

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 :Sciences Biologiques



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :
Biochimie appliquée

Intitulé

Etude des activités biologiques des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de la région de Relizane (Algérie) : *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*.

Présenté par :

Mlle : BELHIRECHE Asma

Mlle : BEKADDOUR Zoulikha

Mlle : BERIANE Fatima

Devant les membres de jury :

Président : Mme BERZOU Sadia

Maître de conférence (A) (U. Relizane)

Encadreur : Mr MALTI Charafeddine

Maître de conférence (B) (U. Relizane)

Examinateur : Mr BRAHMI Mostapha

Maître de conférence (B) (U. Relizane)

Année universitaire : 2023/2024

DEDICACES

Je tiens à dédier ce travail

À mes chers parents, qui m'ont aidé avec tout ce qu'ils possèdent moralement et financièrement.

À mes chers frères MOHAMED, YOUSSEF, et YOUNES, qui étaient l'épaule solide, l'œil attentif et compréhensif. Que Dieu les protège et leur offre la santé et le bonheur.

À mes chères sœurs ISRAA et HADJER, qui savent comment me procurer la joie et le bonheur. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

À ma cousine DJOHER, qui a toujours été à mes côtés.

À mes chères amies ZOHRA et SOUMIA, pour tous les beaux souvenirs, l'amour et le respect que nous avons partagés ensemble et à qui je souhaite encore plus de succès.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Asma.

DEDICACES

Je dédie ce travail

À ma très chère mère. Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais jamais te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide, et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À mon très cher père. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection.

À mes très chers frères Hassan et Mohamed El Amine, ainsi qu'à mes belles-sœurs Mira et Hafssa.

Puisse Dieu vous accorder santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Fatima.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

*À mes très chers parents, qui m'ont toujours encouragé et soutenu tout au long
de mes études.*

À mon cher frère, qui m'a soutenue dans les moments les plus difficiles.

À mon cher cousin.

À toute ma famille.

À tous mes amis et camarades.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidé.

Zoulíkha.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord ALLAH, notre Dieu, de nous avoir donné la santé, la foi, la volonté et le courage dans toute notre vie et de nous avoir guidés à l'accomplissement de ce travail.

Nous souhaitons tout d'abord remercier notre encadreur, **M. MALTI C.**, maitre de conférence à l'université Ahmed Zabana de Relizane pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à enrichir notre réflexion et pour le suivi qu'il nous a prodigué durant tout ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à **Mme BERZOU S.**, Maitre de conférence à l'université Ahmed Zabana de Relizane, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider ce jury, et pour l'intérêt qu'elle porte à notre travail. Nous vous prions de bien croire à notre profond respect, et à notre sincère reconnaissance.

Nous tenons aussi à remercier **M. BRAHMI M.**, maitre de conférence à l'université Ahmed Zabana de Relizane, pour tout l'intérêt qu'il porte à ce travail en acceptant de le juger. Vos remarques et suggestions seront de grandes valeurs pour enrichir ce modeste travail. Recevez Monsieur notre profond respect.

Nous remercions également l'équipe du laboratoire de l'université pour leur gentillesse et leur soutien.

Enfin, nous tenons à remercier profondément tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

الملخص

بهدف تثمين النباتات العطرية والطبية مصدرها الجزائر، ركزنا اهتمامنا على دراسة الأنواع النباتية *Laurus nobilis* و *Mentha × piperita* في هذا السياق، اختبرنا القدرة المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات للزيوت الأساسية المستخلصة من الأجزاء الهوائية لهذه الأنواع.

تم تقييم القدرة المضادة للأكسدة باستخدام طريقة حبس الجذر الحر 2،2-ثنائي فينيل-1-بيكريليل هيدرازيل (DPPH)، وتم تقييم القدرة المضادة للالتهابات باستخدام طريقة تشوه الألبومين المصل البقرى (BSA). كشف النشاط المضاد للجذور الحرة الناتجة أن الزيوت الأساسية المختبرة تمتلك نشاطاً يعتمد على الجرعة. وبالتالي، لوحظ النشاط الأكبر عند تركيز 128 ملخ/مل من الزيت الأساسي لكلا النباتتين المدروسين، وهما *Mentha × piperita* و *Laurus nobilis*، بنسبة تثبيط قدرها 85.10% و 89.70% على التوالي، و CI₅₀ بقيم تقريبية 6.5 ملخ/مل و 17.22 ملخ/مل على التوالي.

كما كشف نشاط الزيوت الأساسية المضاد للالتهابات للنباتات المدروسة علاقة تعتمد على الجرعة، حيث تم الحصول على أعلى نسبة تثبيط عند التركيز الأعلى من الزيت الأساسي، أي 72.9% و 82.9% عند 1000 ملخ/مل لزيوت *Mentha × piperita* و *Laurus nobilis* الأساسية على التوالي.

أثبتت هذه الدراسة الإمكانيات المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات للزيوت الأساسية المستخلصة من الأجزاء الهوائية لنباتات *Laurus nobilis* و *Mentha × piperita*، وهما نوعان نباتيان عطريان وطبييان منتشران بشكل واسع في الجزائر. النتائج المتحصلة، التي تتوافق مع البيانات الموجودة في الأبحاث السابقة، تسلط الضوء على أهمية هذه الزيوت الأساسية كعوامل طبيعية واعدة للصحة.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية، *Laurus nobilis*، *Mentha × piperita*، النشاط المضاد للالتهابات، BSA، غليزان، الجزائر.

RESUME

Dans le but de valoriser les plantes aromatiques et médicinales originaires de l'Algérie, nous nous sommes intéressés à l'étude des espèces végétales *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*. Dans ce contexte, nous avons testé le pouvoir antioxydant et antiinflammatoire des huiles essentielles des parties aériennes de ces espèces.

Le pouvoir antioxydant a été évalué par la méthode du piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH), et le pouvoir antiinflammatoire a été évalué par la méthode de dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA).

Les profils de l'activité antiradicalaire obtenus révèlent que les huiles essentielles testées possèdent une activité dose-dépendante. Ainsi, l'activité la plus importante a été observée à une concentration de 128 mg/ml en huile essentielle pour les deux plantes étudiées, à savoir *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*, avec des pourcentages d'inhibition de l'ordre de 85,10 % et 89,70% respectivement, et des CI₅₀ de l'ordre de 6,5 mg/ml et 17,22 mg/ml respectivement.

Le pouvoir antiinflammatoire des huiles essentielles des plantes étudiées a lui aussi révélé un relation dose dépendante, où le pourcentage d'inhibition le plus élevé a été obtenu pour la concentration en huile essentielle la plus importante, à savoir 72.9 et 82.9% à 1000 mg/ml pour les huiles essentielles de *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis* respectivement.

Cette étude a permis de confirmer le potentiel antioxydant et anti-inflammatoire des huiles essentielles des parties aériennes de *Mentha x piperita* et *Laurus nobilis*, deux espèces végétales aromatiques et médicinales largement présentes en Algérie. Les résultats obtenus, en accord avec les données de la littérature, mettent en lumière l'intérêt de ces huiles essentielles comme agents naturels prometteurs pour la santé et le bien-être.

Mots-clés : *Mentha × piperita*, *Laurus nobilis*, activité antioxydante, DPPH, CI₅₀, profil antiradicalaire, activité antiinflammatoire, dénaturation, BSA, Relizane, Algérie.

ABSTRACT

With the aim of valorizing aromatic and medicinal plants native to Algeria, we focused on studying the plant species *Mentha × piperita* and *Laurus nobilis*. In this context, we tested the antioxidant and anti-inflammatory power of the essential oils from the aerial parts of these species.

The antioxidant power was evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging method, and the anti-inflammatory power was evaluated using the bovine serum albumin (BSA) denaturation method.

The antiradical activity profiles obtained reveal that the tested essential oils possess dose-dependent activity. Thus, the highest activity was observed at a concentration of 128 mg/ml of essential oil for both plants studied, namely *Mentha × piperita* and *Laurus nobilis*, with inhibition percentages of the order of 85.10% and 89.70%, respectively, and IC₅₀ values of the order of 6.5 mg/ml and 17.22 mg/ml, respectively.

The anti-inflammatory power of the essential oils of the studied plants also revealed a dose-dependent relationship, with the highest inhibition percentage obtained for the highest concentration of essential oil, namely 72.9% and 82.9% at 1000 mg/ml for the essential oils of *Mentha × piperita* and *Laurus nobilis*, respectively.

This study confirmed the antioxidant and anti-inflammatory potential of the essential oils from the aerial parts of *Mentha x piperita* and *Laurus nobilis*, two aromatic and medicinal plant species widely present in Algeria. The results obtained, in agreement with the literature data, highlight the interest of these essential oils as promising natural agents for health and well-being.

Keywords: *Mentha × piperita*, *Laurus nobilis*, antioxidant activity, DPPH, IC₅₀, antiradical profile, anti-inflammatory activity, denaturation, BSA, Relizane, Algeria.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	
Remerciements	
الملخص	
Résumé	
Abstract	
Table des matières	
Liste de figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION.....	2
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
Chapitre I : Synthèse bibliographique des plantes étudiées	5
I. <i>Mentha x piperita</i>	5
I.1. Présentation de la plante	5
I.2. Description botanique	5
I.3. Systématique de <i>Mentha × piperita</i>	6
I.4. Usages thérapeutiques.....	6
II. <i>Laurus nobilis</i> L.....	7
II.1. Présentation de la plante	7
II.2. Description botanique	7
II.3. Systématique de <i>Laurus nobilis</i>	9
II.4. Usage thérapeutique	9
Chapitre II : Les différentes techniques d'extraction des huiles essentielles	10
I. Les méthodes conventionnelles	10
I.1. Hydrodistillation	10
I.2. Entraînement à la vapeur d'eau.....	11
I.3. Le pressage à froid	12
II. Les méthodes innovantes.....	13
II.1. Extraction assistée par les ultrasons	13

II.2. Extraction assistée par les micro-ondes	14
II.2.1. Extraction sans solvant assistée par micro-ondes (ESSAM) :.....	14
II.2.2. Extraction avec solvant assistée par micro-ondes	15
II.3. Extraction par CO ₂ supercritique	17
Chapitre III : Activités biologiques des huiles essentielles.....	18
I. Les huiles essentielles	18
I.1. Les constituants des huiles essentielles.....	18
I.1.1. Les terpènes et les terpénoïdes.....	19
I.1.2. Les composés aromatiques	19
I.1.3. Les composés d'origines diverses.....	20
I.1.4. Chémotype	20
I.2. Synergie et antagonisme entre les constituants des huiles essentielles.....	21
I.3. Propriétés Antioxydantes des Huiles Essentielles	22
I.3.1. Les Antioxydants et le Stress Oxydatif.....	22
I.3.2. Activités Antioxydantes des Huiles Essentielles	22
I.4. Propriétés anti-inflammatoires des huiles essentielles.....	23
I.4.1. Réponse inflammatoire et mécanismes.....	23
I.4.2. Activités anti-inflammatoires des huiles essentielles	24
PARTIE EXPERIMENTALE.....	25
I. Objectif de travail	26
II. Matériel végétal	26
II.1. Provenance du matériel végétal	26
II.2. Situation géographique de la zone d'étude	26
II.3. Récolte et conservation des plantes étudiées	26
III. Extraction de l'huile essentielle de la plante étudiée	27
III.1. Procédé d'extraction et conservation de l'huile essentielle	27
III.2. Conservation de l'huile essentielle obtenue.....	28
III.3. Le rendement.....	28
IV. Pouvoir antioxydant des huiles essentielles	28
V. Pouvoir antiinflammatoire des huiles essentielles.....	29
RESULTATS ET DISCUSSION.....	30
I. <i>Mentha x piperita</i>	31

I.1. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle	31
I.2. Rendements d'extraction	31
I.3. Pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de <i>Mentha x piperita</i>	31
I.4. Pouvoir antiinflammatoire de l'huile essentielle de <i>Mentha x piperita</i>	33
II. <i>Laurus nobilis</i>	35
II.1. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle.....	35
I.2. Rendements d'extraction	35
I.3. Pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de <i>Lauris nobilis</i>	36
I.4. Pouvoir antiinflammatoire de l'huile essentielle de <i>Lauris nobilis</i>	38
CONCLUSION	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photos de l'espèce <i>Mentha × piperita</i> (Anonyme).....	6
Figure 2 : Aspect morphologique de <i>Laurus nobilis</i> L (Beloued A, 2005)	8
Figure 3 : Principe schématisé de l'hydrodistillation (Ferhat et al., 2016).....	11
Figure 4: Entraînement à la vapeur d'eau (Ferhat et al., 2016)	12
Figure 5 : L'extraction « in-line » (Belsito et al., 2007)	13
Figure 6 : Extraction par ultrasons (Bourgou et al., 2016).....	14
Figure 7: Extraction sans solvant assisté par micro-ondes (Guerrouf, 2017).....	15
Figure 8 : Procédé d'extraction assisté par micro-ondes (ESMO) (Lucchesi et al, 2007)	16
Figure 9 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielles de <i>Mentha × piperita</i>	33
Figure 10 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielle de <i>Mentha × piperita</i>	34
Figure 11 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielles de <i>Lauris nobilis</i>	38
Figure 12 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielle de <i>Lauris nobilis</i>	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rendements (%) en huile essentielle de <i>Mentha x piperita</i> originaire de la région de Relizane (Algérie)	31
Tableau 2 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de <i>Mentha x piperita</i> exprimée en % d'inhibition.	32
Tableau 3 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de <i>Mentha × piperita</i> exprimée en CI ₅₀	32
Tableau 4 : Pouvoir d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine de l'huiles essentielle de <i>Mentha × piperita</i> exprimé en % d'inhibition.....	34
Tableau 5 : Rendements (%) en huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i> originaire de la région de Relizane (Algérie).	35
Tableau 6 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de <i>Laurus nobilis</i> exprimée en % d'inhibition.....	37
Tableau 7 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de <i>Laurus nobilis</i> exprimée en CI ₅₀	37
Tableau 8 : Pouvoir d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine de l'huiles essentielle de <i>Lauris nobilis</i> exprimé en % d'inhibition	38

LISTE DES ABREVIATIONS

ABTS +• : Acide 2,2'-azino-bis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

BHA : Butylhydroxyanisole

BHT : Butylhydroxytoluene

Cm : Centimètre

C° : Degré Celsius

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

CMI : Concentration minimal inhibitrice

DPPH• : Radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

DMPD : le balayage du radical N, N'-p-di-méthylique-phénylènediamine

DROS: Dérivés réactifs de l'oxygène

DO : Densité Optique

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène

FRAP : Ferric Reducing Antioxydant Power.

Fe2+ : Ion ferreux

g : Gramme

HE : Huiles Essentielles

IC₅₀ : Concentration d'Inhibitrice 50

Kg : Kilogramme

L : Litre

•OH : Radical hydroxyle.

ORAC : capacité d'absorbance du radical de l'oxygène

PLC : Photo chimiluminescence

PG : Gallate Propylée

Ph. EUR : Pharmacopée Européenne

UV : Ultra-Violet.

µl: Microlitre

SOD : Superoxyde Dismutase

TBHQ : Tetra-butylhydroquinone

INTRODUCTION

Les plantes aromatiques ont depuis longtemps captivé l'intérêt de l'humanité en raison de leurs arômes distinctifs et de leurs multiples utilisations médicinales, culinaires et cosmétiques. Ainsi les huiles essentielles contenues dans ces plantes jouent un rôle crucial, car elles concentrent les composés volatils responsables de ces propriétés. Les huiles essentielles sont obtenues principalement par distillation à la vapeur d'eau ou hydrodistillation des parties aromatiques des plantes. Elles contiennent une multitude de composés chimiques, tels que des terpènes, des phénols et des esters, qui confèrent à chaque huile son profil unique et ses propriétés spécifiques.

Les applications des huiles essentielles sont vastes et variées. Elles sont largement utilisées dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et alimentaires pour leurs propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, et antioxydantes. De plus, en aromathérapie, elles sont utilisées pour promouvoir le bien-être physique et mental. Cette diversité d'usages fait des huiles essentielles des produits de grande valeur économique et scientifique.

Les radicaux libres sont des molécules instables qui peuvent endommager les cellules, entraînant des maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et le vieillissement prématué. Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ces radicaux libres, minimisant ainsi leurs effets nocifs. Les antioxydants peuvent être d'origine naturelle ou synthétique.

