



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure
Et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Institut des Sciences de la Nature de la Vie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention

du diplôme De Master académique en

Filière : sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

Étude de l'activité antibactérienne du *Thymus vulgaris*

Présenté par : **AOUAR Fatma**

ABROUS Djamila

Soutenu le 24 juin 2026

Devant le Jury

Mme BEDDAL Amira	Président	M.C.B	Univ-Tissemsilt
Mr DRIS Brahim	Encadrant	M.C. A	Univ-Tissemsilt
Mme SETTI Ahmed Kheira	Examineur	M.C.A	Univ-Tissemsilt

Année universitaire: 2025-2026.

Remerciements

Nous adressons tout d'abord nos plus sincères remerciements à Dieu, pour nous avoir accordé la force, le courage et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce modeste travail, mené avec passion, rigueur et dévouement.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter nos sincères remerciements à notre encadreur Mr. DRIS Ibrahim pour sa précieuse aide, ses orientations ainsi que le temps qu'il nous a accordé tout au long de notre encadrement.

Nous remercions profondément tous les enseignants qui nous ont encouragés et soutenus durant notre parcours universitaire.

Dédicaces

À mes très chers parents,

Source de tendresse, de patience et de sagesse,

qui ont toujours été mon premier soutien et ma plus grande force.

À ma famille et à mes proches,

pour leur amour, leurs prières et leurs encouragements.

Fatma

Dédicaces

*À mes très chers parents,
source inépuisable d'amour, de sagesse et de sacrifices. Merci pour votre soutien constant,
vos prières et vos encouragements qui m'ont toujours guidée vers la réussite.*

*À mes frères et sœurs : merci pour votre tendresse, votre fidélité et votre foi en moi, qui m'ont
accompagnée pas à pas.*

*À mon mari : pour son amour précieux, sa grande patience et son aide constante, sans
lesquels ce travail n'aurait pas été le même.*

*À mon précieux fils Nouh,
ma plus grande fierté et ma plus belle source de motivation.*

Je dédie ce modeste mémoire à ma famille, avec tout mon amour et ma profonde gratitude.

Djamila

Résumé

Ce travail a porté sur la valorisation d'une plante aromatique et médicinale largement utilisée en Algérie, à savoir *Thymus vulgaris* L., à travers l'étude de certaines de ses propriétés biologiques, notamment l'activité antibactérienne de son huile essentielle. L'extraction de l'huile essentielle des feuilles sèches de *Thymus vulgaris* a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, donnant un rendement de 1,2 %.

L'évaluation de l'activité antibactérienne a été effectuée sur différentes souches bactériennes : *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis* et *Escherichia coli*. Les résultats de l'antibiogramme ont montré une sensibilité variable des souches testées vis-à-vis des antibiotiques utilisés, avec des diamètres de zones d'inhibition atteignant respectivement 33 mm, 29 mm et 38 mm.

L'étude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle par aromatogramme (méthode des puits) a révélé une activité inhibitrice importante et dose dépendante. Concernant *Staphylococcus aureus*, les diamètres des zones d'inhibition obtenus étaient de 43 mm, 46 mm et 50 mm pour des volumes de 50, 100 et 200 μ L respectivement, traduisant une forte sensibilité de cette souche à l'huile essentielle étudiée. Pour *Proteus mirabilis*, les valeurs enregistrées étaient de 19 mm, 31 mm et 90 mm, tandis que pour *Escherichia coli*, les diamètres d'inhibition étaient de 31 mm, 39 mm et 90 mm pour les mêmes volumes testés.

Les résultats de cette étude indiquent que l'huile essentielle extraite de *Thymus vulgaris* présente une activité antibactérienne très significative à la fois sur les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. Cette efficacité pourrait s'expliquer par la présence de composés bioactifs, susceptibles de perturber l'intégrité de la membrane et les processus métaboliques des cellules bactériennes. En conséquence, ce travail souligne le fort potentiel thérapeutique de l'huile essentielle de thym commun en tant que source naturelle prometteuse d'agents antimicrobiens.

Mots clés : *Thymus vulgaris*, huiles essentielles, hydrodistillation, activité antibactérienne, aromatogramme.

