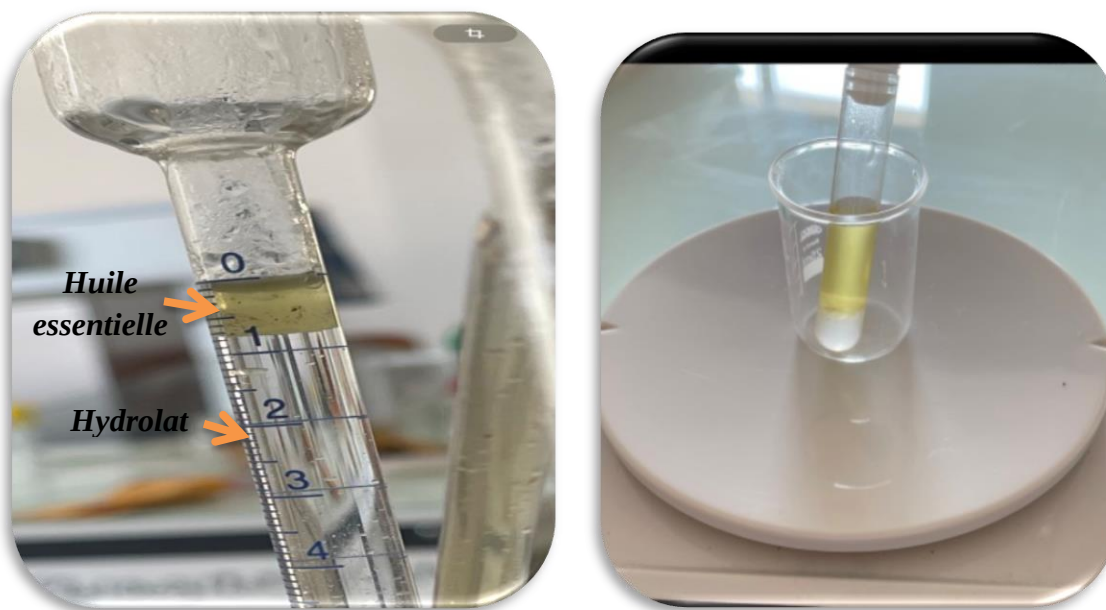


Figure 19 : Séparation des huiles essentielles par décantation (Cliché Meskini et Sy, 2024).

- **Calcul de rendement**

Selon la norme d'**AFNOR (2000)**, le rendement des huiles essentielles d'une plante (RHE %) est le rapport entre le poids de l'huile extraite (MHE) et la masse de la matière végétale utilisée (Mmv). Le rendement, exprimé en pourcentage, est calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = (\text{Masse d'huile (g)} / \text{Masse de matériel végétal (g)}) \times 100$$

3.3. Préparation des extraits

Tout d'abord les feuilles ont été broyées à l'aide de Moulin à café jusqu'à l'obtention d'une poudre sèche et fine. Cette poudre est ensuite conditionnée dans des bocaux et stockée dans un endroit sec à l'abri de la lumière pour éviter toute détérioration.

Les extraits aqueux ont été préparés à raison de 20 g de poudre pour 200 ml d'eau distillée :

Décoction

La poudre végétale mélangée à l'eau bouillante est portée à ébullition pendant 15 minutes, puis filtrée à l'aide d'un papier filtre (papier Whatman 3mm).

Infusion

La poudre est infusée durant 24h dans l'eau distillée. Le mélange a été laissé dans l'obscurité, puis filtré.

Macération

La poudre est mélangée à l'eau froide et laissée pendant 24 h à l'obscurité, puis filtrée

Les filtrats ont été séchés à l'étuve à 37°C pendant 24h.

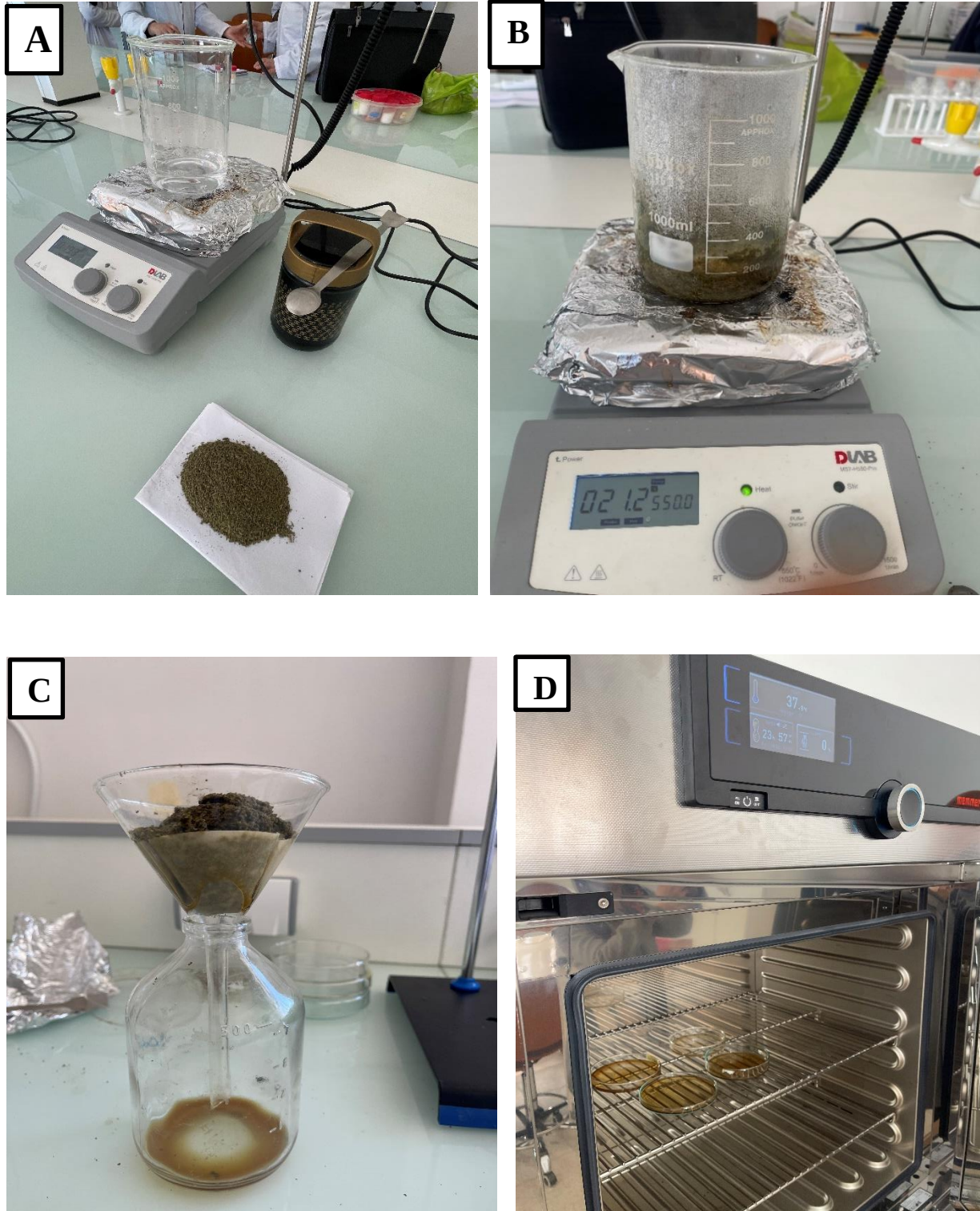


Figure 20 : Etapes de préparation des extraits (Cliché Meskini et Sy 2024).

3.4. Activité antioxydante

3.4.1. Piégeage du radical 2-diphényl-1- picrylhydrazyl (DPPH)

Pour l'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles et des extraits, la méthode de **Larrauri *et al.* (1998)** de piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) fut l'un des premiers radicaux libres utilisés. Le mécanisme général de cette réaction est la réduction du radical (DPPH) ayant une couleur violette par les antioxydants en lui transférant un proton, alors il se transforme en une molécule stable DPPH-H de couleur jaune. L'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à piéger les radicaux libres (**Molyneux, 2004**).

3.4.2. Activité antioxydante des huiles essentielles

- **Préparation de la solution DPPH**

- On dissout dans 100 ml d'éthanol, 4 mg de DPPH sous agitation pendant 30 min à température ambiante ;
- On mesure l'absorbance initiale de cette solution Abs_0 à 517 nm ;
- Nous allons préparer des solutions à différentes concentrations : 10, 20, 30, 40, 50, 70 et 100 μ l, ces derniers seront ajustés avec 1000 μ l de l'éthanol et 1000 μ l de la solution de DPPH ;
- On mesure l'absorbance de chaque solution à 517 nm.



Figure 21 : Les échantillons avant l'incubation (**Cliché Meskini et Sy 2024**).