Si les antioxydants chimiques sont couramment utilisés dans divers produits industriels, leur usage présente des risques pour la santé humaine. Des études ont montré que certains antioxydants synthétiques peuvent être toxiques et provoquer des effets indésirables à long terme. En revanche, les antioxydants naturels, souvent trouvés dans les plantes et les huiles essentielles, offrent une alternative plus sûre et plus saine. Ils présentent généralement moins d'effets secondaires et peuvent fournir des bénéfices supplémentaires grâce à la présence de composés bioactifs.

L'intérêt croissant pour les alternatives naturelles aux antioxydants chimiques découle des préoccupations concernant la santé publique et la sécurité des consommateurs. Les huiles essentielles de plantes aromatiques représentent une source potentielle riche en antioxydants naturels. L'exploration de ces sources naturelles peut conduire à des découvertes importantes pour la médecine, l'industrie alimentaire et la cosmétique.

De ce fait les huiles essentielles possèdent un vaste éventail de propriétés biologiques, parmi lesquelles l'activité anti-inflammatoire occupe une place importante. De nombreux composés présents dans les huiles essentielles, ont démontré des effets significatifs dans la réduction de l'inflammation. Ces composés agissent par divers mécanismes, notamment en

inhibant la production de cytokines pro-inflammatoires, en modulant l'activité des enzymes impliquées dans l'inflammation et en neutralisant les radicaux libres qui exacerbent les réponses inflammatoires. Ainsi, les huiles essentielles, en tant que sources riches en composés bioactifs, représentent une voie prometteuse pour le développement de nouvelles approches thérapeutiques contre les maladies inflammatoires chroniques.

L'Algérie est dotée d'une biodiversité exceptionnelle grâce à sa variété de climats et d'écosystèmes. La richesse de sa faune et de sa flore offre un vaste potentiel pour la découverte de nouvelles espèces végétales aux propriétés bénéfiques. Parmi ces espèces, *Mentha × piperita* (menthe poivrée) et *Laurus nobilis* (laurier noble) sont deux plantes aromatiques, reconnues pour leurs huiles essentielles aux multiples vertus.

Valoriser la biodiversité algérienne, notamment en étudiant les huiles essentielles des plantes locales, peut avoir des retombées économiques et scientifiques significatives. Non seulement cela contribue à la préservation de l'environnement, mais cela permet également de développer des produits naturels innovants, offrant des alternatives sûres et efficaces aux produits synthétiques.

Dans ce contexte, nous avons structuré le présent travail en trois grandes parties. La première partie regroupe une synthèse bibliographique détaillant les connaissances actuelles sur les plantes étudiées et leurs huiles essentielles. La deuxième partie est dédiée à la partie expérimentale, où nous décrivons les méthodes et techniques utilisées pour l'extraction et l'analyse des huiles essentielles. Enfin, la troisième partie présente les résultats obtenus et leur discussion, mettant en lumière les activités biologiques des huiles essentielles étudiées.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Synthèse bibliographique des plantes étudiées

I. *Mentha x piperita*

I.1. Présentation de la plante

La menthe poivrée (*Mentha × piperita*) est un hybride résultant d'un croisement spontané entre *Mentha aquatica* (menthe aquatique) et *Mentha spicata* (menthe verte). La présence d'une croix dans le nom scientifique (*Mentha × piperita*) indique son origine hybride. Cette plante tire son nom latin "piperita", signifiant "poivrée", de son arôme distinctivement fort et frais, attribuable à l'huile essentielle contenue dans ses feuilles (Baudoux, 2002). Cultivée couramment en Europe et en Amérique du Nord, la menthe poivrée est largement utilisée à des fins médicinales. Ses feuilles séchées et son huile essentielle sont reconnues pour traiter divers troubles gastro-intestinaux, tels que les nausées, la diarrhée et le syndrome du côlon irritable. Elle est souvent combinée avec d'autres plantes pour optimiser le traitement des problèmes digestifs. **Carolus Linnaeus** a été le premier à décrire cette espèce en 1753 (Foster, 1996).

Les principaux producteurs mondiaux d'huile essentielle de menthe poivrée sont l'Inde, l'Italie, l'Argentine et l'Australie, contribuant de manière significative à l'approvisionnement global en cette ressource précieuse.

I.2. Description botanique

La menthe poivrée (*Mentha × piperita*) est une plante herbacée vivace qui se propage principalement par des rhizomes souterrains et par des stolons, permettant une expansion efficace de la plante dans son environnement (Baudoux, 2002). Les feuilles, mesurant entre 4 et 10 cm de longueur, présentent une forme ovale et sont de couleur vert foncé, virant au rougeâtre sous l'effet du soleil et au rouge cuivré à l'ombre. Elles sont couvertes de trichomes glandulaires ronds, lesquels abritent des huiles essentielles volatiles responsables de l'arôme distinctif de la plante.

Les tiges de la menthe poivrée sont quadrangulaires, souvent teintées de violet, et mesurent de 50 à 80 cm de hauteur. Elles sont érigées et portent des branches opposées. Cette structure tétragone des tiges est un trait caractéristique de nombreuses espèces du genre *Mentha*, facilitant leur identification botanique (Hammami et Abdsselem, 2005).

Les fleurs de la menthe poivrée sont regroupées en épis denses situés au sommet des tiges. Elles présentent une teinte rose violacé, bien que des variations de couleur allant du pourpre au blanc soient parfois observées. Le calice, campanulé, est doté de cinq dents, tandis que la corolle, de couleur pourpre violacée, se termine par quatre lobes. Les fleurs abritent quatre étamines incluses dans la corolle. Les graines de la menthe poivrée sont rares et souvent

stériles, ce qui limite la propagation de la plante par voie sexuée et accentue l'importance des modes de reproduction végétative.



Figure 1: Photos de l'espèce *Mentha × piperita* (Anonyme)

I.3. Systématique de *Mentha × piperita*

Classification botanique de *Mentha × piperita* selon **Cronquist (1981)** :

- ✓ Rang : Classification
- ✓ Règne : Plantes
- ✓ Embranchement : Cormophytes
- ✓ Sous-embranchement : Angiospermes
- ✓ Classe : Magnoliopsidées
- ✓ Sous-classe : Asteridées
- ✓ Ordre : Lamiales
- ✓ Famille : Lamiacées
- ✓ Genre : *Mentha*
- ✓ Espèce : *Mentha × piperita*

I.4. Usages thérapeutiques

La menthe poivrée (*Mentha × piperita*) est un pilier de la phytothérapie, cultivée depuis l'Antiquité pour ses nombreuses vertus médicinales. Historiquement, elle est prisée pour ses propriétés aromatiques, toniques, et fortifiantes, ainsi que pour ses effets digestifs bénéfiques.

La menthe poivrée est particulièrement bénéfique pour le système digestif. Elle stimule la production de sucs digestifs et de bile, tout en relaxant les muscles intestinaux, ce qui améliore le processus digestif global. Cette plante est efficace pour atténuer les nausées, les ballonnements et les colites. Son action antispasmodique sur le côlon est précieuse pour traiter

la diarrhée et la constipation (**Youcef, 1990 ; Iserin, 2001**). Les propriétés carminatives de la menthe poivrée aident à expulser les gaz intestinaux, réduisant ainsi les sensations de ballonnement et de gêne abdominale.

La menthe poivrée est également utilisée pour soulager divers types de douleurs. En application topique, l'huile essentielle de menthe poivrée est efficace contre les maux de tête grâce à son effet rafraîchissant et analgésique. Elle est utilisée pour traiter les démangeaisons cutanées causées par des parasites et pour réduire l'inflammation des voies respiratoires et de la muqueuse buccale. De plus, la menthe poivrée aide à soulager les symptômes du rhume et de la toux, et est bénéfique contre les douleurs musculaires et névralgiques associées au rhumatisme (**Hammami et Abdesselem, 2005**).

L'huile essentielle de menthe poivrée est un remède efficace contre les infections bronchiques. Utilisée en inhalation ou en massage léger sur la poitrine, elle aide à dégager les voies respiratoires et à apaiser les symptômes bronchiques. En phytothérapie, la plante entière est reconnue pour son efficacité contre les gastro-entérites, grâce à ses propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires (**Iserin, 2001**). L'action antiseptique de l'huile essentielle contribue également à la prévention et au traitement des infections des voies respiratoires et digestives.

II. *Laurus nobilis* L.

II.1. Présentation de la plante

Le laurier noble (*Laurus nobilis* L.), consacré à Apollon et Esculape chez les Grecs et utilisé pour couronner les empereurs et les héros chez les Romains, occupe une place importante dans les domaines mythologique, culinaire et médicinal depuis l'Antiquité (**Vetvicka et Matousova, 1991**). *Laurus nobilis* fait partie des plantes aux propriétés médicinales et aromatiques reconnues (**Chaabén et al., 2015**). Membre de la famille des Lauracées, cette famille comprend 32 genres et environ 2000 à 2500 espèces (**Barla et al., 2007**).

Le terme "Laurus" est d'origine latine, provenant du celtique, signifiant "toujours vert", en référence au feuillage persistant de la plante (**Jirovetz et al., 1997**). L'épithète spécifique "nobilis" vient du latin signifiant "fameux" ou "noble" (**Pariente, 2001**). Le laurier noble symbolise également le succès, notamment à travers le terme "baccalauréat", dérivé du latin "Bacca lauri", signifiant "baies de laurier" (**Zhiri et al., 2005**).

II.2. Description botanique

Le laurier noble (*Laurus nobilis* L.) est un arbuste ou un arbre aromatique qui peut atteindre une hauteur de 2 à 10 mètres. Sa croissance est relativement lente, et il présente un tronc droit qui se ramifie dès la base, formant initialement une cime conique qui tend à

s'arrondir avec l'âge. L'écorce est noire à gris foncé et lisse. Les branches poussent en oblique, avec de jeunes pousses fines, glabres et de couleur brun rougeâtre. Les bourgeons, étroits et verts rougeâtres, mesurent entre 0,2 et 0,4 cm de longueur (**Quézel et Santa, 1963**).

Le feuillage du laurier noble est persistant, constitué de feuilles aromatiques, simples, alternes et coriaces. Le pétiole mesure de 2 à 5 cm, tandis que les feuilles elles-mêmes varient de 5 à 12 cm de longueur et de 2 à 6 cm de largeur. Elles sont lancéolées, légèrement ondulées et entaillées sur les bords. La face supérieure des feuilles est vert foncé et brillante, tandis que la face inférieure est vert clair avec des nervures latérales pennées et rougeâtres (**Quézel et Santa, 1963**).

Les fleurs du laurier noble sont dioïques, c'est-à-dire que les fleurs mâles et femelles se trouvent sur des individus séparés. Elles mesurent de 0,4 à 0,8 cm et sont unisexuées, de couleur jaune verdâtre, avec un périanthe simple soudé à la base. Les fleurs sont regroupées en ombelles de 4 à 6. Les fleurs mâles possèdent entre 8 et 12 étamines rudimentaires, tandis que les fleurs femelles sont dotées d'un ovaire hypogyne à un compartiment, surmonté d'un stigmate divisé en trois parties. Le fruit du laurier noble est une baie ovoïde, soutenue par un tube périanthaire peu dilaté. Mesurant environ 2 cm de longueur et 1 cm de largeur, le fruit est noir vernissé et renferme une seule graine libre (**Beloued, 2005**). Le mésocarpe charnu du fruit contient de l'huile essentielle et des cellules spécialisées. Les cotylédons, épais, sont également riches en lipides (**Miosic et Paris, 1976**).

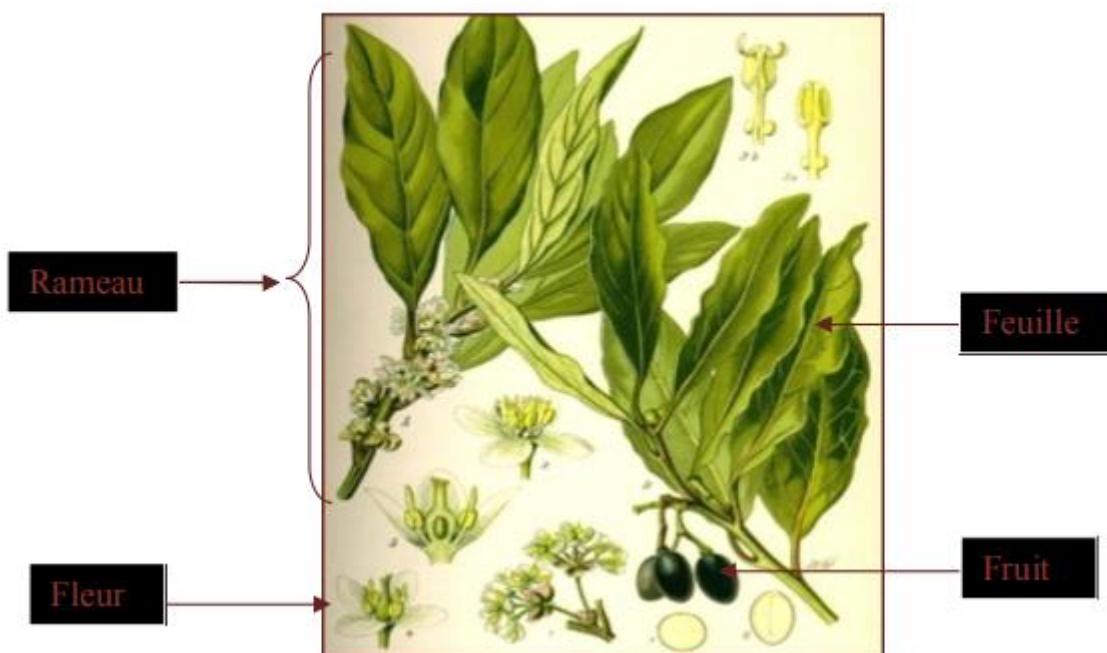


Figure 2 : Aspect morphologique de *Laurus nobilis* L (Beloued A, 2005)

II.3. Systématique de *Laurus nobilis*

Classification botanique de *Laurus nobilis* L (**Quzel et santa, 1962**).

- ✓ Règne : Plantes
- ✓ Embranchement : Spermaphytes
- ✓ Sous embranchement : Angiospermes
- ✓ Classe : Dicotylédones
- ✓ Sous Classe : Dialypétales
- ✓ Ordre : Laurales
- ✓ Famille : Lauracées
- ✓ Genre : *Laurus*
- ✓ Espèce : *Laurus nobilis* L

II.4. Usage thérapeutique

Le laurier noble (*Laurus nobilis* L.) est largement utilisé en phytothérapie pour ses multiples propriétés médicinales. Il est particulièrement efficace pour traiter les troubles de l'appareil digestif supérieur, comme la dyspepsie, et les douleurs arthritiques. De plus, il stimule l'appétit et favorise la sécrétion des sucs gastriques, ce qui améliore la digestion. En infusion, ses feuilles sont réputées pour leurs effets révulsifs et toniques sur l'estomac et la vessie. En application topique sous forme de cataplasme, les feuilles de laurier sont utilisées pour soulager les piqûres de guêpe ou d'abeille. L'écorce de laurier est également connue pour ses propriétés litholytiques, aidant à briser les calculs rénaux, et pour ses effets bénéfiques sur les affections du foie. Ajoutée à l'eau du bain, une décoction de feuilles de laurier peut apaiser les douleurs musculaires et articulaires (**Larousse, 2001**).

En médecine traditionnelle turque, l'extrait aqueux de laurier est utilisé pour ses propriétés anti-hémorroïdales, antirhumatismales, diurétiques et comme antidote en cas de morsure de serpent. Il est également employé pour traiter les maux d'estomac (**Kivcak et Mert, 2002**). Dans la médecine traditionnelle iranienne, les feuilles de *Laurus nobilis* ont été utilisées pour traiter des maladies neurologiques telles que l'épilepsie et le parkinsonisme (**Aqili Khorasani, 1992**). En Argentine, une décoction des feuilles séchées de laurier est consommée par voie orale pour traiter les infections des voies respiratoires et urinaires (**Ivan A. Ross, 2001**). Les propriétés antimicrobiennes et antiseptiques de l'huile essentielle de laurier contribuent à son efficacité dans le traitement de ces infections.

Chapitre II : Les différentes techniques d'extraction des huiles essentielles

I. Les méthodes conventionnelles

I.1. Hydrodistillation

L'hydrodistillation est un procédé de séparation et d'extraction des huiles essentielles (HE) qui implique l'immersion de la matière végétale dans un bain d'eau, suivi d'une élévation de température jusqu'à l'ébullition du mélange (**Figure 3**). Ce processus est généralement mené à pression atmosphérique, bien que des variations existent en fonction des exigences spécifiques des plantes traitées et des composés ciblés.