Abstract

This work focused on the valorization of an aromatic and medicinal plant widely used in Algeria, namely *Thymus vulgaris* L., through the study of some of its biological properties, particularly the antibacterial activity of its essential oil. The extraction of the essential oil from the dried leaves of *Thymus vulgaris* was carried out by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus, yielding an extraction rate of 1.2%.

The evaluation of the antibacterial activity was performed on different bacterial strains: *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, and *Escherichia coli*. The results of the antibiogram showed variable sensitivity of the tested strains toward the antibiotics used, with inhibition zone diameters reaching 33 mm, 29 mm, and 38 mm, respectively.

The study of the antibacterial activity of the essential oil using the aromatogram method (well diffusion method) revealed a significant and dose-dependent inhibitory activity. Regarding *Staphylococcus aureus*, the inhibition zone diameters obtained were 43 mm, 46 mm, and 50 mm for volumes of 50, 100, and 200 μ L, respectively, indicating a high sensitivity of this strain to the studied essential oil. For *Proteus mirabilis*, the recorded values were 19 mm, 31 mm, and 90 mm, whereas for *Escherichia coli*, the inhibition diameters were 31 mm, 39 mm, and 90 mm for the same tested volumes.

The results of this study indicate that the essential oil extracted from *Thymus vulgaris* shows very significant antibacterial activity against both Gram-positive and Gram-negative bacteria. This effectiveness may be explained by the presence of bioactive compounds capable of disrupting membrane integrity and bacterial cellular metabolic processes. Consequently, this work highlights the strong therapeutic potential of common thyme essential oil as a promising natural source of antimicrobial agents.

Keywords: *Thymus vulgaris*, essential oils, hydrodistillation, antibacterial activity, aromatogram.

ملخص

تمحور هذا العمل حول تثمين نبات عطري وطبي واسع الاستعمال في الجزائر، والمتمثل في الزعتر الشائع (*Thymus vulgaris* L.)، من خلال دراسة بعض خصائصه البيولوجية، لاسيما النشاط المضاد للبكتيريا لزيتته الأساسي. وقد تم استخراج الزيت الأساسي من الأوراق الجافة لنبات الزعتر الشائع باستعمال تقنية التقطير المائي بواسطة جهاز من نوع كليفنجر، حيث بلغ مردود الاستخلاص 1.2٪.

تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا على عدة سلالات بكتيرية هي: *Staphylococcus aureus* و *Proteus mirabilis* و *Escherichia coli*. وقد أظهرت نتائج اختبار الحساسية للمضادات الحيوية (Antibiogramme) تفاوتاً في استجابة السلالات المختبرة تجاه المضادات الحيوية المستعملة، حيث بلغت أقطار التثبيط على التوالي 33 مم و 29 مم و 38 مم.

كما كشفت دراسة النشاط المضاد للبكتيريا للزيت الأساسي باستعمال الأروماتوغرام (طريقة الأبار) عن فعالية تثبيطية مهمة مرتبطة بالجرعة المستعملة. ففيما يخص بكتيريا *Staphylococcus aureus*، بلغت أقطار مناطق التثبيط 43 مم و 46 مم و 50 مم عند استعمال أحجام 50 و 100 و 200 ميكرو لتر على التوالي، مما يدل على حساسية كبيرة لهذه السلالة تجاه الزيت الأساسي المدروس. أما بالنسبة لبكتيريا *Proteus mirabilis* فقد سجلت القيم 19 مم و 31 مم و 90 مم، في حين بلغت أقطار التثبيط الخاصة ببكتيريا *Escherichia coli* قيمًا قدرها 31 مم و 39 مم و 90 مم لنفس الأحجام المختبرة.

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن الزيت العطري المستخلص من *Thymus vulgaris* يُظهر نشاطاً مضاداً للبكتيريا ذا أهمية كبيرة ضد كل من البكتيريا موجبة الغرام وسالبة الغرام. ويمكن تفسير هذه الفعالية بوجود مركبات حيوية نشطة قد تؤدي إلى اضطراب سلامة الغشاء الخلوي والعمليات الأيضية للخلايا البكتيرية. وبالتالي، يبرز هذا العمل الإمكانيات العلاجية القوية للزيت العطري للزعتر الشائع كمصدر طبيعي واعد للعوامل المضادة للميكروبات.

الكلمات المفتاحية: *Thymus vulgaris*، الزيوت الأساسية، التقطير المائي، النشاط المضاد للبكتيريا، الأروماتوغرام.