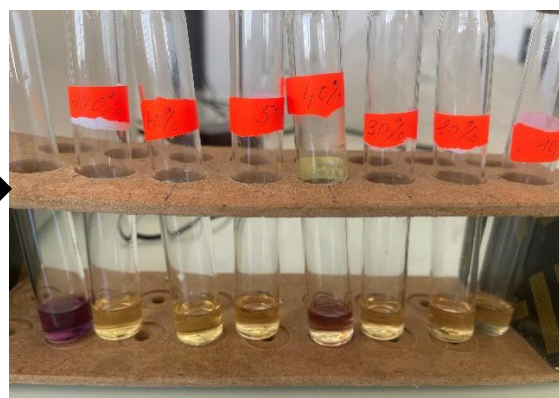


Figure 22 : Les échantillons après l'incubation (**Cliché Meskini et Sy 2024**).

3.4.3. Activité antioxydante des extraits

La capacité de piégeage des radicaux libres DPPH des extraits a été évaluée selon la méthode de DPPH (Larrauri *et al.*, 1998).

- Une quantité de 2,4 mg du DPPH est mélangée avec 100 ml de méthanol pour former la solution DPPH ;
- Ensuite, 0,2 gr de chaque extrait (décocté, infusé et macéré) sont mélangés avec 10ml d'eau distillé pour former la solution mère (20 mg/ml) ;
- Après, nous avons préparé les différentes concentrations : 10 ; 5 ; 2,5 ; 1,25 ; 0,625 mg/ml.
- 750 µl de chaque concentration sont ajoutés à 1,5 ml de la solution de DPPH. En outre, nous avons préparé un tube témoin qui contient 1,5 ml de DPPH avec seulement 750 µl d'eau distillée. On laisse les mélanges à température ambiante dans l'obscurité pendant 30 min d'incubation.
- L'absorbance a été mesurée à l'aide du spectrophotomètre UV avec une longueur d'onde de 515 nm.



Figure 23 : les différents extraits après incubation (Cliché Meskini et Sy 2024).

3.4.4. Expression des résultats

Le pourcentage de réduction du radical libre DPPH est exprimé par la formule suivante :
 L'activité de radical-balayage de DPPH (%) = $[(\text{Abs blanc} - \text{Abs échantillon testé}) / \text{Abs blanc}] \times 100$.

- Abs blanc : absorbance de la réaction témoin (contenant tous les réactifs sauf l'extrait).

Pour chaque extrait, nous avons déterminé la valeur IC₅₀, concentration de l'extrait qui cause la perte de 50% de l'activité du DPPH (Samarth *et al.*, 2008).

Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard, l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons.

Les résultats exprimés sont la moyenne de trois mesures effectuées.

3.5. Activité antibactérienne

3.5.1. Souches bactériennes

- *Escherichia coli* (ATCC 25922)

Escherichia coli est un type de bactéries coliformes fécaux gram négatif appartenant aux bactéries trouvées dans les intestins des humains et des animaux à sang chaud. *E. coli* est inoffensif et a une fonction utile dans le corps en arrêtant la croissance d'espèces bactériennes nuisibles et en synthétisant les vitamines nécessaires (vitamine K) qui aide à la coagulation du sang (Merini et Messei, 2023).

La bactérie *E. coli* est l'un des anaérobies facultatifs prédominants dans le tractus gastro-intestinal humain. Les souches de *E. coli* apportent des bénéfices pour la santé mais peuvent être nuisibles à l'hôte. Une souche pathogène de *E. coli* peut causer des maladies diarrhéiques, des séquelles graves, des infections urinaires, des méningites et des septicémies (Abass *et al.*, 2017).

- *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923)

Staphylococcus aureus est un germe qui coexiste dans la peau humaine et le tractus gastro-intestinal. Il est également une cause majeure d'infections cutanées pyogéniques ou toxiques telles que la bactériémie, la septicémie et la pneumonie (Abdoukel *et al.*, 2023).

Les staphylocoques sont peu exigeants sur le plan nutritif, aéro- anaérobies facultatifs c'est-à dire qu'ils sont capables de se développer à la surface de la peau, en aérobiose et aussi dans les tissus mal oxygénés. Ils croissent bien sur les milieux usuels simples, de même que sur la plupart des milieux qui favorisent la croissance des bactéries à Gram positif (Fontanay *et al.*, 2015).

- ***Klebsiella pneumoniae* (ATCC 70603)**

Klebsiella pneumoniae est l'une des bactéries ayant connu une émergence importante de résistance aux antibiotiques et un taux élevé d'infections. L'utilisation de la génomique comparative et des analyses in silico a permis d'identifier plus de 6.000 gènes impliqués dans la virulence, la résistance aux antibiotiques, l'infection et la colonisation chez *Klebsiella pneumoniae* (Saad *et al.*, 2023).

3.5.2. Le milieu de culture

Pour la préparation de la gélose de Mueller-Hinton, 38 g de poudre de milieu de culture a été mélangé avec 500 ml d'eau distillé. La solution a été bouillie pour permettre la dissolution du milieu de culture. Le pH final du milieu été réglé à 7,3 avec du NaOH. Le milieu a été réparti dans des flacons pour stérilisation et stockage.

3.5.3. La solution mère et les solutions diluées

En totalité, 200 mg de chaque extrait sec (décocté, infusé et macéré) ont été mis dans des tubes à essais contenant 1 ml de DMSO 10%, la solution a été homogénéisé en utilisant le vortex, afin d'obtenir une solution mère homogène pour faire les dilutions.

Les dilutions sont préparées de façon à obtenir des concentrations de 50%, 25%, 12,5% et 6,25%

3.5.4. Test antibactériens

Le test de la sensibilité des bactéries a été réalisé par la méthode de diffusion en milieu gélosé (la méthode des puits). C'est une méthode similaire à celle de l'antibiogramme qui consiste à déterminer la sensibilité d'une souche microbienne vis-à-vis d'un ou de plusieurs produits (Achouri et Abbas, 2016).

3.5.4.1. Préparation de l'inoculum bactérien

L'inoculum bactérien a été préparé à l'aide d'une anse de platine, en prenant 2 à 3 colonies d'une jeune culture de chaque souche respective. Les colonies sont mises dans des tubes à essai

contenant 2 ml d'eau physiologique stérile. Les tubes ont été homogénéisés avec un vortex. La densité de l'homogénat a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre pour obtenir une densité optique comprise entre 0,08 et 0,1 pour une longueur d'onde de 625 nm ce qui correspond au standard de 0,5 McFarland.

3.4.5.2. Ensemencement et réalisation des puits

- **Ensemencement**

L'activité antibactérienne des extraits ont été testés sur les souches bactériennes dans la gélose Muller-Hinton. Ce milieu a été coulé dans des boîtes de pétri. L'épaisseur de la gélose doit être impérativement de 4 mm.

Les boîtes de pétri ont été ensemencées à l'aide des écouvillons stériles. Ces derniers ont été plongés dans les différentes suspensions bactérienne, puis les boîtes de Mueller Hinton ont été ensemencées par la méthode des quatre quadrants.

- **Réalisation des puits**

La méthode des puits sur un milieu solide a été utilisée afin d'essayer l'activité antibactérienne. Cette méthode consiste à faire un trou circulaire de 6 mm de diamètre à l'aide d'une pipette pasteur stérile dans les milieux de Mueller Hinton ensemencés. L'expérimentation a été réalisé en double, nous avons préparé 5 puits pour chaque souche les puits sont remplis à l'aide d'une micropipette stérile par 50 µl des 5 concentrations 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25% de chaque extrait. En outre, 5 µl, 10 µl, 15 µl et 20 µl de l'huile essentielle de *Lavandula dentata* a été testée vis-à-vis les souches bactériennes. Les boîtes de pétri ont été incubées dans une étuve à 37 °C pendant 24 h.

A



B



C



D



Figure 24 : A.B.C. Réalisation des puits ; B. incubation des boîtes dans l'étuve
(Cliché Meskini et Sy 2024).

3.4.5.3. Expression des résultats

La détermination de l'activité antibactérienne a été faite en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition, qui est représentée par une auréole formée autour de chaque disque où aucune croissance n'est observée.

3.4.5.4. Sensibilité des souches vis-à-vis des antibiotiques commercialisés

Le test de la sensibilité des bactéries vis-à-vis des antibiotiques (tableau 5) est réalisé par la même méthode utilisée pour les tests antibactériens de l'huile essentielle et des différents extraits.

Tableau 5 : Les antibiotiques utilisés

Antibiotiques	Signe	Concentration (µg/ml)
Cephalexine	CL	30
Rifampicine	RA	5
Novobiocine	Nov	5
Rovamycine	//	5

L'activité antibactérienne peut être divisée en trois niveaux :

- Faible activité (zones d'inhibition ≤ 6 mm) ;
- Activité moyenne ($6 \text{ mm} < \text{zones d'inhibition} < 26 \text{ mm}$) ;
- Forte activité (zones d'inhibition ≥ 26 mm).