La distillation peut s'effectuer avec ou sans cohobage des eaux aromatiques obtenues lors de la décantation. Le cohobage est une technique où l'eau distillée, chargée de composés aromatiques, est renvoyée dans l'alambic pour une distillation supplémentaire, augmentant ainsi la concentration de certains composés aromatiques volatils dans l'huile essentielle finale.

Cependant, l'hydrodistillation présente certains inconvénients, principalement liés à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau à ébullition sur les organes végétaux. Certains tissus végétaux, particulièrement les fleurs, sont trop fragiles pour supporter le traitement par entraînement à la vapeur d'eau ou par hydrodistillation. Cette méthode peut entraîner la dégradation de composés sensibles à la chaleur et à l'humidité, ce qui altère la composition chimique de l'huile essentielle obtenue (**Farhat, 2010**).

L'hydrodistillation est largement utilisée dans l'industrie des huiles essentielles en raison de sa simplicité et de son efficacité relative pour une variété de plantes. Cependant, pour améliorer davantage l'efficacité du procédé et minimiser les inconvénients, des innovations technologiques sont continuellement explorées. Par exemple, l'intégration de la distillation assistée par micro-ondes, ces techniques réduisent le temps de distillation et la dégradation thermique, tout en augmentant le rendement et la qualité des huiles essentielles.

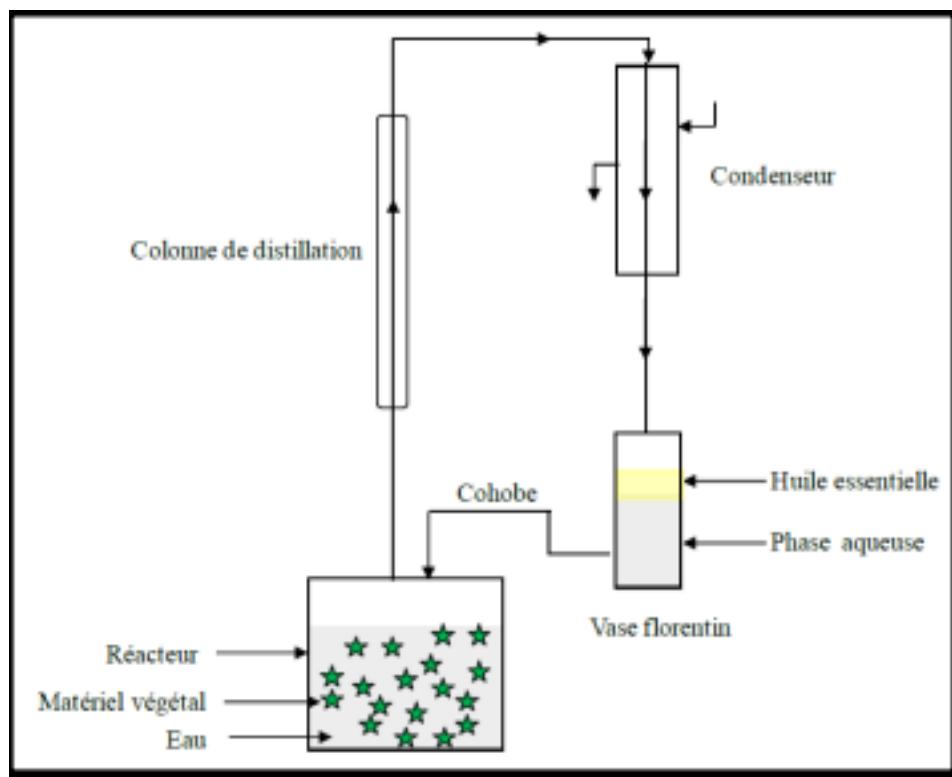


Figure 3 : Principe schématisé de l'hydrodistillation (Ferhat *et al.*, 2016)

I.2. Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est une des méthodes officielles pour l'extraction des huiles essentielles (HE) et est largement reconnue et décrite dans la **Pharmacopée Européenne (2007)**. Ce procédé, illustré dans la **Figure 4**, implique l'utilisation de vapeur d'eau pour extraire les composés volatils des matières végétales sans nécessiter de macération préalable.

Dans ce système d'extraction, le matériau végétal est placé dans un alambic où il est traversé par un courant de vapeur d'eau. La vapeur passe à travers la matière végétale, entraînant avec elle les composés volatils contenus dans les cellules des plantes. Les vapeurs saturées en composés volatils sont ensuite dirigées vers un condenseur, où elles se refroidissent et se liquéfient. Le mélange condensé est alors collecté dans un essencier où il subit une décantation.

Au cours de la décantation, les phases aqueuse et organique se séparent en raison de leurs différences de densité. La phase aqueuse, connue sous le nom d'hydrolat ou eau florale, contient de petites quantités de composés aromatiques solubles dans l'eau. La phase organique, constituée principalement des huiles essentielles, est récoltée séparément. Ce processus permet d'obtenir une huile essentielle pure sans contact direct avec l'eau, évitant ainsi les phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation thermique qui pourraient altérer la qualité des huiles essentielles extraites (Ferhat *et al.*, 2016).

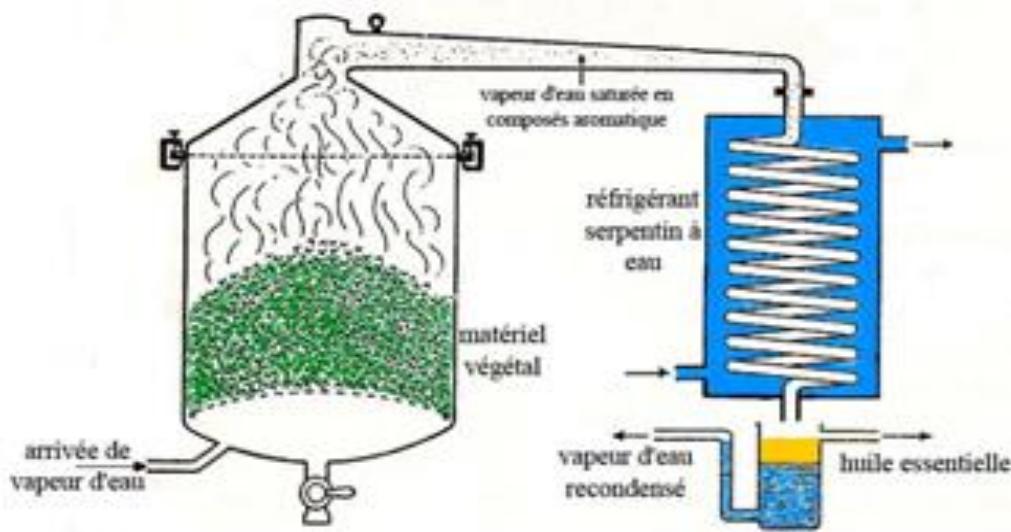


Figure 4: Entraînement à la vapeur d'eau (Ferhat et al., 2016)

I.3. Le pressage à froid

La technique du pressage à froid est spécifiquement utilisée pour l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes des agrumes. Ce procédé mécanique consiste à rompre ou dilacerer les parois des sacs oléifères présents dans le mésocarpe, situé juste sous l'épicarpe, ou écorce, du fruit. L'objectif est de recueillir le contenu des sacs oléifères sans qu'il subisse de modification chimique ou thermique.

Historiquement, les essences de Citrus étaient extraites manuellement, un processus laborieux et coûteux. Cependant, avec l'augmentation de la demande pour ces essences, la mécanisation et l'industrialisation de la technique d'expression à froid ont été introduites au début du XXe siècle. Ces innovations ont permis de réduire les coûts de production et d'améliorer les rendements. Les systèmes modernes, tels que le « Food Machinery Corporation-in-line » (FMC), ont révolutionné ce processus. Ces dispositifs permettent l'extraction quasi-simultanée du jus de fruit et de l'essence, tout en évitant le contact entre les deux, ce qui préserve la pureté de l'essence. Cette méthode est particulièrement avantageuse car elle évite les problèmes liés à la distillation, qui peut altérer la qualité des huiles essentielles par l'oxydation et la dégradation thermique des composés volatils, notamment les aldéhydes, qui sont sensibles à la chaleur et à l'oxydation (Belsito et al., 2007 ; Ferhat et al., 2016).

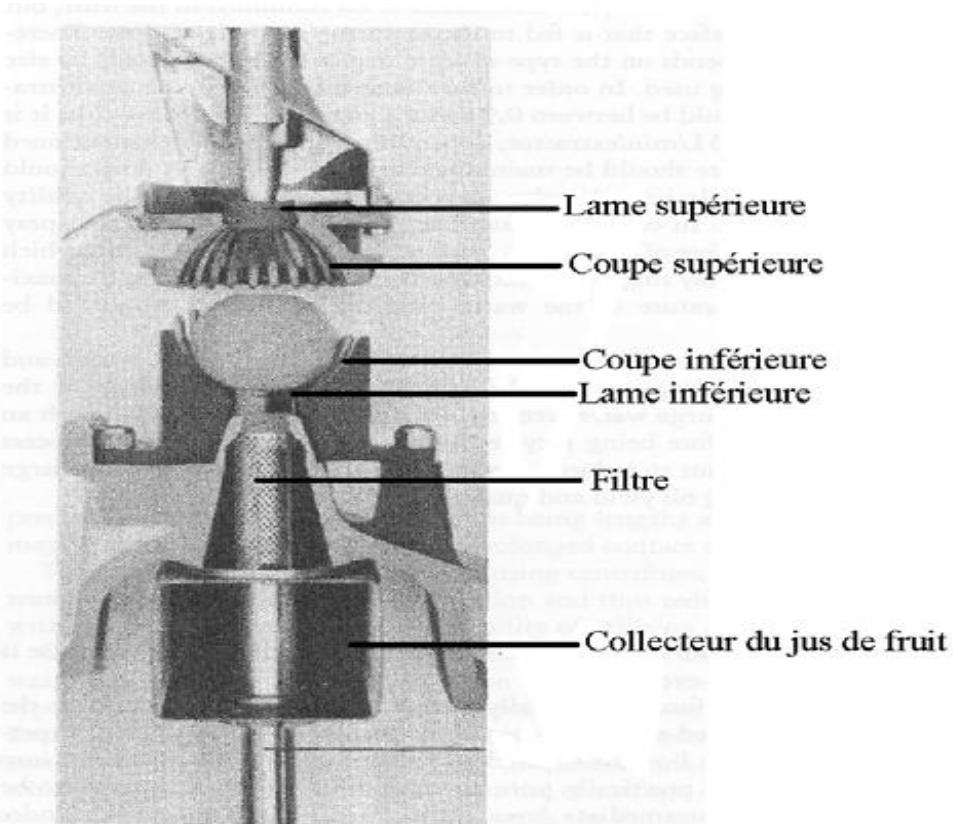


Figure 5 : L'extraction « in-line » (Belsito et al., 2007)

II. Les méthodes innovantes

L'innovation dans les méthodes d'extraction des composés bioactifs a conduit au développement de plusieurs techniques avancées, notamment l'extraction par ultrasons, l'extraction par micro-ondes et l'extraction par CO₂ supercritique. Ces techniques modernes répondent aux exigences actuelles en termes de durabilité, de répétabilité, de respect de l'environnement, ainsi que de la rapidité et d'automatisation.

II.1. Extraction assistée par les ultrasons

L'extraction assistée par ultrasons est une technique innovante qui a été introduite dans les années 1950 (Vinatoru, 2001). Initialement utilisée avec des équipements de taille laboratoire, cette méthode a été optimisée pour des applications à plus grande échelle. Les dispositifs couramment utilisés sont les bains à ultrasons et les extracteurs fermés équipés de sondes ultrasoniques.

Les ultrasons sont des ondes sonores à haute fréquence, inaudibles pour l'oreille humaine, variant de 20 kHz à 100 MHz. Lorsqu'elles sont supérieures à 20 kHz, ces ondes génèrent des vibrations mécaniques dans des milieux solides, liquides ou gazeux. Cette technique est particulièrement efficace pour l'extraction des composés naturels, car elle permet de réaliser des extractions en un temps très court (quelques minutes) avec une grande

reproductibilité (**Chemat et al., 2011**). Les ultrasons perturbent les structures de la paroi cellulaire, provoquant la lyse cellulaire, et accélèrent la diffusion moléculaire à travers les membranes cellulaires en les brisant. Cette perturbation facilite la libération des composés bioactifs contenus dans les cellules végétales (**Bourgou et al., 2016**). L'extraction assistée par ultrasons présente de nombreux avantages, notamment une réduction significative du temps de traitement et une amélioration de l'efficacité d'extraction par rapport aux méthodes conventionnelles.

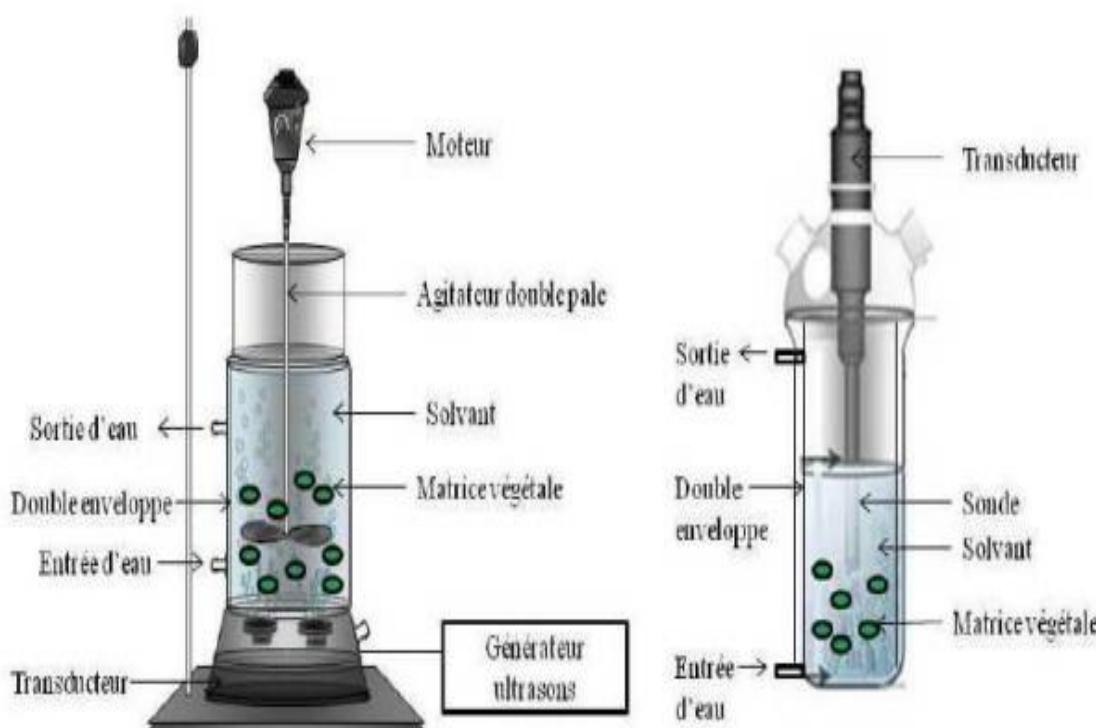


Figure 6 : Extraction par ultrasons (Bourgou et al., 2016)

II.2. Extraction assistée par les micro-ondes

L'extraction assistée par les micro-ondes représente une avancée significative dans les techniques d'extraction des huiles essentielles et autres composés bioactifs, en permettant un chauffage plus efficace et plus sélectif. Ce procédé, conforme aux principes de la chimie verte, permet de réaliser des extractions en quelques minutes, comparativement aux heures requises par les méthodes traditionnelles.

II.2.1. Extraction sans solvant assistée par micro-ondes (ESSAM) :

L'extraction sans solvant assistée par micro-ondes (ESSAM) est une technique innovante développée pour extraire les huiles essentielles sans l'utilisation de solvants organiques. Connue également sous le nom de Solvent-Free Microwave Extraction (SFME), ce procédé consiste à placer la matière végétale dans une enceinte fermée et à la chauffer

sélectivement à l'aide de micro-ondes. Les micro-ondes, qui sont des ondes électromagnétiques se propageant à la vitesse de la lumière, ont une fréquence comprise entre 300 MHz et 30 GHz, soit une longueur d'onde variant de 1 m à 1 cm (**Kingston & Haswell, 1997** ; **Skaria et al., 2007**). Les micro-ondes interagissent avec certaines molécules, notamment l'eau, qui absorbent l'énergie des ondes et la convertissent en chaleur. Cette interaction provoque une élévation rapide de la température à l'intérieur du matériau végétal, jusqu'à ce que la pression interne dépasse la capacité des parois cellulaires à se dilater (**Farhat, 2010**). Le chauffage de l'eau contenue dans les cellules végétales entraîne la rupture des glandes sécrétrices d'huile essentielle. Les molécules volatiles sont alors entraînées par la vapeur d'eau formée et récupérées par condensation, de manière similaire aux méthodes traditionnelles (**Piochon, 2008**).