Table des matières

Table des matières

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1

Etude bibliographique

***CHAPITRE I** Généralités sur les huiles essentielles*

I.1 Les huiles essentielles.....	2
I.1.1 Définition	2
I.2. Rôles des HE dans la plante	2
I.3. Répartition systématique des huiles essentielles	2
I.4. Localisation et lieu de synthèse des huiles essentielles	4
I.5. Propriétés physico-chimiques	4
I.6. Domaines d'utilisation des huiles essentielles.....	5
I.6.1. Agro-alimentaire	5
I.6.2. Santé : pharmacie et aromathérapie	6
I.6.3. Secteur parfumerie/ cosmétique	6
I.6.4. En agriculture	6
I.7. Toxicité des huiles essentielles	7
I.8. Méthodes d'extraction.....	7
I.8.1. Distillation	8
I.8.1.1. Hydrodistillation	8
I.8.1.2 Distillation par entraînement à la vapeur	9
I.8.1.3. Hydrodiffusion	10
I.8.2. L'hydrodistillation assistée par micro-ondes	10
I.8.3. Extraction à froid.....	11
I.8.4. Extraction par solvants organiques	11
I.8.5. Extraction par CO₂ à l'état supercritique	12
I.9. Activité antimicrobienne des huiles essentielles.....	13
I.9.1. Les toxi-infections alimentaires	14

I.9.2 Agents causaux.....	14
I.9.3 Les antibiotiques	16
I.9.4 Antibiorésistance (Résistance bactérienne aux antibiotiques)	18
I.9.4.1 Mécanismes de la résistance	19
I.9.4.2 Les bactéries multi-résistantes (BMR).....	20
I.9.5 Effet antimicrobien des huiles essentielles.....	20
I.9.6 Mode d'action des huiles essentielles sur les bactéries	20

CHAPITRE II *Thymus vulgaris* (le thym)

II.1 Classification systématique et description botanique	23
II.1.1 Classification taxonomique	23
II.1.2 Description botanique.....	23
II.1.3 Caractéristiques écologiques	24
II.2 Répartition géographique de <i>Thymus vulgaris</i>	25
II.2.1 Dans le monde.....	25
II.2.2. En Algérie	26
II.3 Utilisations en médecine traditionnelle	27
II.4 Effets indésirables	28
II.5 L'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i>	28
II.5.1 Production et composition	28
II.5.2. Utilisations de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i>	29

Etude expérimentale

CHAPITRE III *Matériel et Méthodes*

III.1 Matériel.....	30
III.1.1 Matériel végétal.....	30
III.2 Extraction des huiles essentielles de <i>Thymus vulgaris</i>	30
III.2.1 Extraction par hydrodistillation.....	30
III.2.2 Calcul du rendement	31
III.3 Procédés d'études microbiologiques	31
III.3.1 Souches bactériennes testées.....	31
III.3.2 Milieux de cultures utilisés.....	31
III.3.3 Préparation de la suspension bactérienne	32
III.3.4 Étude de la sensibilité des souches vis-à-vis des antibiotiques (Antibiogramme)	33

III.3.5 Etude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles	34
III.3.5.1 Aromatogramme.....	34

CHAPITRE IV Résultats et Discussion

IV.1 Matériel végétal.....	36
IV.1.1 Rendement en huile essentielle (R)	36
IV.2.1 L'Antibiogramme	37
IV.2.2 L'aromatogramme.....	39
Conclusion.....	42
Références bibliographiques	43

Liste des tableaux

Tableau n° 1: Les principaux germes responsables de T.I.A.C	15
Tableau n° 2: Mode d'action des principales classes d'antibiotiques	17
Tableau n° 3: Classification taxonomique du thym.....	23
Tableau n° 4: localisation des principales espèces de genre Thymus en Algérie	27
Tableau n° 5: Liste des souches bactériennes testées.	31
Tableau n° 6: Les antibiotiques utilisés pour l'antibiogramme.	34
Tableau n° 7: Pourcentage d'huile essentielle extraite de Thymus vulgaris par la méthode d'hydrodistillation.....	36
Tableau n° 8: Mesures des diamètres (en millimètres) des zones d'inhibition issues de l'antibiogramme.....	38
Tableau n° 9: Résultats de l'aromatogramme.	39
Tableau n° 10: Résultats de l'aromatogramme exprimés en millimètres.	40