Chapitre II

Résultats et Discussion

1. Résultats

1.1. Rendement des huiles essentielles

Le rendement des huiles essentielles a été calculé par rapport à la matière végétale sèche.

Tableau 6 : Le rendement moyen de l'huile essentielle de *Lavandula dentata*

Espèce étudiée	Masse de plante sèche (g)	Quantité d'huile essentielle (g)	Rendement d'huile essentielle (%)
<i>Lavandula dentata</i>	450	4,44	1%

1.2. Les extraits

Les différents extraits obtenus ont été pesés afin de déterminer leur poids sec. Les rendements ont été calculés par rapport au poids total de la matière végétale (feuilles de l'espèce étudiée). Le rendement, ainsi que l'aspect et la couleur de chaque extrait, sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Aspect, couleur et rendement des extraits de *Lavandula dentata*

Espèce	Type d'extrait	Aspect	Couleur	Rendements (%)
<i>Lavandula dentata</i>	Décocté	Poudre	Marron foncé	2,75
	Infusé	Poudre	Marron	4,35
	Macéré	Poudre	Marron	12,1

Les résultats représentés par le tableau 7 montrent que les extraits décocté, infusé et macéré présentent un aspect en poudre et deux couleurs : marron et marron foncé. L'extrait macéré représente le rendement le plus élevé (12,10%), suivi par l'extrait infusé (4,35%) et enfin l'extrait décocté (2,75%).

1.3. Activité antioxydante

Les figures 25-29 explicitent les résultats du pouvoir antioxydant de l'huile essentielle, des extraits (décocté, infusé et macéré) de l'espèce *Lavandula dentata* et de l'acide ascorbique par la méthode de piégeage du radical libre DPPH