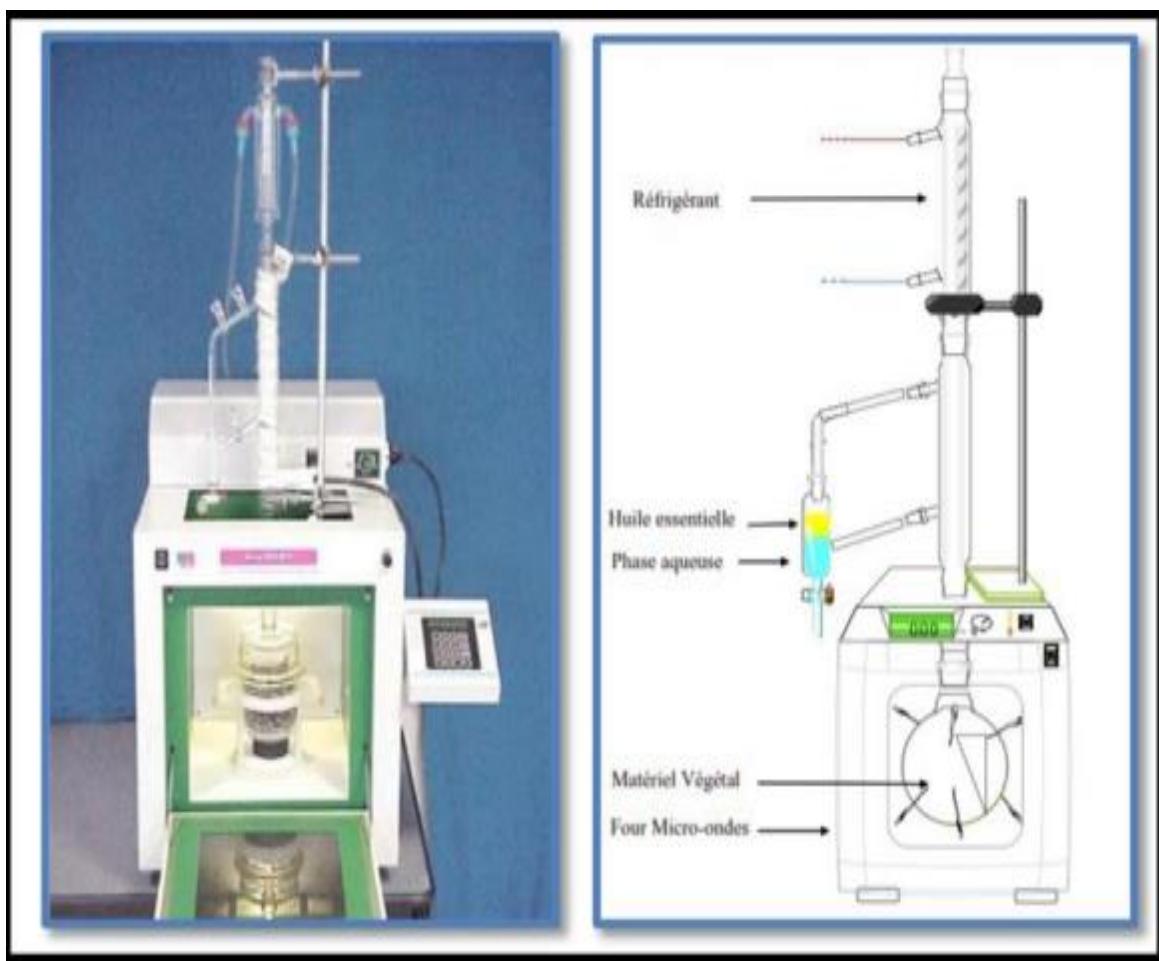


Figure 7: Extraction sans solvant assisté par micro-ondes (Guerrouf, 2017)

II.2.2. Extraction avec solvant assistée par micro-ondes

L'extraction avec solvant assistée par micro-ondes (MASE) est une technique innovante introduite par **Ganzler** en Hongrie en **1986**, dans le but d'améliorer l'efficacité de l'extraction pour les analyses chromatographiques. Cette méthode consiste à irradier par micro-ondes une

matière, végétale ou non, préalablement broyée, en présence d'un solvant approprié. Selon le type de composés à extraire, le solvant choisi peut soit absorber fortement les micro-ondes (comme le méthanol pour les composés polaires), soit ne pas les absorber (comme l'hexane pour les composés apolaires).

Le principe de la MASE repose sur l'interaction des micro-ondes avec le solvant et la matrice végétale, permettant une extraction rapide et efficace des composés d'intérêt. L'irradiation micro-ondes entraîne une élévation rapide de la température et de la pression au sein des cellules végétales, ce qui provoque une rupture plus rapide et plus complète des glandes sécrétrices et des structures cellulaires par rapport aux méthodes conventionnelles. Ainsi, les micro-ondes pénètrent directement dans les systèmes glandulaires et vasculaires des plantes, facilitant l'extraction des huiles essentielles et autres composés bioactifs.

Le schéma typique du procédé implique l'immersion de la matière végétale dans un solvant non absorbant comme l'hexane (**Figure 08**), et son exposition à l'irradiation micro-ondes. Les conditions thermiques sévères et les pressions locales élevées générées au cours de ce processus surpassent la capacité des cellules à se dilater, entraînant une rupture rapide des glandes contenant les huiles essentielles.

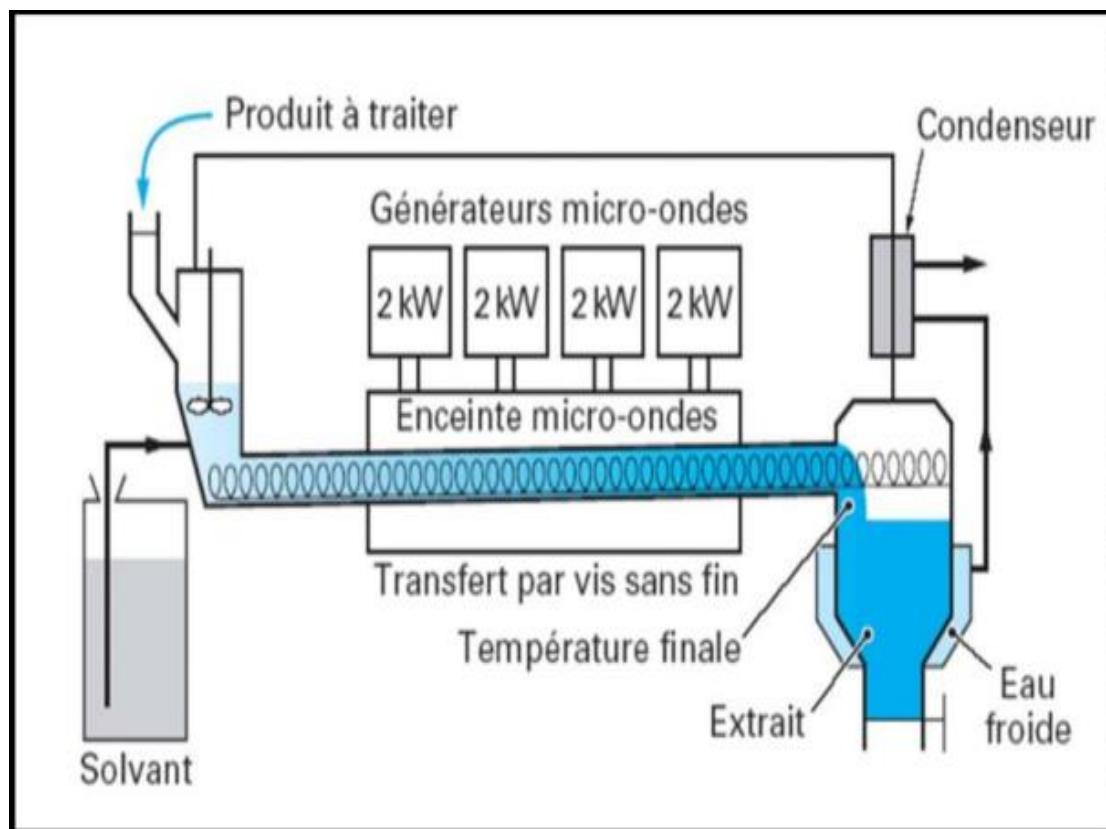


Figure 8 : Procédé d'extraction assisté par micro-ondes (ESMO) (Lucchesi *et al*, 2007)

II.3. Extraction par CO₂ supercritique

L'extraction par le CO₂ supercritique représente une avancée majeure dans les méthodes d'extraction, émergée dans les années 1980. Cette technique capitalise sur une propriété singulière du CO₂, se manifestant au-delà de son point critique (pression de 73,8 bars et température de 31,1°C), où il se trouve dans un état intermédiaire entre liquide et gaz, ce qui lui confère un pouvoir d'extraction exceptionnel des molécules aromatiques. Le principe fondamental de cette méthode repose sur la capacité du CO₂ à agir comme solvant à des conditions de température et de pression spécifiques. Dans cette approche, le CO₂ est amené aux conditions requises et circule à travers la matière végétale, extrayant et volatilisant les composés aromatiques. Le mélange résultant est ensuite dirigé vers un séparateur où le CO₂, détendu, se vaporise. Il peut être éliminé ou recyclé, tandis que l'extrait est récupéré sous forme condensée (**Fernandez X et al. 2012**).

L'extraction par CO₂ supercritique présente de nombreux avantages qui en font une technique prometteuse. Le CO₂ répond à de nombreux critères du solvant idéal, étant naturel, chimiquement inerte, ininflammable, peu毒ique, sélectif et abondant. De plus, cette méthode ne nécessite pas d'eau et est réalisée à basse température, préservant ainsi la composition des extraits. Cependant, ses inconvénients résident dans la complexité des installations et leur coût élevé, ce qui peut limiter son accessibilité aux petits producteurs. De plus, cette méthode est énergivore, augmentant les coûts de production (**Fernandez X et al. 2012**).

Chapitre III : Activités biologiques des huiles essentielles

I. Les huiles essentielles

Les huiles essentielles (HEs) sont des mélanges complexes de composés naturels, volatiles et aromatiques, synthétisés par les plantes en tant que métabolites secondaires (**Kalemba et Kunicka, 2003 ; Ugarte et al., 2019**). Ces huiles se trouvent dans diverses parties des plantes, notamment les fleurs (comme la rose), les feuilles (comme la citronnelle), les écorces (comme le cannellier), les racines (comme l'iris), les fruits (comme le vanillier), les bulbes (comme l'ail), les rhizomes (comme le gingembre), et les graines (comme la muscade) (**Serrato-Valenti et al., 1997 ; Parthasarathy et al., 2008**).

L'Association Française de Normalisation (AFNOR) définit les huiles essentielles comme : « Des produits obtenus soit à partir de matières premières naturelles par distillation à l'eau ou à la vapeur d'eau, soit à partir des fruits de Citrus par des procédés mécaniques, et qui sont séparés de la phase aqueuse par des procédés physiques » (**AFNOR, Édition 2000**).

Dans la nature, les huiles essentielles jouent un rôle crucial dans la défense des plantes. Elles possèdent des propriétés antimicrobiennes, insecticides et peuvent également dissuader les herbivores en réduisant leur appétit pour ces plantes (**Bakkali et al., 2008**). Par ailleurs, ces composés peuvent attirer certains insectes, facilitant ainsi la pollinisation et la dispersion des graines, contribuant de manière significative à la reproduction et à la diversité des plantes. Les huiles essentielles sont constituées de multiples composants bioactifs tels que les terpènes, les phénols, les esters, les aldéhydes, les cétones, et les alcools. Ces composés sont responsables de leurs diverses propriétés biologiques, incluant des effets antifongiques, antiviraux, antioxydants et anti-inflammatoires. Ces propriétés rendent les huiles essentielles particulièrement intéressantes pour des applications thérapeutiques, agroalimentaires et cosmétiques (**Bakkali et al., 2008**).

Les huiles essentielles, grâce à leur complexité chimique et à leurs multiples propriétés biologiques, jouent un rôle fondamental dans l'écosystème végétal et offrent de nombreuses applications pratiques. Leur étude continue à révéler de nouvelles perspectives thérapeutiques et industrielles, faisant d'elles un domaine de recherche dynamique et en constante évolution.

I.1. Les constituants des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HEs) sont des mélanges complexes et hautement variables de constituants, appartenant principalement à deux groupes biogénétiques distincts : les terpénoïdes et les composés aromatiques. Elles peuvent également contenir divers produits de dégradation issus de constituants non volatiles (**Bruneton, 2009**).

I.1.1. Les terpènes et les terpénoïdes

Les terpénoïdes, avec environ 70 000 structures identifiées à ce jour (d'après le dictionnaire des molécules naturelles), constituent la plus grande famille de composés naturels (**Vavitsas, 2018**). Bien que le terme « terpène » soit réservé aux composés oléfiniques et « terpénoïdes » aux terpènes oxydés, ces termes sont souvent utilisés de manière interchangeable. Les terpènes sont composés d'unités isoprènes, chaque unité contenant cinq carbones, et leur nombre total de carbones est un multiple de cinq. Les produits de dégradation des terpénoïdes peuvent contenir des nombres variables d'atomes de carbone mais conservent une structure indiquant leur origine terpénoïde (**Sell, 2003**).

La classification des terpènes est basée sur le nombre d'unités isoprènes dans leur structure chimique :

- **Hémiterpènes** : contiennent une seule unité isoprène (exemple : l'isoprène lui-même).
- **Monoterpènes** : composés de deux unités isoprènes, présents dans les huiles essentielles, les parfums et les épices.
- **Sesquiterpènes** : composés de trois unités isoprènes, fréquemment trouvés dans les huiles essentielles, jouent un rôle dans la défense des plantes et l'attraction des polliniseurs.
- **Diterpènes** : composés de quatre unités isoprènes, non volatils, impliqués dans les hormones végétales comme l'acide gibbérellique.
- **Triterpènes** : composés de six unités isoprènes, présents dans les membranes cellulaires des plantes (exemple : les stérols) et incluent les saponines et les glycosides cardiotoniques.
- **Tétraterpènes** : composés de huit unités isoprènes, regroupent les caroténoïdes, responsables des pigments jaunes/orangés des plantes (Maldonado-Bonilla, 2008).

I.1.2. Les composés aromatiques

Les composés aromatiques présents dans les huiles essentielles dérivent principalement des phénylpropanoïdes, issus de la voie de biosynthèse de l'acide shikimique, absente chez les animaux mais présente chez les micro-organismes et les plantes. Cette voie produit diverses familles de composés (lignanes, coumarines, etc.), dont une cinquantaine se retrouve dans les huiles essentielles (**Thormar, 2011**). Bien que moins fréquents que les terpènes, ces composés aromatiques sont essentiels pour les propriétés organoleptiques et thérapeutiques des huiles essentielles. Parmi eux, on trouve l'acide salicylique, l'acide cinnamique, l'acide benzoïque, et l'eugénol et ses dérivés (**Morel, 2008**).

I.1.3. Les composés d'origines diverses

Un certain nombre de composés de natures variées sont également présents dans les huiles essentielles, bien que souvent en très faibles quantités. Ces composés peuvent inclure :

- **Produits de dégradation de terpènes non volatils** : comme les ionones issues de l'auto-oxydation des carotènes.
- **Acides gras volatils** : tels que le (Z)-hex-3-èn-1-ol ou le décanal, dérivés des acides linoléique et α -linolénique par des voies enzymatiques.

Ces composés résultent de transformations de molécules non volatiles et contribuent aux arômes de fruits. Les concrètes et absolues, préparées par des méthodes spécifiques, ainsi que les huiles essentielles obtenues par entraînement à la vapeur d'eau, peuvent contenir ces produits (**Bruneton, 1999**).