Liste des Figures

Figure n° 1: Schéma du montage de l'extraction par hydrodistillation.	8
Figure n° 2: Schéma du montage de l'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.....	9
Figure n° 3: Hydrodistillation assistée par micro-onde.....	10
Figure n° 4: Schéma du montage de l'extraction par la pression à froid	11
Figure n° 5: Montage Extraction par solvants.....	12
Figure n° 6: Schéma du montage de l'extraction par CO2 supercritique	13
Figure n° 7: Mode d'action des antibiotiques	17
Figure n° 8: Différents mécanismes de résistance aux antibiotiques dans une bactérie gram négative	19
Figure n° 9: Mode d'action des HE sur les bactéries	21
Figure n° 10: Représente Thymus Vulgaris	24
Figure n° 11: Description botanique Thymus Vulgaris (Feuille, tiges, fleur)	25
Figure n° 12: répartition géographique de thym dans le monde	26
Figure n° 13: Répartition géographique du thym en Algérie.....	26
Figure n° 14: Dispositif d'extraction des huiles essentielles de Thymus vulgaris.....	30
Figure n° 15: Liste des souches bactériennes testées	32
Figure n° 16: Tube de comparaison de turbidité (standard 0,5 McFarland – $1,5 \times 10^8$ UFC/mL)	32
Figure n° 17: Ensemencement bactérien de la gélose Muller-Hinton et dépôt des disques d'antibiotiques avant incubation.	33
Figure n° 18: Dépôt de l'huile essentielle de Thymus vulgaris dans les puits sur milieu Mueller-Hinton.....	35
Figure n° 19: Rendement de l'extraction de l'huile essentielle obtenue à partir de Thymus vulgaris.	36
Figure n° 20: Résultats de l'antibiogramme d'Escherichia coli.....	37
Figure n° 21: Résultats de l'antibiogramme de Staphylococcus aureus	37
Figure n° 22: Résultats de l'antibiogramme de Proteus mirabilis.....	37

Introduction

Introduction

Depuis l'Antiquité, les plantes aromatiques et médicinales ont toujours été une ressource cruciale de remèdes naturels pour le traitement de plusieurs maladies. Aujourd'hui, leur valeur ne fait que grandir, principalement en raison de la variété de leurs composants bioactifs comme les huiles essentielles, les flavonoïdes et les polyphénols, qui leur attribuent une multitude de caractéristiques biologiques et pharmacologiques **(Bakkali et al., 2008)**.

Thymus vulgaris L., qui appartient à la famille des Lamiacées, a une position spécifique au sein de la flore méditerranéenne parmi ces plantes. Cette espèce est couramment présente en Algérie, où elle sert aussi bien en médecine folklorique qu'en phytothérapie et en aromathérapie. Elle est valorisée pour ses vertus antiseptiques, antibactériennes, antifongiques et antioxydantes, attribuées principalement à la composition chimique de son huile essentielle **(Burt, 2004)**.

Néanmoins, face à l'apparition croissante de résistances bactériennes aux antibiotiques traditionnels sur la scène mondiale, il est devenu impératif, d'un point de vue scientifique et médical, de rechercher de nouvelles ressources naturelles d'agents antimicrobiens **(WHO, 2014)**. Effectivement, les bactéries pathogènes acquièrent de plus en plus de mécanismes de résistance, diminuant ainsi l'efficacité de nombreux traitements traditionnels et incitant les scientifiques à chercher des solutions tirées du règne végétal **(Davies & Davies, 2010)**.

Dans ce contexte, les huiles essentielles apparaissent comme une option prometteuse en raison de leur composition complexe en molécules actives qui peuvent agir sur diverses cibles cellulaires des micro-organismes. Leurs effets peuvent comprendre la désorganisation de la membrane cellulaire, la suppression des enzymes métaboliques ou encore la modification des mécanismes de croissance des bactéries **(Cowan, 1999)**.

Ce travail s'inscrit dans un but spécifique, qui est d'explorer la valorisation de *Thymus vulgaris* L. en se concentrant sur l'extraction de son huile essentielle par hydrodistillation et l'évaluation de ses propriétés antibactériennes sur de nombreuses souches bactériennes d'importance médicale, y compris *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis* et *Escherichia coli*. L'idée principale est de souligner le potentiel antimicrobien de cette huile essentielle et de participer à la recherche de solutions naturelles de substitution aux antibiotiques conventionnels.