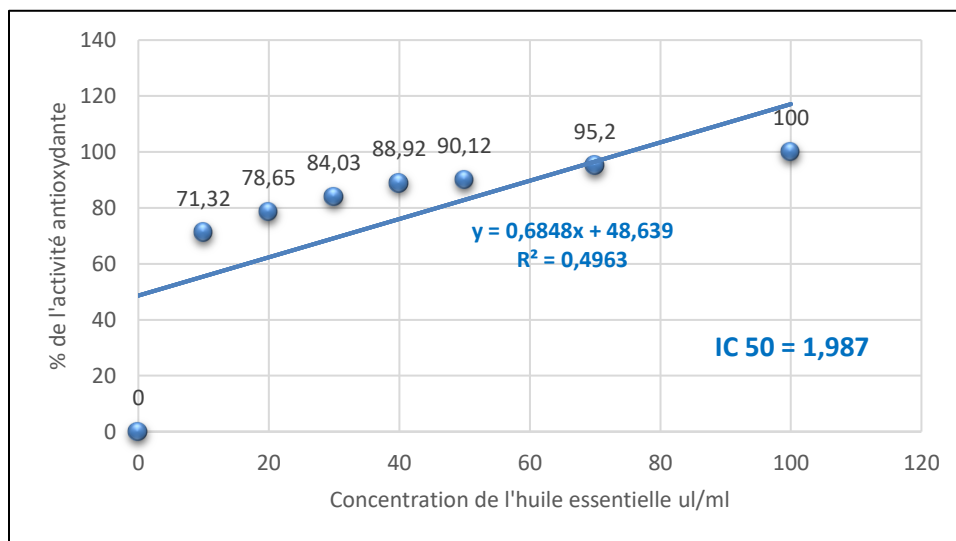


Figure 25 : Activité antioxydante de l'huile essentielle de *Lavandula dentata*

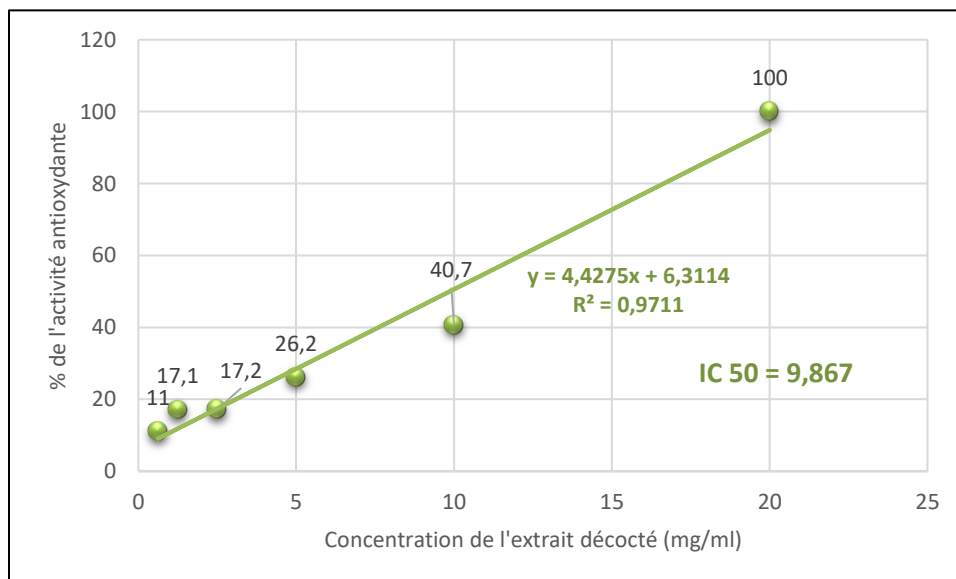


Figure 26 : Activité antioxydante de l'extrait décocté de *Lavandula dentata*

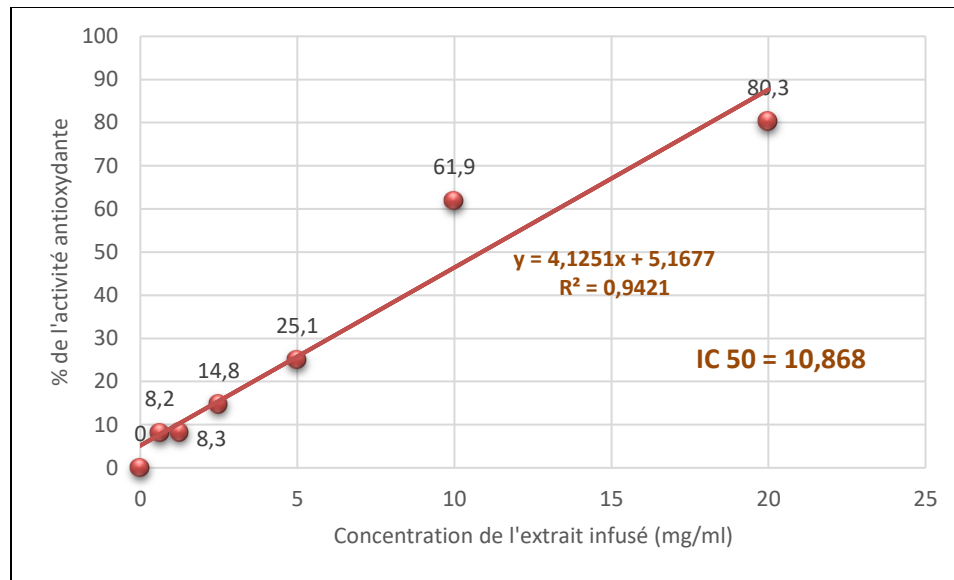


Figure 27 : Activité antioxydante de l'extrait infusé de *Lavandula dentata*

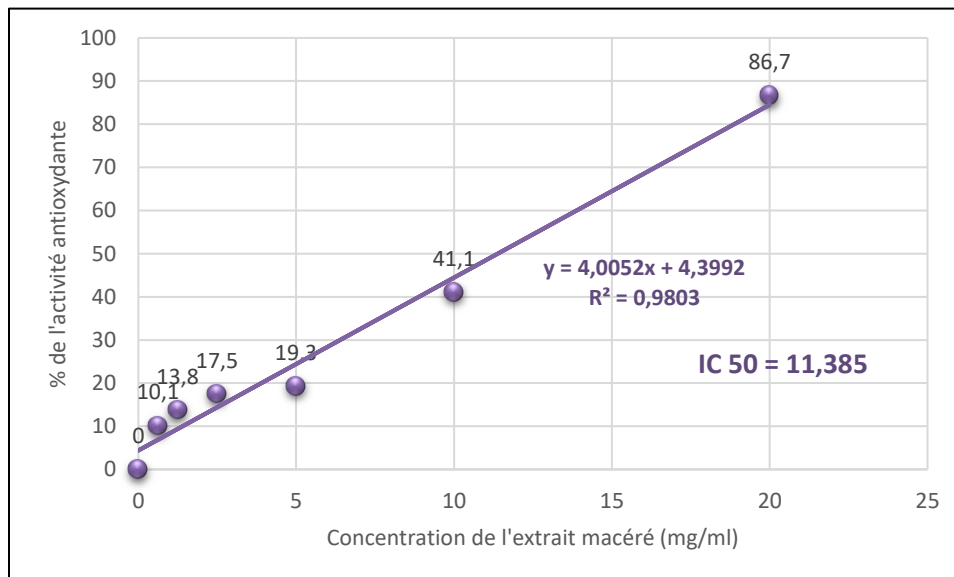


Figure 28 : Activité antioxydante de l'extrait macéré de *Lavandula dentata*

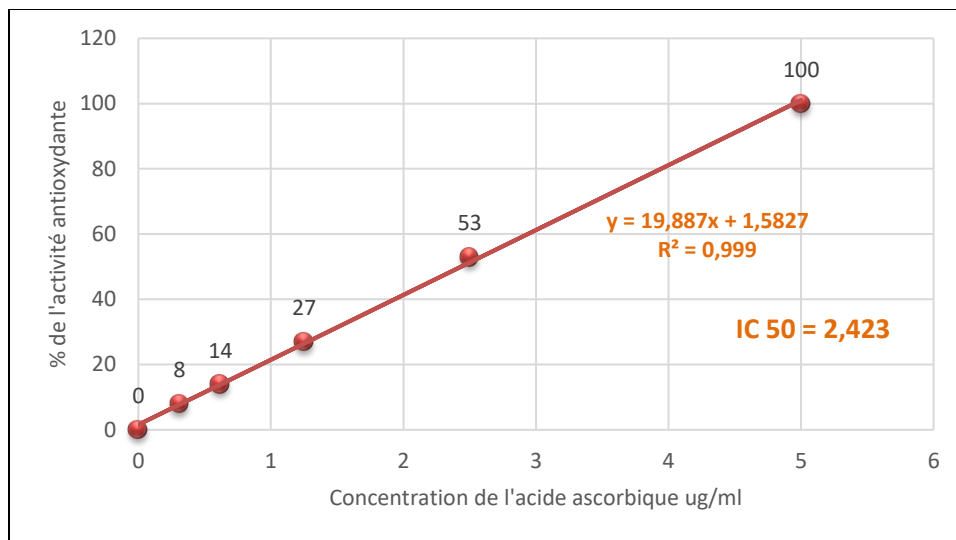


Figure 29 : Activité antioxydante de l'acide ascorbique

La progression du pourcentage d'inhibition de l'huile essentielle en fonction de la concentration (µl/ml) de *Lavandula dentata* récoltée de la région de Mostaganem présenté dans la figure 25, montre que les valeurs sont directement proportionnelles à la variation de concentration, où le pourcentage d'inhibition augmente de 0 jusqu'à 100% proportionnellement à l'augmentation de concentration 0 jusqu'à 100µl/ml. En outre, la concentration inhibitrice médiane IC50 de l'huile essentielle correspond à la valeur 1,987 µl/ml.

La relation entre la concentration de l'extrait décocté de *Lavandula dentata* et le pourcentage d'inhibition, illustrée dans la figure 26, démontre une augmentation proportionnelle. À mesure que la concentration de l'extrait augmente de 0 à 20 mg/ml, le pourcentage d'inhibition varie de 0 à 100%, la concentration inhibitrice médiane (IC50) de l'extrait décocté est établie à 9,867 mg/ml.

La variation du pourcentage d'inhibition de l'extrait infusé en fonction de la concentration (mg/ml) de la lavande dentée récoltée de la région de Mostaganem (figure 27), montre que les valeurs sont directement proportionnelles à la variation de concentration, où le pourcentage d'inhibition augmente de 0 jusqu'à 80,3 mg/ml proportionnellement à l'augmentation de concentration (0 à 20 mg/ml). En outre, la concentration inhibitrice médiane IC50 de l'extrait infusé correspond à la valeur 10,868 mg/ml.

L'effet inhibiteur de l'extrait macéré de l'espèce étudiée augmente graduellement avec la concentration de l'extrait. Ceci est observé sur la figure 28, où l'on constate une relation proportionnelle directe entre le pourcentage d'inhibition et la concentration de l'extrait, allant de 0% à 86,7% d'inhibition pour des concentrations allant de 0 à 20 mg/ml. Plus précisément, la concentration inhibitrice médiane (IC₅₀) de l'extrait macéré est de 11,385 mg/ml. Cela signifie que 50% de l'activité cible est inhibée à cette concentration

La variation du pourcentage d'activité antioxydante d'acide ascorbique en fonction de la concentration est représentée dans la figure 29 où la valeur IC₅₀ est égale à 2,423 µg/ml.

1.4. Activité antibactérienne

1.4.1. Test antibactérien de l'huile essentielle et des extraits

Les résultats de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et des extraits de l'espèce *Lavandula dentata* vis-à-vis les trois souches étudiées sont illustrés dans le tableau 8

Tableau 8 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) de l'huile essentielle et des extraits de *Lavandula dentata* L.

	Concentration	<i>Escherichia coli</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
		Diamètre	Niveau AA	Diamètre	Niveau AA	Diamètre	Niveau AA
<i>Huile essentielle</i>	20 μ l	7	+	6	±	11	+
	15 μ l	6	±	6	±	9	+
	10 μ l	6	±	6	±	6	±
	5 μ l	6	±	6	±	6	±
<i>Extrait décocté</i>	100 %	17	+	6	±	6	±
	50 %	16	+	6	±	6	±
	25 %	12	+	6	±	6	±
	12,5 %	7	+	6	±	6	±
	6,25 %	6	±	6	±	6	±
<i>Extrait infusé</i>	100 %	6	±	14	+	6	±
	50 %	6	±	13	+	6	±
	25 %	6	±	13	+	6	±
	12,5 %	6	±	9	+	6	±
	6,25 %	6	±	6	±	6	±
<i>Extrait macéré</i>	100 %	14	+	6	±	15	+
	50 %	13	+	6	±	10	+
	25 %	13	+	6	±	6	±
	12,5 %	9	+	6	±	6	±
	6,25 %	6	±	6	±	6	±



Figure 30 : Activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Lavandula dentata* vis-à-vis les trois souches testées



Figure 31 : Activité antibactérienne de l'extrait décocté sur *Escherichia coli*



Figure 32 : Activité antibactérienne de l'extrait infusé sur *Staphylococcus aureus*



Figure 33 : Activité antibactérienne de l'extrait macéré vis-à-vis *Klebsiella pneumoniae*

Les résultats résumés dans le tableau 8 et représentés par les figures 30-33 montrent les observations suivantes :

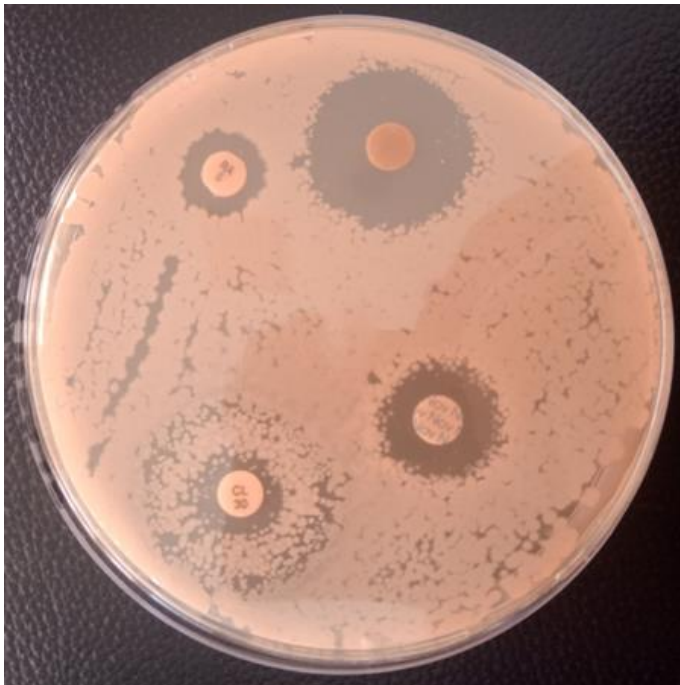
- Une quantité de 20µl d'huile essentielle exprime un diamètre d'inhibition de 7 mm contre *Escherichia coli*. Cette huile enregistre une activité moyenne sur *Klebsiella pneumoniae* avec des diamètres de 9 et 10 mm, et ne présente aucun effet sur la souche bactérienne *Staphylococcus aureus*.
- L'extrait décocté produit des zones d'inhibitions vis-à-vis *Escherichia coli* dont les diamètres sont compris entre 7 et 17 mm, ceci démontre que *E. coli* présente une certaine sensibilité à l'extrait décocté. Cependant, les bactéries *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* résistent à cet extrait.
- Les différentes concentrations de l'extrait infusé inhibe *Staphylococcus aureus* avec des diamètres d'inhibition de 9 à 14 mm, contrairement à *Klebsiella pneumoniae* et *Escherichia coli* qui développe une résistance.
- L'extrait macéré montre une activité sur *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae*, enregistrant des diamètres de 9 et 15 mm, mais il est totalement inactif sur *Staphylococcus aureus*.