I.1.4. Chémotype

Les composés chimiques présents dans une huile essentielle ne sont pas constants et peuvent varier considérablement entre individus de la même espèce. Deux plantes morphologiquement et caryologiquement identiques peuvent produire des essences aux compositions chimiques très différentes, ce qui peut altérer de manière significative les propriétés thérapeutiques de l'huile essentielle obtenue. Cette variabilité impose une attention particulière à la notion de chémotype (**Franchomme, 2001**).

Le concept de chémotype (ou chimotype), également connu sous le terme de race chimique, est crucial, il est défini comme un « groupe chimiquement défini au sein d'une population d'individus morphologiquement indiscernables » (**Keefover-Ring, 2009**). Cette notion permet de distinguer les variations chimiques significatives au sein d'une même espèce végétale.

Pour identifier un chémotype, on se base souvent sur les composés chimiques majoritaires présents dans l'huile essentielle. Cependant, des composés non majoritaires, mais ayant une importance particulière en termes de propriétés thérapeutiques, peuvent également être utilisés pour caractériser un chémotype. Ces variations chimiques résultent de l'expression de différentes voies métaboliques, influencées par divers facteurs environnementaux et génétiques (**Faucon, 2012**). Les facteurs influençant la composition chimique des huiles essentielles sont nombreux et parfois difficiles à appréhender. Des études menées sur *Thymus vulgaris* L. ont démontré que des plants chimiquement distincts peuvent croître côte à côte, soulignant ainsi la complexité des interactions environnementales et génétiques (**Besombes, 2008**).

I.2. Synergie et antagonisme entre les constituants des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HEs) sont des mélanges complexes de composés naturels volatils extraits de plantes. L'efficacité des huiles essentielles ne repose pas uniquement sur la présence de composants individuels, mais aussi sur les interactions entre ces composants, ce qui peut conduire à des effets synergiques ou antagonistes. Comprendre ces interactions est essentiel pour optimiser l'utilisation des huiles essentielles en aromathérapie et dans d'autres applications médicinales (**Burt, 2004**).

La synergie se produit lorsque l'interaction entre deux ou plusieurs composants d'une huile essentielle entraîne une activité biologique plus élevée que celle de chaque composant pris individuellement. En d'autres termes, les effets combinés des composants sont supérieurs à la somme de leurs effets individuels.

L'antagonisme, en revanche, se produit lorsque l'interaction entre les composants d'une huile essentielle réduit l'activité biologique globale, rendant l'effet combiné inférieur à la somme des effets individuels (**Bassolé et al., 2010**).

Comprendre les phénomènes de synergie et d'antagonisme est crucial pour plusieurs raisons :

- ✓ **Optimisation des Formulations** : En connaissant les interactions entre les différents composants, il est possible de créer des formulations d'huiles essentielles plus efficaces pour des applications thérapeutiques spécifiques.
- ✓ **Réduction des Effets Secondaires** : La synergie peut permettre de réduire les doses nécessaires de chaque composant, minimisant ainsi les effets secondaires potentiels.
- ✓ **Lutte contre la Résistance Microbienne** : Les combinaisons synergiques peuvent être plus efficaces contre les microbes résistants, en attaquant plusieurs cibles simultanément et en réduisant la probabilité de développement de résistances.
- ✓ **Innovations Pharmaceutiques** : La recherche sur les interactions synergiques et antagonistes ouvre la voie à de nouvelles découvertes en pharmacologie et en cosmétique, permettant le développement de produits plus sûrs et plus efficaces.

En conclusion, la notion de synergie et d'antagonisme entre les constituants des huiles essentielles est essentielle pour maximiser leur potentiel thérapeutique. Les recherches continues dans ce domaine permettront de mieux comprendre ces interactions complexes et d'exploiter pleinement les bienfaits des huiles essentielles pour la santé humaine (**Bassolé et Juliani, 2012**).

I.3. Propriétés Antioxydantes des Huiles Essentielles

I.3.1. Les Antioxydants et le Stress Oxydatif

Les espèces chimiques oxygénées réactives (ERO), incluant les radicaux libres, résultent de réactions biochimiques souvent associées au métabolisme aérobie. Un ensemble d'enzymes antioxydantes et de substrats d'épuration assure la protection des lipides membranaires, des protéines et de l'ADN contre les dommages oxydatifs. Lorsque les mécanismes de défense antioxydants échouent à contrecarrer la production excessive d'ERO, il en résulte un état pathologique connu sous le nom de stress oxydatif (**John Met al ; 1998**).

Les antioxydants sont des agents réducteurs bioactifs capables de prévenir les dommages induits par les ERO. Parmi ces ERO, on retrouve les radicaux anioniques superoxydes ($O_2^{\bullet-}$), les radicaux hydroxyles (OH^{\bullet}), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'oxygène singulet (1O_2). Ces antioxydants retardent significativement ou empêchent l'oxydation de substrats vitaux tels que les lipides, les protéines, l'ADN et les glucides. Par conséquent, ils jouent un rôle protecteur contre diverses maladies chroniques, y compris le cancer, les maladies coronariennes, les maladies cardiaques, les maladies auto-immunes, le diabète, la sclérose en plaques, l'athérosclérose et les inflammations chroniques (**Sudip et al., 2015**).

Les molécules antioxydantes peuvent être classées en antioxydants exogènes et endogènes. Les antioxydants exogènes incluent des vitamines (C, E), des caroténoïdes, de l'ubiquinone, des flavonoïdes, du glutathion et de l'acide lipoïque. Les antioxydants endogènes, quant à eux, comprennent des enzymes telles que la superoxyde dismutase (SOD), la glutathion peroxydase et la catalase, ainsi que des protéines comme la ferritine, la transferrine, la céruleoplasmine et l'albumine (**Pincemail et al., 2002**).

I.3.2. Activités Antioxydantes des Huiles Essentielles

L'activité antioxydante d'un composé se définit par sa capacité à résister à l'oxydation. Parmi les antioxydants les plus connus figurent le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E), la quercétine, la rutine et le picnogénol (**Bartosz, 2003**). Les antioxydants de synthèse, tels que le butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT), la tert-butylhydroquinone (TBHQ) et le gallate de propyle (PG), sont également largement utilisés pour leurs propriétés antioxydantes (**Suhaj, 2006 ; Tadhani et al., 2007**).

La majorité des antioxydants, qu'ils soient de synthèse ou d'origine naturelle, possèdent des groupes hydroxyphénoliques dans leurs structures. Ces groupes confèrent aux composés leur capacité à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH^{\bullet}) et superoxydes

(O₂^{•-}) (**Rice-Evans et al., 1995 ; Burda et Oleszek, 2001 ; Antolovich et al., 2002 ; Bartosz, 2003**).

L'évaluation de la capacité antioxydante des molécules peut se faire in vivo ou in vitro, en utilisant des tests qui miment les phénomènes physiologiques. Diverses méthodes ont été développées pour évaluer l'activité antioxydante des extraits naturels. Ces méthodes impliquent des mélanges d'espèces oxydantes, telles que les radicaux ou les complexes métalliques oxydés, avec des échantillons contenant des antioxydants capables d'inhiber la formation de radicaux (**Prior et al., 2005**). Ces antioxydants fonctionnent par deux mécanismes majeurs : le transfert d'atomes d'hydrogène ou le transfert d'électrons. Chaque technique d'évaluation antioxydante se distingue par les réactifs utilisés, les conditions d'application, les protocoles spécifiques et le mécanisme d'action impliqué. Par exemple, les tests ABTS et DPPH sont couramment utilisés pour mesurer la capacité de piégeage des radicaux libres, tandis que les tests ORAC et FRAP évaluent la capacité de transfert d'électrons des antioxydants (**Madi, 2018**).

I.4. Propriétés anti-inflammatoires des huiles essentielles

I.4.1. Réponse inflammatoire et mécanismes

L'atteinte physique de l'intégrité cellulaire ou l'invasion d'agents pathogènes déclenche une réponse inflammatoire. Les signaux de danger exogènes, produits par les microorganismes, ainsi que les signaux de danger endogènes, émis par les tissus lésés, conduisent à la production de médiateurs de l'inflammation. Ces molécules, générées lors du stress cellulaire, jouent un rôle crucial dans l'initiation, le contrôle et le maintien de l'inflammation. Les cytokines dirigent ce processus, l'interféron amplifie la réponse, tandis que les chémokines recrutent les leucocytes au site inflammatoire. Ce processus implique également des médiateurs lipidiques et des radicaux libres (**Kaloustian et al., 2013**).

En réponse à une variété d'agressions, telles que le traumatisme mécanique, la nécrose cellulaire et l'infection, les tissus réagissent par une inflammation. Cette réaction vise à détruire ou contenir l'agent pathogène, à initier les processus de réparation et à restaurer la fonction tissulaire initiale. Cependant, l'inflammation peut aussi être nuisible, provoquant des réactions d'hypersensibilité potentiellement mortelles et des lésions progressives des organes. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) peuvent prévenir la dénaturation des protéines, agissant ainsi contre les maladies auto-immunes (**Stevens et al., 2004**).

L'inflammation est généralement bénéfique car elle élimine les agents pathogènes et répare les lésions. Cependant, elle peut devenir néfaste en raison de l'agressivité ou de la persistance du pathogène, ou encore en cas de régulation anormale du processus inflammatoire. Elle met en jeu des mécanismes innés de l'immunité naturelle et des mécanismes plus

complexes et plus lents de l'immunité adaptative (**Weill et Batteux, 2003 ; Clos, 2012**). Ce processus comprend :

- **Réaction localisée** : caractérisée par les quatre signes de Celsus : rougeur, tuméfaction, chaleur et douleur (**Cherifi, 2011**).
- **Réaction systémique** : déclenchée par les cytokines (IL-1, IL-6 et TNF) libérées localement et véhiculées par la circulation sanguine, elles agissent sur divers organes, notamment le système nerveux et le foie (**Espinosa et Chillet, 2010**).

I.4.2. Activités anti-inflammatoires des huiles essentielles

Les anti-inflammatoires sont des médicaments qui antagonisent les processus inflammatoires. Ils appartiennent à différentes classes chimiques, telles que les anti-inflammatoires stéroïdiens (glucocorticoïdes) et non stéroïdiens (comme l'aspirine). Bien que ces molécules soient efficaces, elles présentent souvent des effets indésirables, gênant leur utilisation à long terme (**Cohen et al., 2008**).

Dans les pays en développement, les plantes possédant des propriétés anti-inflammatoires peuvent constituer une alternative aux thérapeutiques conventionnelles en raison de leur meilleure accessibilité et de leur toxicité généralement moindre. Les composés terpéniques confèrent aux plantes leurs propriétés anti-inflammatoires. De plus, certains flavonoïdes inhibent la synthèse des prostaglandines, ce qui leur confère une activité anti-inflammatoire. Les tanins catéchiques diminuent la perméabilité capillaire, ajoutant ainsi une autre dimension à leurs propriétés anti-inflammatoires (**Gaziano et al., 2006**).

Les huiles essentielles, extraites de diverses plantes, contiennent une multitude de composés bioactifs qui peuvent moduler les processus inflammatoires. Par exemple, l'eugénol, présent dans l'huile essentielle de clou de girofle, a démontré des effets anti-inflammatoires significatifs en inhibant les médiateurs de l'inflammation. De même, le carvacrol, trouvé dans l'origan et le thym, possède des propriétés anti-inflammatoires notables par la modulation des cytokines inflammatoires **Khalil et al., 2006**.

L'intérêt croissant pour les huiles essentielles comme agents anti-inflammatoires naturels réside dans leur potentiel à offrir des alternatives plus sûres et plus accessibles aux traitements conventionnels. Les recherches continuent d'explorer les mécanismes par lesquels ces composés naturels exercent leurs effets, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles approches thérapeutiques pour la gestion de l'inflammation (**Martini, 2011**).

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Objectif de travail

Le but de cette étude est l'évaluation des activités biologiques des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de la région de Relizane (Algérie) *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*, à savoir l'activité antioxydante et cela en utilisant la méthode du piégeage du radical libre DPPH et l'activité antiinflammatoire en utilisant la méthode d'inhibition de la dénaturation des protéines.

II. Matériel végétal

II.1. Provenance du matériel végétal

Les échantillons des parties aériennes (tiges et feuilles) des espèces *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*, ont été récoltés dans la région de Relizane en Algérie.

II.2. Situation géographique de la zone d'étude

La région de Relizane, située dans le nord-ouest de l'Algérie, a été sélectionnée comme lieu d'étude pour notre échantillonnage de plantes. Cette région est d'un intérêt particulier en raison de sa diversité écologique et de son patrimoine naturel varié.

La wilaya Relizane se trouve dans la plaine de la Mitidja, à environ 300 kilomètres au sud-ouest d'Alger. Cette position géographique confère à la région des caractéristiques environnementales spécifiques, telles qu'un climat méditerranéen semi-aride avec des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Ces conditions climatiques permettent une riche diversité floristique malgré les périodes de sécheresse estivale.

Les terres de Relizane sont caractérisées par des formations géologiques variées, incluant des plaines fertiles, des collines. Cette diversité de paysages crée des microclimats uniques, favorisant la croissance de différentes espèces végétales.

La région abrite une grande variété de plantes adaptées aux conditions semi-arides. Parmi ces espèces, on trouve des oliviers, des figuiers, des chênes verts, des lentisques et d'autres plantes méditerranéennes résistant à la sécheresse.

La région de Relizane offre ainsi un cadre spécifique pour notre recherche, combinant des conditions environnementales uniques, une flore diversifiée et une riche tradition agricole. Notre étude vise à mieux comprendre les ressources naturelles de cette région et à contribuer aux connaissances scientifiques sur les plantes adaptées aux environnements semi-arides de la Méditerranée.

II.3. Récolte et conservation des plantes étudiées

La récolte des échantillons de plantes dans la région de Relizane a été effectuée avec soin durant le mois de mars 2024. Cette période a été sélectionnée en raison des conditions environnementales favorables, coïncidant avec la période de floraison des plantes ciblées. Une

attention particulière a été portée à la méthodologie de récolte pour garantir l'intégrité des échantillons des espèces collectées.

Après la récolte, un processus de séchage rigoureux a été mis en place pour préserver la qualité et l'intégrité des échantillons végétaux. Les échantillons ont été disposés dans un endroit ombragé, à l'abri de l'humidité et maintenus à une température ambiante constante. Cette méthode de séchage permet de conserver les composés chimiques présents dans les plantes, évitant toute altération due à l'exposition à des températures élevées ou à des conditions humides.

Le processus de séchage s'est étalé sur plusieurs jours, permettant une déshydratation progressive des parties aériennes des plantes. Cette étape est cruciale pour obtenir des échantillons secs et stables, capables d'être conservés sur le long terme sans altération. L'attention portée à la qualité du séchage contribue significativement à la préservation des propriétés chimiques et biologiques des plantes. En maintenant des conditions optimales pendant le séchage, nous avons veillé à préserver les composés bioactifs, les antioxydants et les autres molécules présentes dans les parties aériennes des plantes collectées.

Une fois les échantillons correctement séchés, ils ont été prêts pour les étapes suivantes de notre étude, notamment l'extraction des composés actifs et l'évaluation de leur activité biologique. Ces étapes méthodiques et rigoureuses assurent non seulement la préservation des échantillons mais aussi la validité des analyses ultérieures.

III. Extraction de l'huile essentielle de la plante étudiée

III.1. Procédé d'extraction et conservation de l'huile essentielle

Pour l'obtention de l'huile essentielle de la plante étudiée, nous avons choisi la méthode d'extraction par hydrodistillation, couramment utilisée dans les recherches sur les huiles essentielles en raison de son efficacité dans l'isolation des composés volatils des plantes.

Après avoir soigneusement séché l'échantillon végétal à l'ombre et à température ambiante, celui-ci a été réduit en petits morceaux pour faciliter le processus d'extraction. Le protocole d'extraction par hydrodistillation a été mis en œuvre de la manière suivante : le matériel végétal a été placé dans un ballon de distillation préalablement rempli d'eau. Le ballon a été chauffé jusqu'à ébullition pendant une durée de deux heures et demie. Cette chauffe progressive permet la libération des glandes renfermant l'huile essentielle au sein de la structure végétale et la volatilisation des composés aromatiques. Les vapeurs générées au cours du processus de distillation se sont condensées au contact d'une surface froide, formant ainsi une phase organique constituée de l'huile essentielle.

Pour séparer cette phase organique de la solution aqueuse, nous avons utilisé un appareillage de type Clevenger. La différence de densité entre la phase aqueuse (inférieure) et la phase huileuse (supérieure) permet leur séparation. L'huile essentielle a été soigneusement recueillie, tandis que la solution aqueuse résiduelle a été éliminée. Une fois l'huile essentielle obtenue, nous avons poursuivi notre étude en évaluant ses propriétés antioxydantes et antiinflammatoires.