Etude bibliographique

CHAPITRE I

Généralités sur les huiles essentielles

I.1 Les huiles essentielles

I.1.1 Définition

Selon **Avalli (2002)**, les huiles essentielles, également appelées essences ou huiles volatiles, sont des produits dont la composition chimique est souvent complexe, rassemblant les composés volatils issus des végétaux, lesquels peuvent subir certaines transformations lors de leur procédé d'extraction.

L'AFNOR (2000) propose une définition plus récente, décrivant une huile essentielle comme un produit extrait d'une plante par entraînement à la vapeur d'eau, par distillation à sec, ou encore par des méthodes mécaniques appliquées à l'épicarpe des agrumes.

En pratique, les huiles essentielles se présentent sous forme de liquides huileux, aromatiques et hautement concentrés. Elles renferment des mélanges complexes de substances volatiles, composés de plusieurs dizaines de molécules, et se trouvent dans toutes les parties des plantes (racines, écorces, feuilles, fleurs, fruits) ainsi que dans l'ensemble des zones climatiques de la planète. Des facteurs environnementaux comme la température, l'ensoleillement et la photopériode influencent significativement la qualité et la quantité de l'huile essentielle produite (**Raul, 2005**).

Raul (2005) distingue deux grandes catégories de composants dans les huiles essentielles :

- Les hydrocarbures, principalement des terpènes (monoterpènes, sesquiterpènes, diterpènes) ;
 - Les composés oxygénés (esters, aldéhydes, cétones, alcools).
- Ce même auteur mentionne également la présence possible de composés azotés et soufrés.

I.2. Rôles des HE dans la plante

Longtemps perçus comme de simples métabolites secondaires, les composés volatils présents dans les huiles essentielles ont des fonctions au sein de la plante qui restent encore mal comprises. La grande variabilité chimique de ces extraits leur permet de véhiculer des signaux complexes et ciblés, ce qui complique l'identification d'un rôle précis pour chacun de leurs constituants. Selon **Verschaffelt (1915)**, ces essences végétales constituent un moyen de défense contre les herbivores et autres prédateurs en influençant leurs comportements

alimentaires vis-à-vis des plantes. Dans cette optique, les huiles essentielles participeraient aux mécanismes naturels de protection des végétaux.

Par ailleurs, **Lutz (1940)** suggère que les constituants des huiles essentielles peuvent modérer les réactions d'oxydation à l'intérieur des cellules, contribuant ainsi à protéger la plante contre les agressions atmosphériques. Il émet également l'hypothèse que certains de ces composés pourraient servir de source énergétique lorsque l'activité photosynthétique est réduite.

D'après **Bouquet (s.d.)**, certains composés des huiles essentielles seraient des intermédiaires du métabolisme végétal. Ils pourraient se trouver sous forme libre à certaines périodes, en lien avec l'activité physiologique de la plante.

Les mono- et sesquiterpènes jouent un rôle clé dans les interactions entre les végétaux et leur milieu. **Nicholas (1973)** souligne que des composés comme le 1,8-cinéole et le camphre peuvent entraver la germination ou la croissance de divers agents pathogènes.

En outre, **Erman (1985)** met en avant le rôle des huiles essentielles dans la pollinisation et la dissémination des diaspores, grâce à leur pouvoir d'attraction sur les insectes pollinisateurs, ce qui constitue une interaction écologique et physiologique majeure.

La volatilité et l'odeur caractéristiques de ces substances en font également des acteurs essentiels de la communication chimique entre les plantes et leur environnement (**Bruneton, 1987**).

Enfin, selon **Croteau (1986)**, les huiles essentielles pourraient être impliquées dans la capture de l'énergie lumineuse et dans la régulation thermique des végétaux. Elles participeraient aussi à la maîtrise de la transpiration pendant la journée en absorbant une partie des rayonnements ultraviolets, grâce à leurs composés insaturés. Ces observations indiquent que la présence et la concentration des huiles essentielles sont étroitement liées à des processus photochimiques.