1.4.2. Test antibactérien des antibiotiques commercialisés

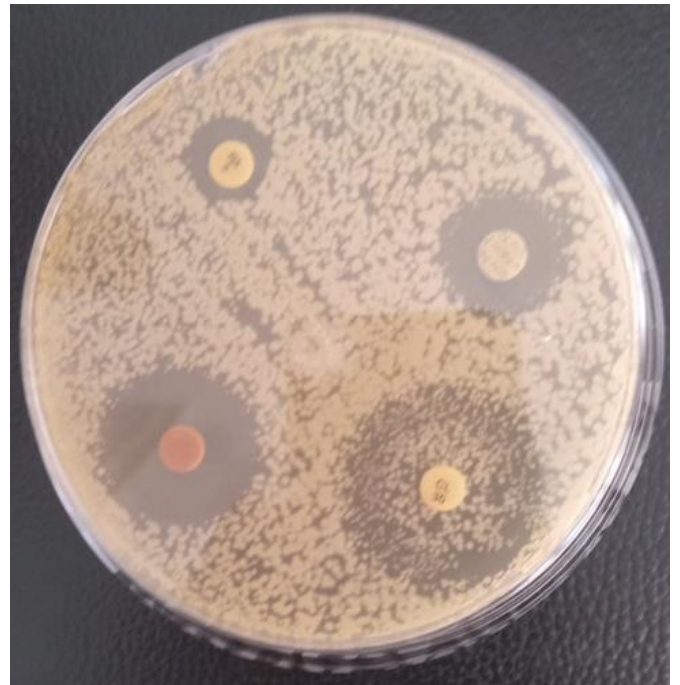
La réalisation de l'antibiogramme nous a permis de mettre en évidence l'effet des antibiotiques sur les trois souches bactériennes testées. Les résultats de l'antibiogramme sont résumés dans le tableau 9 et représentés par la figure ...

Tableau 9 : Diamètres des zones d'inhibition (mm) vis-à-vis des antibiotiques commercialisés

Antibiotiques	Concentration (µg/ml)	<i>Escherichia coli</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
		Diamètre	Niveau AA	Diamètre	Niveau AA	Diamètre	Niveau AA
CL (Cephalexine)	30	6	±	6	±	30	++
RA (Rifampicine)	6	6	±	13	+	11	+
Nov (Novobiocine)	6	11	+	15	+	18	+
Rovamycine	6	23	+	26	++	22	+



Escherichia coli



Klebsiella pneumoniae



Staphylococcus aureus

Figure 34 : Activité antibactérienne des antibiotiques commercialisées

Les résultats représentés par le tableau 9 et la figure 34 montrent que :

- La *Cephalexine* présente des diamètres d'inhibitions de 30 mm pour *Klebsiella pneumoniae*.
- La *Rifampicine* présente une activité antibactérienne modérée, enregistrant des diamètres de 6 à 13 mm pour les trois souches.
- La *Novobiocine* présente une activité importante sur *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae* remarquant des zones d'inhibition dont les diamètres sont compris entre 11 et 18 mm.
- La *Rovamycine* est l'antibiotique le plus actif pour les trois souches testées, présentant des diamètres d'inhibitions allant de 22 à 26 mm.

2. Discussion

La méthode d'obtention des huiles essentielles reste une étape très importante qui peut agir directement sur la qualité et la quantité des huiles essentielles. Le succès de cette étape est interprété par le calcul des rendements (**Mekki et Messaoudi, 2020**). Le rendement en huile essentielle de l'espèce *Lavandula dentata* est 1%. Ces résultats sont supérieurs à ceux signalés dans certaines régions de l'Algérie et du Maroc. Le bon rendement d'huile essentielle obtenu peut-être dû au climat qui caractérise notre région d'étude.

Plusieurs facteurs peuvent affecter directement sur la production des huiles essentielles, tels que les facteurs écologiques, en particulier les facteurs climatiques, les facteurs géographiques, les propriétés du sol et l'altitude (**Debab et Mesloub, 2022**). De plus, plusieurs études ont montré que le rendement des HEs dépend de plusieurs facteurs à savoir l'espèce, l'environnement, la période de récolte, le lieu de séchage et l'emplacement géographique (**Hadjdjilani et al., 2022**).

D'après **Abdelli et Chaabane (2022)**, le rendement des huiles essentielles de *L. dentata* marque des variations d'une région à une autre. Dans la wilaya de Tlemcen, il est de : 0,40 à 0,79% et dans la région de Tafessout, il est entre 0,31 et 1,04%. Ces constatations sont en accord avec nos résultats.

Les extraits et les huiles essentielles de *Lavandula dentata* ont des propriétés biologiques très intéressantes (antimicrobiennes, fongicides et insecticides ...).

Le test du DPPH constitue un outil précieux pour comparer la capacité antiradicalaire des huiles essentielles et des différents extraits. L'évaluation de l'activité antiradicalaire doit être interprétée avec prudence, car l'absorbance du DPPH diminue sous l'influence de la lumière, de l'oxygène, du pH et du type de solvant ajouté à l'antioxydant, variant à 515 nm pour les extraits aqueux et à 517 nm pour les huiles essentielles.

Cette activité dépend de la mobilité de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle de l'huile essentielle et des extraits. En présence d'un radical libre DPPH, cet atome d'hydrogène est transféré au radical, le transformant ainsi en une molécule stable DPPH. Cela entraîne une diminution de la concentration du radical libre et de l'absorbance au cours du temps de réaction, jusqu'à épuisement de la capacité antioxydante donneuse d'hydrogène (**Hadjdjilani, et al., 2022**).

Les résultats de pourcentage d'inhibition du radical DPPH obtenus, révèlent que l'huile essentielle et les extraits de *Lavandula dentata* possèdent une bonne activité antioxydante. En effet, **Djafer et al. (2020)** ont suggéré que les extraits des végétaux contenant des molécules polaires présentent une activité antiradicalaire élevée.

Les résultats montrent que le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH augmente avec l'augmentation de la concentration des huiles essentielles et des extraits de *Lavandula dentata*.

À partir des résultats obtenus, nous avons constaté qu'il existe une variabilité dans les activités enregistrées avec les différents extraits ; ceci est certainement liée à la différence de la composition chimique de ces extraits. D'après **El Omari (2022)**, L'efficacité des antioxydants peut être due à la forte concentration des principaux constituants, ainsi qu'à la présence d'autres constituants en petites quantités ou à la synergie entre eux.

Le mécanisme de la réaction entre les antioxydants et le DPPH dépend de la structure des antioxydants. Certains composés réagissent très rapidement avec le DPPH, réduisant le nombre de molécules de DPPH proportionnellement au nombre de groupements hydroxyles présents. Cette activité antioxydante des différentes parties de la plante est principalement due aux composés actifs qu'elles contiennent. De nombreuses études ont montré que des antioxydants naturels se trouvent dans toutes les parties des plantes (**Bettaieb Rebey et al., 2017**).

Dans la présente étude, l'activité antibactérienne des huiles essentielles et des extraits aqueux (décocté, infusé et macéré) de *Lavandula dentata* a été étudié vis-à-vis trois souches bactériennes, une souche à Gram positif (*Staphylococcus aureus*) et deux souches à Gram négatif (*Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae*), sur le milieu de culture de Mueller Hinton, par la méthode de diffusion en puits. Il ressort à travers l'observation des zones d'inhibition répertoriées que l'huile essentielle et les extraits exercent une activité modérée et le degré de sensibilité diffère selon la concentration et le type de souche (**Aksas et al., 2022**).

En général, l'activité antibactérienne des huiles essentielles pourrait être expliquée par l'interaction moléculaire des groupements fonctionnels des composants des HEs avec la paroi des bactéries, ce qui provoque de profondes lésions. En outre, Dans le domaine agroalimentaires, les huiles essentielles ou leurs composés actifs pourraient également être employés comme

agents de protection contre les microorganismes envahissant les denrées alimentaires (**Ait Younes et Mohammed Seghir, 2016**).

De nombreux facteurs externes peuvent influencer sur la composition chimique de l'huile essentielle (HE). Parmi ces facteurs environnementaux figurent la température, le taux d'humidité, la durée d'ensoleillement et la composition du sol. Ces éléments peuvent provoquer des variations qualitatives et quantitatives, entraînant ainsi un polymorphisme chimique au sein d'une même espèce (**Bachiri et al., 2017**).

D'après **Bourkache (2016)**, les extraits de *Lavandula dentata* possèdent des activités bien précises à des dilutions différentes. Les extraits sont actifs sur les bactéries à Gram négatif que Gram positif. Ceci grâce à leurs capacités de se fixer sur la membrane des bactéries à Gram- qui sont riches en lipopolysaccharides.

Nos résultats sont en accord avec ceux de **El Omari (2022)** qui ont investigué l'activité antibactérienne des extraits et des huiles essentielles de *Lavandula dentata* contre des bactéries gram (+) et gram (–) en utilisant également la méthode de diffusion en puits.