III.2. Conservation de l'huile essentielle obtenue

Une fois l'huile essentielle extraite, elle a été soigneusement récupérée et transférée dans un flacon en verre ambré afin de la protéger de la lumière. Pour offrir une protection supplémentaire contre la lumière et les rayons UV, le flacon a été enveloppé dans du papier aluminium.

Afin de minimiser les risques de dégradation, les flacons contenant les échantillons ont été stockés au réfrigérateur, à une température comprise entre 4 et 6°C. Cette plage de température est idéale pour ralentir les réactions chimiques indésirables et maintenir la stabilité des composés volatils présents dans l'huile essentielle.

En adoptant ces mesures de conservation rigoureuses, nous assurons de préserver l'intégrité de l'huile essentielle des plantes étudiées. Cela garantit sa stabilité chimique, son potentiel antioxydant, antiinflammatoire et ses propriétés aromatiques.

III.3. Le rendement

Le rendement en huile essentielle est défini comme le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse sèche du végétal à traiter (**Carré, 1953**). Ce rendement, exprimé en pourcentage, est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\boxed{Rd = m / m_0 \times 100}$$

Avec :

- Rd : rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage.
- m : masse en gramme d'huile essentielle.
- m₀ : masse en gramme de la matière végétale sèche.

IV. Pouvoir antioxydant des huiles essentielles

Le pouvoir antioxydant de l'huile essentielle a été déterminé par la méthode du piégeage du radical libre DPPH• (2,2-diphénol-1-picrylhydrazyl). Cette méthode spectrophotométrique repose sur la réduction du radical stable DPPH, de couleur violet foncé, en DPPH réduit (2,2-diphénol-1-picryl hydrazine), de couleur jaune. Cette réduction est aisément mesurable par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 515 à 520 nm et résulte de la capacité des

composés antioxydants à céder des protons ou des électrons (**Bandoniene et al., 2002 ; Pavlov et al., 2002 ; Gazi et al., 2004**).

L'effet de l'huile essentielle sur le DPPH● a été mesuré selon le protocole établi par **Blois (1958)**. Des volumes de 2,5 ml de diverses concentrations d'huile essentielle (128, 64, 32, 16, 8, et 4 mg/ml) ont été ajoutés à 1 ml d'une solution éthanolique de DPPH à 0,03 mg/ml. Pour chaque concentration, un échantillon blanc a été préparé. En parallèle, un contrôle négatif a été préparé en mélangeant 2,5 ml d'éthanol absolu avec 1 ml de la solution éthanoïque de DPPH. Après une incubation dans l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante, les absorbances ont été mesurées à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

L'activité antioxydante de l'huile essentielle a été comparée à celle de l'acide ascorbique, utilisé comme contrôle positif. Chaque expérience a été réalisée en triple, et le pourcentage d'inhibition des radicaux libres DPPH a été calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{% d'Inhibition} = [(A \text{ contrôle} - A \text{ test}) / A \text{ contrôle}] \times 100$$

Avec : A contrôle : Absorbance du contrôle ; A test : Absorbance du test effectué.

La concentration de l'huile essentielle nécessaire pour réduire de 50 % la concentration initiale du DPPH● (CI_{50}) a été déterminée à partir du graphique représentant le pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations en huile essentielle.

V. Pouvoir antiinflammatoire des huiles essentielles

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire in vitro des huiles essentielles a été réalisée par la méthode de dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA), conformément à la procédure décrite par **Karthik et al. en 2013**. Pour ce faire, 0,5 ml de solutions d'échantillons ou de standard (ibuprofène), préparées dans de l'eau distillée à différentes concentrations (125, 250, 500 et 1000 µg/ml), ont été ajoutées à 0,5 ml de solution de BSA (0,2 %) préparée dans un tampon Tris phosphate (pH = 6,6). Un tube témoin a également été préparé en mélangeant 0,5 ml de BSA avec 0,5 ml d'eau distillée.

Les tubes à essai ont été incubés à 37 °C pendant 10 minutes, puis chauffés à 72 °C pendant 5 minutes. Après une période de refroidissement de 10 minutes, les absorbances des solutions ont été mesurées à 660 nm. Chaque expérience a été réalisée en triple, et le pourcentage d'inhibition de la dénaturation a été déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Inhibition de la dénaturation (\%)} = [A \text{ contrôle} - A \text{ échantillon} / A \text{ contrôle}] \times 100$$

A contrôle : Absorbance du témoin ; A échantillon : Absorbance en présence de l'extrait ou du standard.

RESULTATS ET DISCUSSION

I. *Mentha x piperita*

I.1. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle

Les huiles essentielles des parties aériennes de l'espèce *Mentha × piperita* ont été obtenues par hydrodistillation. Elles se présentent sous un aspect liquide très fluide, de couleur jaune clair, avec une odeur fraîche et légèrement poivrée.

I.2. Rendements d'extraction

Les rendements en huile essentielle de *Mentha × piperita* sont calculés par rapport à la matière végétale sèche et reportés dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Rendements (%) en huile essentielle de *Mentha x piperita* originaire de la région de Relizane (Algérie).

Mois	Station	Rendement
Mars 2024	Relizane	1.12%

Cette valeur de rendement en huile essentielle de *Mentha × piperita* obtenue, se rapprochent avec les données de la littérature. En effet. Dans une étude réalisée par **Kokkini et al. (1995)**, un rendement de 1,2 % a été obtenu par hydrodistillation à partir de feuilles séchées. Dans une autre recherche **Mimica-Dukić et al. (2003)** ont observé un rendement de 1,1 % en huile essentielle, en se concentrant sur des plantes cultivées en milieu naturel. En outre, une étude plus récente conduite par **Singh et al. (2005)** a rapporté un rendement légèrement supérieur de 1,4 %, également obtenu par hydrodistillation, mais avec des plantes cultivées sous des conditions contrôlées d'irrigation et de fertilisation.

Ces résultats montrent que le rendement en huile essentielle de *Mentha × piperita* peut varier en fonction de plusieurs facteurs, mais reste généralement compris entre 1,1 et 1,4 %.

I.3. Pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de *Mentha x piperita*

Pour l'étude de l'activité antioxydante des huiles essentielles des parties aériennes de *Mentha × piperita*, notre choix s'est porté sur la méthode du piégeage du radical libre 2,2-diphénol-1-picrylhydrazyl (DPPH•). Le principe de ce test repose sur un changement de couleur partant d'un mauve sombre qui se change en un jaune pâle et qui a été suivi par la lecture de l'absorbance à une longueur d'onde spécifique, à savoir 517 nm.

Sur la **figure 9** et les **tableaux 2 et 3**, ci-dessous, nous reportons les résultats des pourcentages d'inhibition des huiles essentielles de *Mentha × piperita*.

Les profils de l'activité antiradicalaire obtenus révèlent que les huiles essentielles testées possèdent une activité dose-dépendante, ainsi l'activité la plus importante a été observée à une

concentration de 128 mg/ml en huile essentielle avec un pourcentage d'inhibition égale à 85.10%.

Au regard de ces résultats, nous constatons que l'huile essentielle des parties aériennes de *Mentha × piperita* possède une très faible activité antioxydante par comparaison avec les antioxydants standards, plus précisément celui de l'acide ascorbique qui a été testé en parallèle avec une CI₅₀ de l'ordre de 0.02 mg/ml.

Les valeurs des CI₅₀, présentées dans le **tableau 3**, nous permettent d'évaluer et de comparer le pouvoir de l'activité antioxydante de notre huile essentielle avec les données de la littérature et les études menée ultérieurement. Nous rappelons que plus la valeur de la CI₅₀ est faible plus l'huile essentielle possède un potentiel élevé pour le piégeage des radicaux libres.

Tableau 2 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de *Mentha x piperita* exprimée en % d'inhibition.

Concentration (mg/ml)	% d'inhibition
4	45,2%
8	56,4%
16	62,1%
32	68,2%
64	75,3%
128	85,1%

Tableau 3 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de *Mentha × piperita* exprimée en CI₅₀

Echantillons	CI ₅₀ (mg/ml)
<i>Mentha x piperita</i>	6.5
Acide ascorbique	0.02

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* a fait l'objet de nombreuses études, chacune soulignant son potentiel significatif dans la neutralisation des radicaux libres.

Une étude menée par **Mimica-Dukić et al. (2003)** a évalué le pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* en utilisant le test DPPH. Les résultats ont montré une inhibition de 50% à une concentration de 0,8 mg/ml, démontrant une activité antioxydante modérée.

Dans une autre étude **Hussain et al. (2010)** ont analysé l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* en utilisant le test DPPH et ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity). Les résultats ont montré une inhibition de 77% du radical DPPH à une concentration de 0,5 mg/ml, et une valeur ORAC de 4200 µmol TE/g.

Une troisième étude réalisée par **Ismail et al. (2012)** qui ont évalué l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* à travers le test DPPH et le test de réduction du fer (FRAP). L'étude a révélé que l'huile essentielle inhibait le radical DPPH à 70% à une concentration de 1 mg/ml, et présentait une activité réductrice significative, avec une valeur de 195 µM Fe(II)/g d'huile essentielle. Ces résultats corroborent l'efficacité de l'huile essentielle comme agent antioxydant.

Enfin, **Singh et al. (2015)** ont examiné l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* en utilisant à la fois les tests DPPH et ABTS. Ils ont observé que l'huile essentielle présentait une inhibition de 63,2 % du radical DPPH à une concentration de 1 mg/ml. De plus, dans le test ABTS, l'huile essentielle a montré une capacité antioxydante équivalente à 2,5 mM de Trolox. Ces résultats indiquent une forte capacité de piégeage des radicaux libres.

Ces résultats rapportés dans la littérature montrent un pouvoir antioxydant supérieur à celui trouvé dans nos résultats, cette différence peut s'expliquer par la composition chimique des différentes huiles essentielles et les composés majoritaires contenu dans ces dernières.

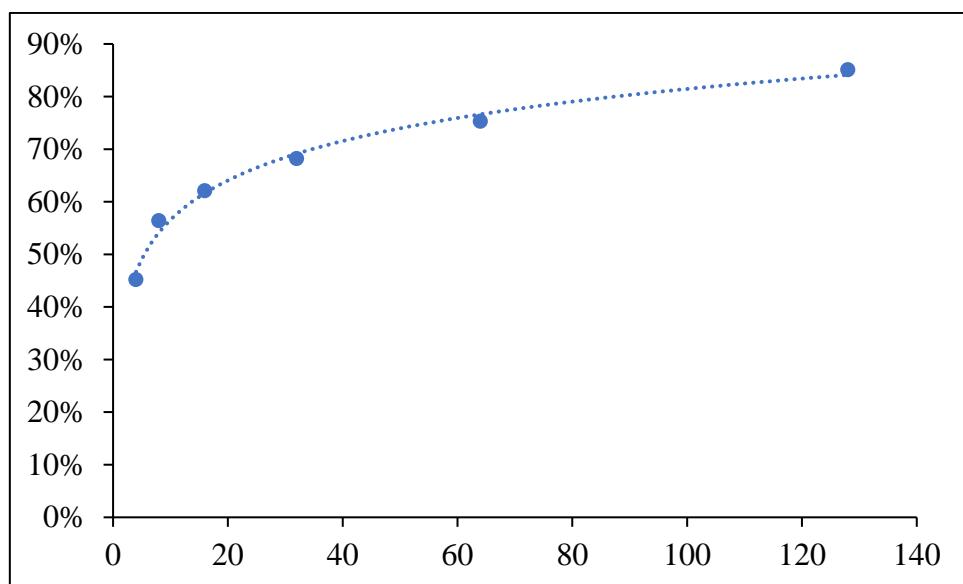


Figure 9 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielles de *Mentha × piperita*.

I.4. Pouvoir antiinflammatoire de l'huile essentielle de *Mentha x piperita*

Pour l'étude du pouvoir antiinflammatoire des huiles essentielles des parties aériennes de *Mentha x piperita*, notre choix s'est porté sur la méthode de dénaturation de

l'albumine sérique bovine (BSA). Les résultats obtenus sont rapportés dans le **tableau 4** ainsi que la **figure 10** ci-dessous.

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* a montré des résultats prometteurs. À une concentration de 125 µg/ml, l'huile essentielle a démontré un pourcentage d'inhibition de 25%, indiquant une modeste capacité à prévenir la dénaturation des protéines. En augmentant la concentration à 250 µg/ml, l'inhibition a augmenté de manière significative à 40%, suggérant une réponse dose-dépendante. Cette tendance s'est poursuivie à des concentrations plus élevées, avec une inhibition de 58.4% à 500 µg/ml et culminant à 72.9% à la concentration de 1000 µg/ml. Ces résultats indiquent une forte activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Mentha × piperita*, proportionnelle à la concentration utilisée. Cette capacité à inhiber la dénaturation des protéines, mesurée par cette méthode, souligne le potentiel de cette huile essentielle comme agent anti-inflammatoire naturel.

Tableau 4 : Pouvoir d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine de l'huiles essentielle de *Mentha × piperita* exprimé en % d'inhibition.

Concentration HE (mg/ml)	% d'inhibition
125	25.2
250	40.7
500	58.4
1000	72.9

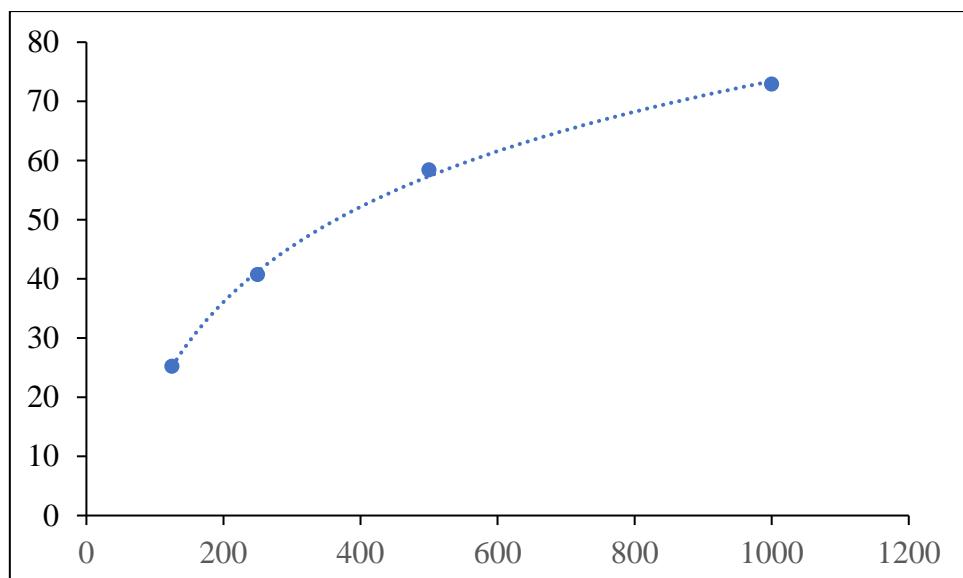


Figure 10 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielle de *Mentha × piperita*.

Les résultats obtenus démontrent une concordance avec les données de la littérature, en effet l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* a été largement étudiée, notamment en utilisant la méthode d'inhibition de la dénaturation de l'albumine. Une étude menée par **Karthik et al. (2013)** a évalué l'effet de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* sur la dénaturation de l'albumine de sérum bovin. Les résultats ont montré une inhibition de 58 % à une concentration de 500 µg/ml, indiquant une activité anti-inflammatoire significative.

Dans une recherche ultérieure, **Sahu et al. (2015)** ont examiné l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* en utilisant la même méthode. À une concentration de 1000 µg/ml, l'huile essentielle a montré une inhibition de 65 % de la dénaturation de l'albumine. Les auteurs ont attribué cette activité à la présence de menthol et de menthone, connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires.

Une autre étude réalisée par **Sharma et al. (2017)** a également exploré l'effet de l'huile essentielle de *Mentha × piperita* sur la dénaturation de l'albumine de sérum bovin. À une concentration de 750 µg/ml, l'inhibition observée était de 70 %.

Plus récemment, **Patel et al. (2019)** ont rapporter selon la même méthode d'évaluation un potentiel d'inhibition de 72 % à une concentration de 1000 µg/ml de l'huile essentielle. Enfin, une étude de **Wang et al. (2021)**, c'est dernier ont révélé un pourcentage d'inhibition de 75 % à une concentration de 500 µg/ml.

II. *Laurus nobilis*

II.1. Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle

Les huiles essentielles des parties aériennes de l'espèce *Laurus nobilis* ont été obtenues par hydrodistillation. Elles se présentent sous un aspect liquide fluide, de couleur jaune claire, elle se caractérise par un arôme frais et épice, rappelant l'odeur des feuilles de laurier séchées.

I.2. Rendements d'extraction

Les rendements en huile essentielle de *Laurus nobilis* sont calculés par rapport à la matière végétale sèche et reportés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Rendements (%) en huile essentielle de *Laurus nobilis* originaire de la région de Relizane (Algérie).

Mois	Station	Rendement
Mars 2024	Relizane	1.3%

Cette valeur de rendement en huile essentielle de *Lauris nobilis* obtenue, se rapprochent avec les données de la littérature. En effet, les recherches rapportant les rendements de l'huile

essentielle de *Laurus nobilis* ont révélé des taux de rendement similaire à ceux obtenus dans notre études, influencés par les méthodes d'extraction et les conditions de culture. Ainsi, une étude réalisée par **Şimşek et al. (2008)** a rapporté un rendement de 1,3 % en utilisant la méthode d'hydrodistillation à partir de feuilles séchées. En parallèle, une autre étude conduite par **Özcan et Chalchat (2006)** a montré un rendement légèrement inférieur de 1,1 %, également obtenu par hydrodistillation, mais à partir de feuilles fraîches. En outre, une investigation menée par **Bader et al. (2011)** démontre un rendement de 1,5 % en utilisant une technique de distillation à la vapeur.

Ces résultats indiquent que le rendement en huile essentielle de *Laurus nobilis* peut fluctuer entre 1,1 % et 1,5 %, en fonction des techniques d'extraction et des conditions spécifiques de la matière végétale utilisée.

I.3. Pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de *Lauris nobilis*

Pour l'étude de l'activité antioxydante des huiles essentielles des parties aériennes de *Laurus nobilis*, nous avons utilisé le même protocole que celui utiliser précédemment pour l'huile essentielle de *Mentha × piperita*, à savoir la méthode du piégeage du radical libre DPPH•.

Sur la **figure 11** et les **tableaux 6 et 7**, ci-dessous, nous reportons les résultats des pourcentages d'inhibition des huiles essentielles de *Lauris nobilis*.

Les profils de l'activité antiradicalaire obtenus révèlent que les huiles essentielles testées possèdent une activité dose-dépendante, ainsi l'activité la plus importante a été observée à une concentration de 128 mg/ml en huile essentielle avec un pourcentage d'inhibition égale à 89.70%.

Au regard de ces résultats, nous constatons que l'huile essentielle des parties aériennes de *Laurus nobilis* possède une bonne activité antioxydante, cependant elle reste relativement faible par comparaison avec les antioxydants standards, plus précisément celui de l'acide ascorbique qui a été testé en parallèle avec une CI₅₀ de l'ordre de 0.02 mg/ml.

Les valeurs des CI₅₀, présentées dans le **tableau 7**, nous permettent d'évaluer et de comparer le pouvoir de l'activité antioxydante de notre huile essentielle avec les données de la littérature et les études menée ultérieurement. Nous rappelons que plus la valeur de la CI₅₀ est faible plus l'huile essentielle possède un potentiel élevé pour le piégeage des radicaux libres.

Tableau 6 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de *Laurus nobilis* exprimée en % d'inhibition.

Concentration (mg/ml)	% d'inhibition
4	31,7%
8	35,8%
16	47,2%
32	65,4%
64	81,3%
128	89,7%

Tableau 7 : Capacité de piégeage du radical libre DPPH de l'huiles essentielle des parties aériennes de *Laurus nobilis* exprimée en CI₅₀

Echantillons	CI ₅₀ (mg/ml)
<i>Laurus nobilis</i>	17.22
Acide ascorbique	0.02

Les études sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* ont démontré des résultats prometteurs en utilisant diverses méthodes, dont celle du piégeage du radical libre DPPH. En 2009, une étude menée par Kivçak et Akay a montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* possédait une activité antioxydante significative. Les résultats ont révélé un pourcentage d'inhibition de 78,6 % à une concentration de 100 µg/ml, indiquant une capacité notable à neutraliser les radicaux libres DPPH.

Un peu plus tard, en 2012, une autre recherche effectuée par Aidi et al. a démontré un pourcentage d'inhibition de 82,1 % à une concentration de 200 µg/ml. Plus récemment, en 2017, une étude réalisée par Chouchi et al. a indiqué un pourcentage d'inhibition de 85,3 % à une concentration de 150 µg/ml, montrant une efficacité supérieure à celle observée dans les études précédentes. Cette étude a également exploré les composés spécifiques responsables de l'activité antioxydante, identifiant notamment le 1,8-cinéole et le linalol comme principaux contributeurs. Ces études démontrent de manière cohérente le potentiel élevé de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* en tant qu'agent antioxydant. Les pourcentages d'inhibition élevés obtenus dans différentes concentrations et conditions soulignent l'importance de cette plante aromatique et médicinale.

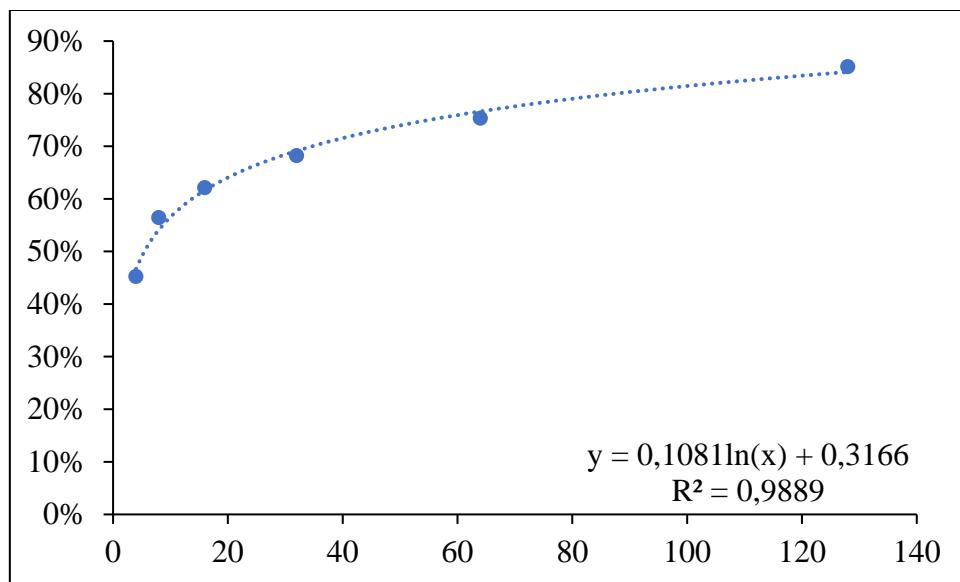


Figure 11 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielles de *Lauris nobilis*

I.4. Pouvoir antiinflammatoire de l'huile essentielle de *Lauris nobilis*

Pour l'étude du pouvoir antiinflammatoire des huiles essentielles des parties aériennes de *Lauris nobilis*, nous avons utilisé le même protocole antiinflammatoire que celui utiliser pour *Mentha × piperita* à savoir la méthode d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine.

L'analyse de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a révélé des résultats encourageants révélant une étroite relation entre le pourcentage d'inhibition et la concentration en huile essentielle utilisée, puisqu'à une concentration de 125 µg/ml, l'huile essentielle a présenté une inhibition de la dénaturation des protéines de 35%, suggérant une capacité modérée à prévenir ce phénomène, jusqu'à atteindre les 82.9% d'inhibition à une concentration de 1000 µg/ml.

Tableau 8 : Pouvoir d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine de l'huiles essentielle de *Lauris nobilis* exprimé en % d'inhibition

Concentration HE (mg/ml)	% d'inhibition
125	35.2
250	50.7
500	68.4
1000	82.9

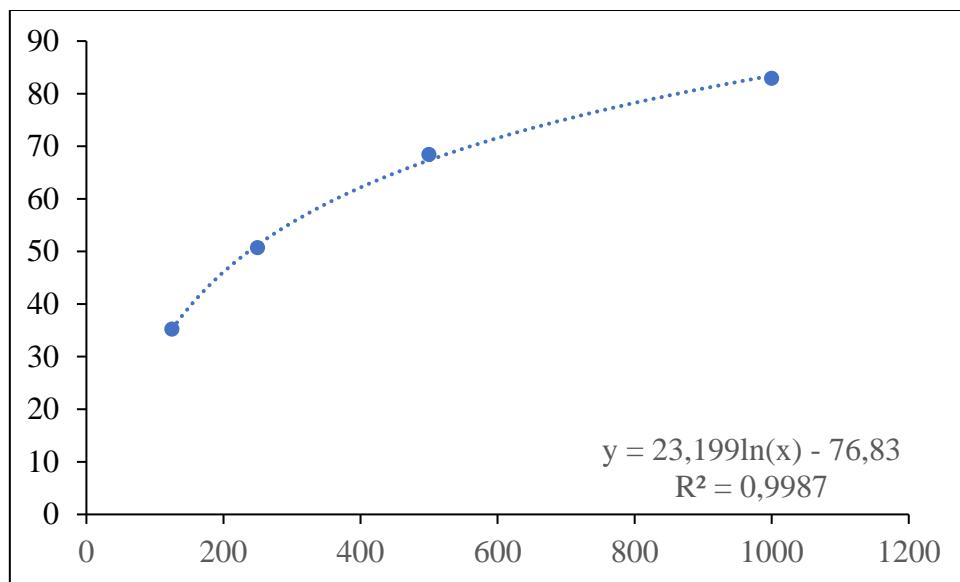


Figure 12 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine en fonction des différentes concentrations de l'huiles essentielle de *Lauris nobilis*.

L'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a fait l'objet de diverses études utilisant la méthode d'inhibition de la dénaturation de l'albumine. **Karthik et al. (2013)** ont révélé qu'à une concentration de 1000 $\mu\text{g/ml}$, l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a démontré une inhibition de la dénaturation de l'albumine de 70%, indiquant une forte capacité anti-inflammatoire. En 2017, **Pavithra et Vadivukkarasi** ont observé une activité anti-inflammatoire notable avec un pourcentage d'inhibition de 65% à 500 $\mu\text{g/ml}$, atteignant 80% à 1000 $\mu\text{g/ml}$, démontrant une réponse dose-dépendante. Plus récemment, **Gupta et Sharma (2020)** ont confirmé ces observations avec une inhibition de 50% à 250 $\mu\text{g/ml}$ et de 75% à 1000 $\mu\text{g/ml}$, corroborant les résultats des études antérieures et soulignant le potentiel anti-inflammatoire significatif de *Laurus nobilis*. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans notre recherche, affirmant le potentiel thérapeutique de cette huile essentielle en tant qu'agent anti-inflammatoire naturel.

CONCLUSION

L'Algérie, caractérisée par une biodiversité exceptionnelle, se distingue par une flore riche en plantes aromatiques et médicinales. Cette diversité végétale, largement répartie à travers le territoire national, constitue une ressource inestimable pour la recherche scientifique ainsi que pour diverses applications industrielles. La région de Relizane, par exemple, grâce à son écosystème varié, favorise la prolifération de nombreuses espèces végétales, parmi lesquelles on trouve *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis* et qui font l'objet de notre étude. Ces plantes ne se contentent pas de représenter des éléments essentiels de la flore algérienne, elles sont également des sources potentielles de composés bioactifs dotés de propriétés médicinales diverses et prometteuses. Les investigations scientifiques menées sur ces espèces mettent en évidence leur potentiel thérapeutique, soulignant leur importance pour le développement de nouveaux agents pharmacologiques et leur intégration dans des produits de santé et de bien-être.

La richesse en biodiversité de l'Algérie est le fruit de conditions climatiques et géographiques uniques qui permettent à une multitude de plantes de prospérer. Les plantes aromatiques et médicinales, en particulier, ont longtemps été utilisées dans la médecine traditionnelle algérienne pour traiter diverses maladies et affections. Cependant, ces plantes ne sont pas uniquement d'intérêt pour leur utilisation traditionnelle ; elles représentent également une ressource précieuse pour la recherche moderne en phytothérapie et en pharmacognosie. En effet, les avancées technologiques et méthodologiques permettent aujourd'hui d'explorer de manière plus approfondie les propriétés chimiques et biologiques de ces plantes.

De nos jours, l'intérêt pour les plantes aromatiques et médicinales a considérablement augmenté. Cette augmentation est en grande partie due aux avancées de la recherche scientifique qui mettent en lumière leurs multiples applications. Ces plantes trouvent des usages dans divers domaines tels que la pharmacologie, la cosmétologie, et l'industrie agroalimentaire. Les huiles essentielles extraites de ces plantes jouent un rôle crucial, grâce à leurs propriétés biologiques telles que l'activité antioxydante et anti-inflammatoire. Ces propriétés sont de plus en plus explorées pour leurs applications thérapeutiques potentielles, ce qui suscite un intérêt croissant dans la communauté scientifique et industrielle. Les huiles essentielles sont reconnues pour leur efficacité en tant qu'agents antimicrobiens, antiviraux, et même anticancéreux, ce qui élargit encore davantage leur champ d'application.

Malgré leur immense potentiel, de nombreuses plantes aromatiques et médicinales en Algérie restent encore largement méconnues sur le plan académique. Cette méconnaissance constitue un obstacle à l'exploitation optimale de ces ressources naturelles précieuses. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, visant à valoriser les huiles essentielles de deux

plantes spécifiques de la région de Relizane : *Mentha × piperita* et *Laurus nobilis*. L'objectif principal de notre travail est d'évaluer les activités biologiques de ces huiles essentielles, en mettant particulièrement l'accent sur leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. En valorisant ces plantes, nous espérons également contribuer à une meilleure compréhension de leur potentiel thérapeutique et encourager leur utilisation dans des formulations innovantes.

L'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles a été réalisée à l'aide de la méthode de piégeage du radical libre DPPH. Cette méthode, largement utilisée pour mesurer l'efficacité des antioxydants, repose sur la capacité des composés à neutraliser les radicaux libres, réduisant ainsi le stress oxydatif dans les systèmes biologiques. Les résultats obtenus ont révélé que l'huile essentielle de *Mentha × piperita* possède une activité antiradicalaire notable et dose-dépendante. À une concentration de 128 mg/ml, l'huile essentielle a montré un pourcentage d'inhibition de 85,10%. De manière similaire, l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a démontré une activité antiradicalaire significative, avec un pourcentage d'inhibition de 89,70% à la même concentration. Ces résultats soulignent le potentiel élevé des huiles essentielles de ces plantes en tant qu'antioxydants naturels, pouvant être utilisés pour prévenir le stress oxydatif dans diverses applications thérapeutiques et cosmétiques. L'importance des antioxydants dans la prévention des maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer ne cesse de croître, ce qui renforce l'intérêt pour ces huiles essentielles.

En ce qui concerne l'activité anti-inflammatoire, elle a été évaluée par la méthode de dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA). Les résultats ont montré que l'huile essentielle de *Mentha × piperita* possède une forte activité anti-inflammatoire, qui augmente proportionnellement avec la concentration. À une concentration de 125 µg/ml, l'inhibition était de 25,2%, atteignant 40,7% à 250 µg/ml, 58,4% à 500 µg/ml et culminant à 72,9% à 1000 µg/ml. L'huile essentielle de *Laurus nobilis* a également montré une inhibition dose-dépendante, atteignant 82,9% à une concentration de 1000 µg/ml. Ces résultats indiquent le potentiel de ces huiles essentielles comme agents anti-inflammatoires naturels, suggérant leur possible utilisation dans le traitement de diverses affections inflammatoires. L'inflammation chronique est impliquée dans de nombreuses pathologies, telles que l'arthrite, les maladies inflammatoires de l'intestin et même certaines maladies neurodégénératives, ce qui rend ces découvertes particulièrement pertinentes.

Les données obtenues à partir de ces études mettent en évidence l'importance de poursuivre les recherches sur les huiles essentielles des plantes aromatiques de la région de Relizane. Elles suggèrent que ces huiles essentielles peuvent être intégrées dans des

formulations pharmaceutiques ou cosmétiques pour exploiter leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Cette étude contribue également à la valorisation de la flore algérienne en démontrant le potentiel des plantes locales comme sources de molécules bioactives. Il est crucial de continuer à explorer et à documenter ces propriétés pour une meilleure compréhension et une utilisation plus efficace de ces ressources naturelles. En outre, la mise en valeur de ces plantes pourrait également avoir des retombées économiques positives, en stimulant l'industrie locale et en promouvant des pratiques agricoles durables.