Les extraits testés ont montré une variabilité significative entre les extraits et entre les souches bactériennes. Cette différence est liée à la composition chimique de chaque extrait et à la nature de la souche bactérienne testée.

Conclusion

Les plantes médicinales restent toujours la source fiable des principes actifs connus par leurs propriétés thérapeutiques, pour cela la phytothérapie constitue une alternative intéressante pour explorer de nouvelles molécules qui pourraient représenter une base de nouvelles voix de recherche. Ces plantes peuvent être sélectionnées comme ressources naturelles de médicaments efficaces et moins toxiques pour le corps humain. Dans ce contexte, nous avons réalisé une étude sur la plante *Lavandula dentata* appartenant à la famille des lamiacées, récoltée de la wilaya de Mostaganem.

La lavande dentée est riche en huile essentielle où son rendement est de 1%. Parmi les extraits aqueux, le rendement de l'extrait macéré est le plus élevé avec un pourcentage de 12,10%.

L'étude de l'activité anti-radicalaire du DPPH montre que la Concentration Inhibitrice médiane (IC₅₀) de l'huile essentielle est de 1,987 µl /ml et IC₅₀ des extraits aqueux varie entre 9,867 et 11,385 mg/ml.

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et des extraits aqueux (décocté, infusé et macéré) vis-à-vis les trois souches testées (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Klebsiella pneumoniae*) varie en fonction de type d'extrait et ses concentrations et de type de souche et sa sensibilité. Les extraits produisent des zones d'inhibition avec des diamètres entre 6 et 17 mm.

Nous suggérons comme perspectives :

- ✓ Étude de la composition de l'huile essentielle de *Lavandula dentata* par chromatographie en phase liquide haute performance ou haute pression (HPLC)
- ✓ Étude des autres activités biologiques (antifongique, anti-inflammatoire, etc.).

Les références bibliographiques

A

Abass, A., Al-Helal, K., et Hashish, A. (2017). Escherichia coli: A Versatile Opportunistic Pathogen. Clinical Microbiology and Infection, 23(12), 611-616.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7779793/>

Abdelli, M., et Chaabane, R. (2022). Comparative study of the essential oil composition of Lavandula dentata L. from different Algerian regions. Arabian Journal of Chemistry, 15(4), 100089. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160922000454>

Abdelli, M., et Chaabane, R. (2022). Comparative study of the essential oil composition of Lavandula dentata L. from different Algerian regions. Arabian Journal of Chemistry, 15(4), 100089. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160922000454>

Abdoukel, A. A., Ibrahim, A. A., Alshammari, A. M., et Al-Othman, A. A. (2023). Staphylococcus aureus: A Comprehensive Review on Its Biology, Pathogenesis, and Antibiotic Resistance. Frontiers in Microbiology, 14, 1089770.
<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.1006765/full>

Aburjai, T. et Natsheh, HM (2003). Plantes utilisées en médecine traditionnelle pour les maladies de peau en Jordanie. Journal d'ethnopharmacologie, 84(1-2), 163-175.

Achouri, I., et Abbas, M. (2016). AntibioGramme et méthodes d'antibiosepsie. In Manuel de Microbiologie fondamentale (pp. 251-269). Editions Quimper.

Acimović, M. (2021). Les huiles essentielles en aromathérapie : un examen de leurs avantages et applications potentiels. Molécules, 26(19), 5891.

Ahmed, N., et coll. (1993). Huiles essentielles : leurs propriétés médicinales et aromatiques. Dans Arômes et parfums : Sources naturelles et synthétiques (pp. 275-307). Springer, Boston, Massachusetts.

Ait Younes, N., et Mohammed Seghir, A. (2016). Antibacterial activity of essential oils of *Thymus vulgaris*, *Mentha pulegium* and *Rosmarinus officinalis* against foodborne bacteria. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(5), 688-694.

Akdağ, Z., et Öztürk, N. (2019). Essential oil components and their antioxidant, antimicrobial, and antifungal activities. In *Essential oils in food preservation and antimicrobial food packaging* (pp. 15-38). Academic Press.

Aksas, S., Uğraş, S., et Turan, M. (2022). Antibacterial Activity and Chemical Composition of Essential Oils from Different Parts of *Lavandula dentata* L. and *Lavandula stoechas* L. *Plants. Molecules*, 27(10), 1509.

Al-Hilphy, B. (2017). *Essential oils: medicinal and aromatic sources*. Elsevier.

Ali, BH, Al-Marzoqi, AH et Al-Wastani, HA (2015). L'aromathérapie et son rôle dans le soulagement de l'anxiété et de la dépression : une revue systématique des essais contrôlés randomisés. *Thérapies complémentaires en médecine*, 23(1), 112-123.

B

Bachiri, A., Djeriou, Z., et Messaoudi, M. (2017). Variability of the essential oil of *Artemisia mesatlantica* L. from Algeria: Effect of drying methods and geographical origin. *Journal of Essential Oil Research*, 29(10), 747-754.

Bakkali, F., et al. (2008). Antimicrobial efficacy of twenty-five essential oils against strains of bacteria and fungi isolated from food products. *Journal of Food Safety*, 21(4), 321-328.

Barnes, J., Bloom, B. et Silver, C. (2007). *Remèdes à base de plantes : un guide complet de leurs utilisations, effets secondaires et interactions*. Maison aléatoire incorporée.

Barton, MD (1999). L'utilisation d'herbes et d'épices dans la production animale. Dans *Actes de la Nutrition Society* (Vol. 58, n° 04, pp. 583-590). La presse de l'Université de Cambridge.

Bechlem, M. (2018). Co-Desk peut vous aider à Supply-Profi !
<https://www.bechlem.de/author/martin/>

Bekut, B., Ristić, M., Šiler, B. et Milošević-Tomin, T. (2018). Lamiacées : une famille prometteuse de plantes médicinales. Dans *Plantes médicinales : biodiversité, utilisations et applications* (pp. 147-186). Presse académique

Belcadi, A., Ait El Mokhtar, S. et Benyahia, F. (2024). *Lavandula dentata L.* : Un examen de sa phytochimie, de sa pharmacologie et de ses utilisations traditionnelles. *Journal d'Ethnopharmacologie*, 114394.

Belhouala, M. et Benarba, MR (2021). La flore médicinale et aromatique de l'Algérie. Dans *18e rencontres internationales de phytochimie et d'aromathérapie* (pp. 21-25).

Benabdelkader, K. (2012). Production et commercialisation des huiles essentielles de lavande en Algérie. Dans *Actes du colloque international sur l'aromathérapie et les huiles essentielles* (pp. 425-432).

Bendiksby, M. (2011). Evolution et biogéographie des Lamiacées. Presse universitaire de Harvard.

Bettai, A., Benayache, F. et Lahcen, W. (2017). Diversité et répartition des plantes aromatiques au Sahara algérien. *Journal des terres arides*, 9(3), 363-369.

Bettaieb Rebey, H., Ben Hilel, C., Sellem, R., Bourgini, M., Jarray, A., Msaada, K., et Ksouri, R. (2017). Antibacterial and antioxidant activities of essential oils and ethanol extracts of three Lamiaceae plants from Tunisia. *International Journal of Food Microbiology*, 241, 24-30.

Bhattacharya, I., Kumar, A. et Sharma, E. (2022). Histoire de la phytothérapie. Dans *Phytothérapie : une revue complète* (pp. 1-26). Presse académique.

Boubaker, F., Benayache, F., Lahcen, W., et Ait M'hammed, B. (2019). Activités antibactériennes et antifongiques de l'huile essentielle de *Lavandula dentata L.* contre les pathogènes d'origine alimentaire. *Journal de la sécurité alimentaire*, 38(3), e12613.

Boudjedjou, O. (2020). Les mécanismes de protection contre le stress oxydatif. In *Les maladies chroniques et le vieillissement* (pp. 215-238). Presses Universitaires de Franche-Comté.

Références bibliographiques

Boughazi, M. A. (2018). Monographie de la wilaya de Mostaganem. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Mostaganem.

Bouhdid, S., Téllez-Medina, D. J., et Ait El Mkaddem, S. (2006). Antioxidant effects of *Lavandula stoechas* L. and *Lavandula dentata* L. essential oils on sunflower oil. *Journal of Food Science*, 71(6), C481-C485. <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide>

Bourkache, H. (2016). Antibacterial activity of essential oil and ethanol extracts of *Lavandula dentata* L. against Gram-negative and Gram-positive bacteria. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 13(12), 1-6. <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide>

Bourkache, L. (2016). Les huiles essentielles : antibactériennes et anti-inflammatoires. Editions L'Harmattan.

Bousmaha, L., Zaouali, Y. et Balahou, Z. (2005). Etude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans la région de Beni Mellal-Khénifra (Maroc). *Journal d'Ethnopharmacologie*, 99(1-3), 113-118.