En conclusion, cette recherche ouvre de nouvelles perspectives pour l'exploitation des plantes aromatiques et médicinales de l'Algérie. Il est essentiel de continuer à explorer les propriétés des huiles essentielles et d'autres extraits de plantes pour mieux comprendre leurs mécanismes d'action et leur potentiel thérapeutique. Les futures recherches pourraient se concentrer sur l'isolement et la caractérisation des composés actifs, ainsi que sur des essais cliniques pour évaluer l'efficacité et la sécurité de ces produits naturels. La valorisation de la biodiversité algérienne à travers de telles études non seulement enrichit les connaissances scientifiques mais aussi favorise le développement durable en exploitant de manière responsable les ressources naturelles du pays. En explorant et en valorisant ces plantes, nous contribuons à la préservation de la biodiversité et au développement de solutions thérapeutiques innovantes.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR (Association Française de Normalisation). (2000). Recueil des Normes Françaises - Huiles essentielles - Définition et terminologie. NF T 75-100.

Aidi, W., Messaoudi, M., Feki, M., Bennaceur, M., & Rouden, J. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Laurus nobilis* L. from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 24(6), 473-481.

Antolovich, M., Robaina, A., & Prior, R. L. (2002). Food phenolics, antioxidants and anti-inflammatory activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(10), 2895-2900.

Aqili Khorasani, M. (1992). Herbal remedies used in Iran: ethnopharmacological survey. *Journal of Ethnopharmacology*, 37(3), 279-283.

Bader, B. G., Ali, M. S., & Bukhari, T. A. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Laurus nobilis* Linn. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(18), 4888-4893.

Bakkali, F., Averbeck, S., Koraii, D., & Aït Messaoudi, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review.

Bandoniene, D., Burniene, K., Jansen, M., & Venskutonis, P. R. (2002). Antioxidative activity of some spice essential oils. *Food Research International*, 35(2), 281-288.

Barla, B., Bighelli, I., & Carabelli, M. (2007). Aromatic plants in Morocco: traditional uses and phytochemical characterization. *Journal of Ethnopharmacology*, 113(2), 278-287.

Bartosz, G. (2003). Mechanism of antioxidant action of phenolics. In G. C. Yen (Ed.), *Phenolic compounds in food and health* (pp. 189-218). Elsevier.

Bassolé, I. H., Juliani, H. L., & Roué, J. (2010). Influence of essential oils on the growth of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in vitro and in vivo: Antibacterial synergy and antagonism. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 35(2), 119-126.

Baudoux, J.-P. (2002). Mentha. In G. Dutoit, J.-M. Bousquet, & J. Lambor (Eds.), *Flore de France* (2e éd., Vol. 14). Editions Jean-Claude Courvoisier.

Beloued, B. (2005). Etude phytochimique et ethnobotanique de *Laurus nobilis* L. en Algérie. Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, Algérie.

Belsito, G. B., Saorina, S., & Langer, R. S. (2007). Cold pressed citrus essential oils: applications in aromatherapy and cosmetic science. In *Advances in chemistry and industrial applications of essential oils* (pp. 241-260). Taylor & Francis.

Besombes, J. P. (2008). Les chémotypes du thym thymol et linalol de *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae): aspects morphologiques, biochimiques et écologiques. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.

Bourgou, M., Bendhaou, A., & Hazzit, M. (2016). Ultrasonically assisted extraction of essential oils from coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, 183, 113-120.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. Editions Techniques Lavoisier.

Bruneton, J. (2009). Pharmacognostic Botany: Identification, Pharmacological and Medicinal Properties of Plants. Lavoisier.

Burda, S., & Oleszek, W. (2001). Antioxidant activity of selected phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(5), 2797-2801.

Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.

Chaabén, F., Khelif, R., & Moustafa, A. (2015). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Laurus nobilis* L. and *Myrtus communis* L. from Algeria. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 46(5), 462-467.

Chemat, M., A. Vinson, & K. Khan (Eds.). (2011). Applications of ultrasound in green extraction. Berlin: Springer.

Cherifi, A. (2011). Les signes cardinaux de l'inflammation. *Médecine Générale*, 27(867), 204-206.

Chouchi, M. T., Lazri, D., Benkhalifa, A., & Amrani, S. (2017). Antibacterial and antioxidant activities of *Laurus nobilis* essential oil: A structure-activity relationship study. *Journal of Ethnopharmacology*, 210, 179-187.

Cohen, J., Braye, S., & Besançon, M. (2008). Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). *La Revue de Médecine Interne*, 29(11), 865-878.

Cronquist, A. (1981). The classification of flowering plants. New York Botanical Garden.

Espinosa, E., & Chillet, C. (2010). Cytokines and the central nervous system. *Current Opinion in Neurology*, 23(4), 382-389.

Farhat, B. (2010). Les huiles essentielles: propriétés et applications. Presses universitaires de Franche-Comté.

Faucon, P. M. (2012). L'aromathérapie: Médecine douce au service de la santé. Editions L'Harmattan.

Ferhat, B., Hadjadj, M., & Boukhatem, S. (2016). Analysis of volatile compounds of *Citrus sinensis* L. peel essential oils by HS-SPME-GC-FID and their antimicrobial activity. *Journal of Chromatography B*, 1034, 130-136.

Fernandez X, A., J. A. Prieto, M. L. Coustets, B. Montes, & J. S. Garcia-Monteiro. (2012). Supercritical fluid extraction of fatty acids and antioxidant compounds from sunflower seeds. *Journal of Food Engineering*, 112(2), 249-255.

Foster, S. (1996). Herbal remedies for common ailments. David & Charles.

Franchomme, P. (2001). Encyclopédie des huiles essentielles. Editions Roger Delachaux et Fils.

Ganzler, K., & Wiesenberger, E. (1986). Microwave extraction of natural products: Principles and applications. In J. H. Baltz & S. D. Rowland (Eds.), The chemistry of natural products: A laboratory handbook (pp. 255-284). American Chemical Society.

Gazi, E., Aktumsek, A., & Erdem, T. (2004). Antioxidant activity of laurel (*Laurus nobilis* L.) leaves. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 28(3), 277-284.

Gaziano, J. M., Hennekens, C. H., O'Donnell, J. E., & Breslow, R. A. (2006). Aspirin and cardiovascular prevention in healthy men: A review of randomized controlled trials. Journal of the American Medical Association, 296(2), 184-192.

Gupta, D., & Sharma, R. K. (2020). Anti-inflammatory and analgesic potential of *Laurus nobilis* essential oil. Journal of Complementary and Integrative Medicine, 19(5), 1-6.

Hammami, S., & Abdesselem, S. (2005). Etude ethnobotanique et phytochimique de *Mentha piperita* L. en Tunisie. Journal of Ethnopharmacology, 98(1-2), 107-111.

Hussain, A., Mujeeb, F., Khan, J. A., & Ahmad, S. (2010). Comparative study of antioxidant activity of essential oils of basil (*Ocimum basilicum* L.) and mint (*Mentha piperita* L.). Asian Journal of Traditional Medicine, 5(2), 102-108.

Iserin, P. (2001). Encyclopédie des plantes médicinales. Editions Dangles.

Ismail, H. A., Marzouk, M. F., Abdel-Aziz, F. M., & El-Moghazy, M. M. (2012). Antioxidant and antimicrobial activities of cinnamon and mint essential oils.

Ivan A. Ross, J. (2001). Herbal remedies used in Argentina: a review. Journal of Ethnopharmacology, 79(2), 117-127.

Jirovetz, L., Schauer, C., & Buchbauer, G. (1997). Analysis of the essential oil from the leaves of *Laurus nobilis* L. from different origins. Phytochemistry, 44(2), 431-434.

Kalemba, D., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal activity of essential oils. Current Medicinal Chemistry, 10(16), 853-876.

Kaloustian, A., Richard, Y., & Choukèr, A. (2013). The role of the inflammatory response in the physiopathology of allergic diseases. Revue Française d'Allergologie, 53(4), 230-236.

Karthik, M., Arumugam, S., & Rajasekaran, C. (2013). Anti-inflammatory and antioxidant activities of the essential oil from leaves of *Ocimum sanctum* L.(Holy basil). Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 6(1), 83-89.

Keefover-Ring, K. (2009). The science of aromatherapy: An evidence-based approach. Elsevier.

Khalil, M. I., Nagai, T., & Kubo, I. (2006). A review of the effects of essential oils on inflammation. Journal of OleoScience, 55(12), 501-515.

Kingston, R. M., & Haswell, S. J. (1997). Microwave-assisted extraction. In D. W. Turner (Ed.), Methods in molecular biology (Vol. 108, pp. 3-26). Humana Press.

Kivçak, B., & Akay, U. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of *Laurus nobilis* L. leaves. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33(2), 117-124.

Kivcak, B., & Mert, I. (2002). An ethnobotanical study on medicinal plants used by Turkish folk medicine in the middle Anatolia region. Journal of Ethnopharmacology, 85(1-2), 275-283.

Kokkini, S., Karoumi, A., & Makris, D. P. (1995). Essential oil content of cultivated peppermint (*Mentha × piperita* L.) in Greece. Journal of Essential Oil Research, 7(3), 173-178.

Larousse (2001). Dictionnaire des plantes médicinales. Larousse.

Lucchesi, E., M. J. García-Conde, & S. S. Lamberti. (2007). Supercritical fluid extraction of essential oils from lavandin and rosemary. Journal of Food Engineering, 83(4), 543-549.

Madí, T. (2018). Evaluation of the antioxidant activity of natural extracts using various methods. Journal of Food and Drug Analysis, 26(3), 668-676.

Maldonado-Bonilla, J. (2008). Carotenoids: Structure, Biosynthesis, and Function. In D. R. Gangadhara Rao & S. S. Rao (Eds.), Carotenoids in Human Health (pp. 1-26). Taylor & Francis.

Martini, A. C. (2011). Essential oils in aromatherapy and other uses. Journal of the American Society of Anesthesiologists, 114(5), 1069-1071.

Mimica-Dukić, M., Božin, B., Sokovic, M., Brudar-Uskoc, J., Tomic, T., & Milic, N. (2003). Antimicrobial and antioxidant activities of *Mentha × piperita* L. essential oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(9), 2525-2530.

Miosic, S., & Paris, M. (1976). Etude morphologique et ultrastructurale des cellules à huile essentielle de *Laurus nobilis* L. Comptes Rendus des Académies des Sciences Serie III - Sciences de la Vie, 283(12), 621-623.

Morel, J. L. (2008). Les composés aromatiques. In D. Joulain (Ed.), La phytothérapie (pp. 45-76). Roger Delachaux et Fils.

Özcan, M., & Chalchat, J.-C. (2006). Volatile constituents and antimicrobial activities of *Laurus nobilis* L. leaves and berries. Journal of Ethnopharmacology, 105(1-2), 178-183.

Pariente, G. (2001). Les lauriers: botanique, phytochimie, usages. Editions Hyacinthe Belin.

Parthasarathy, V. A., Murthy, V. S., & Chempakam, B. (2008). Antibacterial activity of spice extracts on selected food-borne pathogens.

Patel, V. K., Bhatt, S. R., & Patel, P. R. (2019). Anti-inflammatory activity of *Mentha piperita* essential oil and its impact on LPS-induced inflammation in RAW 264.7 macrophages. Journal of Ethnopharmacology, 239, 114029.

Pavithra, P. C., & Vadivukkarasi, M. (2017). Anti-inflammatory and analgesic activities of *Laurus nobilis* L. leaf essential oil. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 7(1), 43-46.

Pavlov, D., Belskii, I., & Konstantinova, E. (2002). Comparative study of the antioxidant activity of extracts from several medicinal plants. Journal of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2(3), 86-89.

Pharmacopée Européenne (2007). Monographie 1846: Huiles essentielles.

Piochon, N. (2008). Ultrasons et micro-ondes, des techniques d'extraction performantes pour les huiles essentielles et les composés phytochimiques. In P. Vernoux & M. Gondard (Eds.), Les huiles essentielles (pp. 279-296). Tec & Doc.

Prior, R. L., Wu, X., & Gu, L. (2005). Antioxidant and prooxidant functions of flavonoids. The Journal of Nutritional Biochemistry, 16(11), 676-686.

Quézel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et de la Tunisie. Editions Lechevalier.

Rice-Evans, C. A., Packer, L., & Stadtman, E. R. (1995). Oxygen free radicals and their role in human disease. Journal of Biological Chemistry, 270(25), 15009-15023.

Sahu, O. P., Tyagi, M. K., & Pandey, A. K. (2015). Anti-inflammatory and anti-microbial activities of essential oil of *Mentha piperita* L. International Journal of Pharma and Bio Sciences, 6(3), 545-553.

Sell, C. (2003). Terpenes and terpenoids: General aspects. In M. B. Sporns (Ed.), The Handbook of Natural Products (pp. 243-272). Elsevier.

Serrato-Valenti, G., De Marchi, E., & Telesco, M. (1997). Antibacterial and antifungal activity of essential oils of *Thymus vulgaris* L., *Origanum vulgare* L. and *Lavandula angustifolia* Mill.

Sharma, P., Kumar, A., & Pandey, A. K. (2017). Anti-inflammatory, analgesic and antipyretic activities of *Mentha piperita* Linn. leaf essential oil. Journal of Complementary and Integrative Medicine, 16(4), 1-6.

Şimşek, M., Kaya, R., & Başer, K. H. C. (2008). Composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves from Turkey. International Journal of Food Microbiology, 124(3), 232-239.

Singh, G., Kapoor, I. P., & Pandey, S. K. (2005). Variations in essential oil composition and yield in *Mentha arvensis* L. under different cultural practices. International Journal of Essential Oil Research, 17(6), 647-652.

Singh, G., Maurya, S., & Kapoor, S. (2015). Antioxidant and antimicrobial activities of *Mentha piperita* L. essential oil. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 5(7), 577-581.

Skaria, B. C., Majeed, A., & Kumar, R. B. (2007). Microwave-assisted extraction of essential oils from spices: A comparative study. Journal of Food Engineering, 83(4), 535-539.

Stevens, C. W., Sumner Jr., S. A., & Willoughby, D. A. (2004). Cyclooxygenase-2 inhibitors in the treatment of inflammatory diseases. Current Opinion in Rheumatology, 16(1), 7-13.

Suhaj, M. (2006). Antioxidant activity of natural extracts and synthetic antioxidants in edible oils. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 56(4), 349-353.

Tadhani, S., Patel, C., & Shah, S. (2007). Comparative study of antioxidant activity of various extracts of bark and leaves of Terminalia bellirica. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 69(2), 270-273.

Thormar, J. (2011). Shikimate pathway in bacteria. In J. B. Fernandes & J. D. Lindley (Eds.), Natural Antimicrobial Agents for Livestock and Food (pp. 47-62). CABI.

Ugarte, R., San Martin, M. J., & Britz, T. (2019). Essential oils: From ancient traditions to modern landscapes in healthcare. Molecules, 24(15), 2465.

Vavitsas, K. (2018). Terpenoids: A Multifaceted Class of Plant Secondary Metabolites with Diverse Biological Functions and Medicinal Properties. In F. A. da Silva, M. J. Fernandes, & J. A. Teixeira (Eds.), Medicinal Plants and Natural Products (pp. 83-114). Springer.

Vetvicka, V., & Matousova, E. (1991). The Complete Guide to Medicinal Herbs. Grange Books.

Vinatoru, M. (2001). Ultrasonically assisted extraction of essential oils from plant materials. In J. H. Hui, R. E. W. Powers, & J. W. Walker (Eds.), Extraction of natural products using near-critical solvents and carbon dioxide (pp. 257-273). American Chemical Society.

Wang, Y., Chen, X., Zhang, S., Liu, Y., & Li, H. (2021). Effect of *Mentha piperita* L. essential oil on LPS-induced inflammation in porcine intestinal epithelial cells. Journal of Animal Science and Biotechnology, 12(1), 1-8.

Weill, P., & Batteux, C. (2003). L'inflammation chronique: un enjeu majeur de santé publique. La Revue de Médecine Interne, 24(12), 665-674.

Youcef, M. (1990). Plantes médicinales du Maghreb. Editions El-Ouns.

Zhiri, A., Tammou, N., & Ben Jemaa, S. (2005). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves. Journal of Medicinal Plants Research, 1(2), 22-27.