Bouyahya, B., Benayache, F. et Lahcen, W. (2023). Diversité et répartition des plantes aromatiques au Sahara algérien. *Journal des terres arides*, 15(1), 1-10.

Brahmi, B. et Snoussi, M. (2021). Plantes médicinales de la famille des Lamiacées en Algérie: Une source d'huiles essentielles aux propriétés bioactives. In *Actes du 8ème Symposium International sur les Plantes Médicinales Aromatiques et Traditionnelles*, Constantine, Algérie, 23-25 novembre 2021, pp .

Breitmaier, E. (2006). Terpènes : arômes, parfums et agents médicinaux. Wiley-VCH.

C

Caillet, S., et Lacroix, C. (2007). Review of mechanisms of antimicrobial action of essential oils. *Clinical Microbiology and Infection*, 13(12), 1136-1146. <https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide>

Catherine, MI, Joseph, B. et Tom, R. (2001). Biodiversité du genre *Plectranthus* (Lamiaceae) au Kerala, Inde. *Journal de botanique tropicale et économique*, 11(1&2), 1-17.

Cavanagh, H. M. A., Wilkinson, J. M. et Lys-Balchin, T. (2002). Huiles essentielles de lavande et de géranium en complément des soins traditionnels des plaies. *Thérapies complémentaires en soins infirmiers et obstétricaux*, 10(4), 151-156.

Chabira, L. et Djemmani, B. 2021. La prédiction in silico des propriétés ADME des molécules d'huile essentielle de *Lavandula dentata*. Mémoire de Master. Université de Biskra. 60 p

Chang, TT (2000). Aspects fonctionnels des herbes et aliments médicinaux traditionnels chinois dans la prévention des maladies chroniques et la promotion de la santé. *Journal des sciences alimentaires*, 65(5), 1181-1186.

Chaytor, MA (1937). Révision du genre *Lavandula*. *Bulletin Kew*, 1937(2), 115-207.

Chemat, F., et Sawamura, K. (2010). Supercritical fluid extraction of essential oils. In *Essential oils* (pp. 279-326). Springer, Berlin, Heidelberg.

Chevallier, A. (2001). La phytothérapie familiale. Larousse.

Craker, LE et Gardner, T. (2006). Herbes et épices dans la nutrition et la santé. Dans *Herbes culinaires et épices* (pp. 247-280). Éditions Woodhead.

Cronquist, A. (1969). L'évolution et la classification des plantes à fleurs. Presse universitaire de Harvard.

D

Debab, F., et Mesloub, M. (2022). Impact of ecological factors on the essential oil yield and quality of wild rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) from Algeria. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(7), 1375-1383.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160922000454>

Diab, Y., El-Khatib, A. et Fouad, W. (2022). Diversité, répartition et utilisations traditionnelles des Lamiacées au Liban. *Plantes*, 11(5), 548

Djafer, S., Ait Kaci, W., et Benali, M. (2020). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and ethanol extract of *Thymus numidicus* Willd. (Lamiaceae). *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 189-199.

Djendi, M., Haouet, S., et Baali, F. (2023). Chemical composition and antifungal activity of essential oils from *Lavandula dentata* and *Lavandula stoechas* L. against *Alternaria alternata* causing citrus fruit decay. *Journal of Applied Microbiology*, 135(2), 246-256.

<https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide>

Dongock, T. A., Nguefack, T. C., Meffo, T. L., Fotso, M. B., et Sonko, G. (2018). Phytochemical analysis and antimicrobial activity of extracts from *Enantia chlorantha* leaves. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 1-10.

<https://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/non+valide>

E

El Abdali, M. (2017). Contribution à l'étude de la flore spontanée du Parc National de Belezma (Algérie). Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine.

El Haib, N. (2011). Les huiles essentielles et leurs applications thérapeutiques. Presses Universitaires de Louvain.

El Omari, M. (2022). Antioxidant, antimicrobial and antifungal activities of extracts from different parts of *Punica granatum* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(4), 100086.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1365160922000454>

Elhadj, M., & Bouchentouf, A. (2019). Diversité et répartition des Lamiaceae dans la flore algérienne. *Phytothérapie*, 17(6), 425-436.

F

Fettah, M. (2019). Le stress oxydatif et les radicaux libres. Editions Med-Com.

Fontanay, S., Davoust, B., et Sotto, A. (2015). *Staphylococcus aureus*. In Les Bactéries à Gram Positif (pp. 213-231). Springer, Paris. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-7349-1_1

Fontanay, S., et al. (2015). Methods for the determination of antimicrobial activity of essential oils: a review. *Journal of AOAC International*, 98(6), 1677-1685.

G

Gad, GA, Al-Mahdi, NA et Al-Mofty, SA (2013). Évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante d'extraits de plantes *Origanum vulgare L.* et *Thymus vulgaris L.* *Journal d'ethnopharmacologie*, 150(3), 828-833.

Gnatta, D., Vougioukalou, S. et Petrovska, B. (2016). Les huiles essentielles et leur potentiel thérapeutique dans la gestion de l'anxiété et de la dépression : une revue systématique. *Molécules*, 21(12), 1839.

Greathead, H. (2003). L'utilisation d'herbes et d'épices dans l'alimentation et la santé des animaux. Dans *Actes de la Nutrition Society* (Vol. 62, n° 1, pp. 165-176). La presse de l'Université de Cambridge.

Guenther, E. (1948). *Essential oils. Vol. I. Industrial aspects.* Robert E. Krieger Publishing Company.

Guerreiro, J. (2018). Lamiacées : Sources importantes de plantes médicinales et aromatiques. Dans *Recherche sur les plantes médicinales et les produits naturels* (pp. 285-326). Elsevier.

Guidi, G. et Landi, S. (2014). L'histoire des plantes aromatiques et leurs usages traditionnels en Italie. Dans *Phytothérapie aux États-Unis : recherche actuelle et pratique clinique* (pp. 20-35). Elsevier.

Guillon, Y. (2010). *Les lavandes du monde.* Éditions Quaé.

Guillon, Y. (2012). *Les lavandes du monde.* Editions Quaé, Versailles

Gutteridge, MC et Halliwell, B. (2010). Stress oxydatif et maladies cardiovasculaires : Preuve que les dommages à la paroi artérielle sont une cause importante de l'athérosclérose. *Circulation*, 122(21), 2225-2226.

Guyot-declerck, C., et Martin, L. (2002). Characterization and origin of lavender (*Lavandula angustifolia* L.) honeys from Provence (France). *Food Chemistry*, 83(2), 279-286.

H

Hadjdjilani, N., et al. (2022). Les radicaux libres et le stress oxydant : aspects fondamentaux et implications en pathologie. In *Pathologies émergentes et nouvelles stratégies thérapeutiques* (pp. 215-238). Presses Universitaires de Franche-Comté.

Hadjdjilani, N., Haouet, S., et Baali, F. (2022). Essential oil composition and biological activities of *Lavandula dentata* L. from Algeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 286, 114652.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722014803>

Harley, RM (2012). Evolution et diversité des Lamiacées (Labiatae). Dans *Plantes aromatiques médicinales* (pp. 83-114). Springer, Berlin, Heidelberg.

Harley, RM (2013). Observations sur la phylogénie et la classification des Lamiacées. *Bulletin Kew*, 68(2), 191-212.

Hites, RA (1997). Biomarqueurs dans l'environnement. Presse académique.

Hu, T. B., Wang, X. L., Zhang, H. J., et Luo, Z. X. (2017). Lavender essential oil protects against oxidative stress and improves cognitive impairment in D-galactose-induced aged rats. *Journal of Functional Foods*, 35, 373-382.

I

Imen, F. Z., Sahli, F. Z., Benkhaled, T., et Rhouat, M. (2021). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oils from *Lavandula dentata* and *Lavandula stoechas* L. growing in Algeria. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(2), 1035-1042.

Inoue, K. et Craker, LE (2014). La médecine traditionnelle et son rôle dans le traitement du cancer au Japon. Dans *Phytothérapie aux États-Unis : recherche actuelle et pratique clinique* (pp. 289-314). Elsevier.

Inoue, K. et Craker, LE (2014). La médecine traditionnelle et son rôle dans le traitement du cancer au Japon. Dans *Phytothérapie aux États-Unis : recherche actuelle et pratique clinique* (pp. 289-314). Elsevier.

J

Jehl, C. (2014). Antibiotiques : une révolution médicale menacée. Editions Odile Jacob.

Justus, A., Benayache, F., Lahcen, W., & Ait M'hammed, B. (2018). Antidiabetic effect of *Lavandula dentata* L. essential oil and its effect on the expression of PPAR- γ and AMPK in diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 220, 147-154.

K

Kadereit, G. (2004). Lamiacées. Dans *Les familles et genres de plantes vasculaires* (Vol. 7, pp. 410-545). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kallunki, SA (1994). Labiataées. Dans *Les familles et genres de plantes vasculaires* (Vol. 7, pp. 231-394). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kim, H. J., et Lee, S. J. (2002). Quality characteristics of lavender ice cream. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 2856-2863.

Kole, R., Khyati, N. et Mohan, R. (2005). Etudes pharmacognostiques et phytochimiques sur les feuilles d'*Ocimum sanctum* L. (Basilic sacré). *Revue indienne des sciences pharmaceutiques*, 67(1), 76-83.

Koudou, J. (2009). Les radicaux libres et les défenses antioxydantes. Editions Med-Com.

Krings, U. et Berger, RG (1998). Production biotechnologique d'arômes et de parfums. *Microbiologie appliquée et biotechnologie*, 49(1), 1-8.

L

Larbi, A. (2022). Rôle des radicaux libres et du stress oxydatif dans le vieillissement et les maladies chroniques. In Nutrition et vieillissement (pp. 87-112). Presses Universitaires de Louvain.

Larrauri, E., Rupérez, P., et Sánchez-Gómez, D. (1998). Evaluation of the antioxidant activity of a red wine from the Basque Country using a radical scavenging assay. Food Chemistry, 61(2), 229-235.

Le groupe de phylogénie des angiospermes [APG]. (2016). Une mise à jour de la classification du groupe de phylogénie des angiospermes pour les ordres et familles de plantes à fleurs : APG IV. Journal botanique de la Linnean Society, 161(2), 105-121.

Lehout, V., et Laib, F. (2015). Antimicrobial effects of essential oils and their main constituents on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in food. Journal of Applied Microbiology, 119(4), 1174-1186.

Lim, TK (2014). Plantes comestibles médicinales et non médicinales. Springer Pays-Bas.

Lis-Balchin, T. (2002). The complete lavender handbook. Timber Press.

Lorenzi, H. (2002). Une nouvelle clé pour l'identification des plantes médicinales du Brésil. Institut Plantarum.

M

Margaret, M. (1971). Herbs for your garden. Blandford Press

Martinec, R. (2012). Utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Médecine holistique, 38(1), 14-22.

Martins, FR, Santos, HM, Salgueiro, L., Lopes, D. et Câmara, J. (2019). *Lavandula dentata* L. : Une revue de sa phytochimie, de sa pharmacologie et de ses applications en médecine traditionnelle. Journal d'Ethnopharmacologie, 239, 114028.

Mecib, H. (2019). Étude de la dynamique spatio-temporelle des incendies de forêts dans la wilaya de Mostaganem (Algérie) entre 2000 et 2018. Université Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem.

Mekki, M., et Messaoudi, M. (2020). Influence of drying methods on the essential oil yield and quality of *Lavandula dentata* L. from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 32(10), 741-747. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944711320302166>

Menoura, M., Akkari, M. et Ben Fadhel, T. (2023). Analyse phytochimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles et extraits d'*Origanum vulgare* et *Thymus capitatus*. *Plantes*, 12(2), 182.

Merini, L., et Messei, L. (2023). *Escherichia coli*: A Journey from Commensal to Pathogen. *Microorganisms*, 11(2), 181. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11>

Michalak, L. (2018). Aromathérapie pour soulager la douleur : une revue des études cliniques. *Journal de médecine complémentaire et intégrative*, 11(1), 1-10.

Mills, SY et Bone, KM (2000). Principes et pratique de la phytothérapie. Churchill Livingstone.

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for the assessment of antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 2140-2144.

Moreira, FC et Bragança, K. (2011). Phylogénie et évolution des Labiatae (Lamiaceae). Dans *Advances in Botanical Research* (Vol. 57, pp. 1-173). Presse académique.

N

Naghibi, M., Mosavi, M., Mehrabian, M., Khorasani, SM et Ahmadvand, M. (2010). Plantes médicinales pour les troubles gastro-intestinaux en Afrique : une revue. *Journal d'Ethnopharmacologie*, 127(1), 1-11.

Naves, C. (1974). Les parfums naturels. Techniques d'extraction, analyse et composition. Techniques d'extraction, analyse et composition. Techniques d'extraction, analyse et composition. Hermann.

Ndhlala, AR, Mhlongo, LI, Ukpo, NO et Craker, LE (2010). Activité antibactérienne et anti-inflammatoire des extraits d'écorce de tige de *Sclerocarpa birrea* (A. Rich.). Journal d'ethnopharmacologie, 129(3), 409-415.

Nogaret-Ehrhart, G. (2003). L'aromathérapie.

Norme AFNOR NF T 75-100 (2000) : Huiles essentielles - Détermination du rendement en huile essentielle

O

Organisation mondiale de la santé (OMS) (2000). La médecine traditionnelle dans le système de santé moderne. Rapport d'un comité d'experts de l'OMS. Genève : OMS.

P

Palai, T. (2015). **Huiles essentielles :** composés volatils et odorants d'origine végétale. Dans Plantes médicinales et aromatiques (pp. 3-19). Springer, Singapour.

Paul, C. (1977). Les plantes médicinales. De la cueillette à l'usage. Editions J'ai Lu.

Pavia, D. L., et al. (1976). Introduction to quantitative analysis. Saunders College Publishing.

Pharmacognosie (1999). L'encyclopédie des plantes médicinales. Éditions Tec & Doc.

Piccaglia, R., Bais, S., Poli, F. et Appendino, G. (1993). Propriétés antibactériennes de certaines huiles essentielles de Lamiacées. Journal de recherche sur les huiles essentielles, 5(2), 171-178.

Prakash, V., Singh, P. et Pandey, AK (2016). Analyse pangénomique des microARN de la famille des Lamiacées : identification, classification et profilage d'expression. *Rapports scientifiques*, 6(1), 1-13.

Q

Quézel, P. et Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 2 tomes.

Quézel, P. et Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Editions Lechevalier, Paris.

R

Rahou, O. (2017). Les radicaux libres et les antioxydants. Editions Med-Com.

Rattray, A. et Van Wyk, B. (2021). Guide de terrain des plantes aromatiques et médicinales indigènes d'Afrique australe (2e éd.). Éditeurs Struik.

Riaz, M., Zia-ul-Haq, M., Ahmad, MS et Mujeeb-ur-Rehman, SM (2021). Plantes médicinales et aromatiques : Potentiel pour la santé et le bien-être humains. Dans *Phytothérapie : une revue complète* (pp. 27-50). Presse académique.

Rowe, D. (2009). Les huiles essentielles en aromathérapie. Dans *Thérapies complémentaires en soins de santé* (pp. 147-159). Churchill Livingstone.

S

Saad, M. A., Al-Jawaldeh, M., Al-Hammadi, S., Al-Mulla, N., et Hashish, A. (2023). *Klebsiella pneumoniae*: A Comprehensive Review of Its Virulence, Antibiotic Resistance, and Clinical Implications. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1089774. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcimb.2022.1050396>

Samarth, R. S., Kumar, S., et Singh, N. (2008). Evaluating antioxidant potential of Aegle marmelos leaf extract and its impact on oxidative stress-induced hematological alterations in albino rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 118(3), 463-467.

Sanon, A., et al. (2002). Huiles essentielles et leurs applications thérapeutiques. *Afrique Médias*, 10(2), 11-23.

Schneider, G., Rühlemann, S. et Mollenkopf, C. (2019). Interventions sur les huiles essentielles en santé mentale : une revue systématique des essais contrôlés randomisés. *Recherche en phytothérapie*, 33(10), 2481-2494.

Shah, S., Shah, M. et Shah, P. (2011). Les huiles essentielles en aromathérapie : un examen de leurs bienfaits thérapeutiques potentiels. En *Aromathérapie* (pp. 21-54). Presse académique.

Shibamoto, T., Yamaguchi, Y. et Gotoh, O. (2010). Effets de l'aromathérapie sur la qualité du sommeil et l'état mental chez les jeunes adultes en bonne santé. *Journal d'aromathérapie et des sciences connexes*, 2(1), 1-6.

Sosa, C., et Altinier, B. (2005). Etude comparative de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de lavande (*Lavandula angustifolia*) et d'arbre à thé (*Melaleuca alternifolia*). *Lettres en microbiologie appliquée*, 41(1), 112-119.

Souilah, H. (2018). Plantes médicinales d'Algérie : usages traditionnels et perspectives de valorisation. Office des Publications Universitaires (OPU).

Steflitsch, W. et Steflitsch, G. (2008). L'aromathérapie en soins palliatifs : une revue de la littérature. *Journal de médecine palliative*, 11(5), 661-672.

✓

Vanette, R. (2020). Identification des plantes de France et d'Europe. Delachaux et Niestlé.

Varel, VH (2002). L'utilisation d'herbes et d'épices dans l'alimentation animale. *Science et technologie de l'alimentation animale*, 101(1-2), 3-14.

W

Windisch, W., Patra, R. et Franz, C. (2009). Effets des huiles essentielles végétales et de leurs constituants sur les microbes intestinaux du bétail. *Nutrition animale et métabolisme*, 37(4), 380-387.