I.3. Répartition systématique des huiles essentielles

Dans le monde végétal, les huiles essentielles sont principalement présentes chez les plantes supérieures. Leur concentration dans les espèces qui en produisent est généralement très

faible, souvent en dessous de 1 %. Les cas de teneurs élevées, comme celle des clous de girofle (15 %), demeurent rares et exceptionnels. Ces substances peuvent s'accumuler dans un ou plusieurs organes de la plante (**Bruneton, 1999**).

I.4. Localisation et lieu de synthèse des huiles essentielles

Les huiles essentielles peuvent être extraites de divers organes végétaux tels que les fleurs, les feuilles, les racines ou les graines. Les propriétés de ces extraits varient considérablement selon leur origine, et chaque huile possède des usages qui lui sont propres. Ces substances sont localisées dans des cellules sécrétrices spécialisées, structures tissulaires dédiées à leur synthèse et à leur stockage. Ces cellules se rencontrent rarement à l'état isolé ; elles sont généralement organisées en poches (chez les Myrtacées et les Rutacées), en canaux sécréteurs (chez les Apiacées) ou en poils sécréteurs (chez les Lamiacées).

La production et l'accumulation de ces métabolites dans un organe donné sont liées à la présence de structures histologiques spécialisées. Selon l'espèce botanique, il peut s'agir de cellules sécrétrices, de poches, de poils ou de canaux sécréteurs, souvent situés à la surface de la plante (**Bakkali et al., 2008**).

I.5. Propriétés physico-chimiques

Autrefois, l'appréciation de la qualité d'une huile essentielle reposait uniquement sur ses caractères organoleptiques (aspect, couleur, odeur). Cependant, ces propriétés ne fournissant que des informations partielles, il est désormais nécessaire de recourir à des méthodes d'analyse plus fines. La qualité et la valeur d'une huile essentielle sont aujourd'hui définies par des normes établies, fondées sur des indices physicochimiques

- **Densité**

La densité, ou masse volumique, est une grandeur physique exprimant la masse d'un matériau par unité de volume. Elle correspond au rapport entre le poids d'un volume donné d'une substance et le poids du même volume d'un corps de référence, qui est généralement l'eau

- **Indice de réfraction**

L'indice de réfraction d'une huile essentielle se définit comme le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, lorsqu'il passe de l'air dans l'huile maintenue à température constante. Sans unité, car il s'agit d'un rapport de vitesses, cet indice est d'autant plus élevé que la lumière est ralentie dans le milieu. Les huiles essentielles présentent généralement un indice de réfraction élevé, supérieur à celui de l'eau à 20 °C (1,3356) et à celui de l'huile d'olive à la même température (1,4684). Cette valeur élevée témoigne de la richesse de ces essences en composés capables de dévier la lumière polarisée (**Mohamdi Z, 2005**).

- **Potentiel d'hydrogène**

Le pH, abréviation de potentiel d'hydrogène, mesure l'activité chimique des ions hydrogène (H^+) en solution. Il indique couramment le caractère acide, basique ou neutre d'une solution.

- **Indice d'acide**

L'indice d'acide correspond à la masse, en milligrammes, d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides libres présents dans un gramme d'huile essentielle. Étant donné que la teneur en acides libres des corps gras augmente avec le temps, cet indice permet d'évaluer leur degré d'altération (**Mohamdi Z, 2005**).

I.6. Domaines d'utilisation des huiles essentielles

L'histoire des huiles essentielles est indissociable de celle de l'humanité. En effet, depuis les temps antiques, l'être humain utilise des substances odorantes dans son existence quotidienne. Les principales sphères d'utilisation sont les suivantes :

I.6.1. Agro-alimentaire

Dans ce domaine, les huiles essentielles sont employées comme condiments, aromates ou épices, comme c'est le cas pour les essences de gingembre, girofle, vanille, basilic, poivre et agrumes. On les retrouve également dans les boissons, produits laitiers, soupes, sauces, snacks, produits de boulangerie ainsi que dans l'alimentation animale (**Teissedre et al, 1994**).

I.6.2. Santé : pharmacie et aromathérapie

Les qualités pharmacodynamiques des huiles essentielles, à la fois variées et souvent exceptionnelles, sont à l'origine de leur emploi en médecine. Certaines espèces végétales riches en huiles essentielles sont utilisées comme agents conservateurs, notamment pour traiter les infections respiratoires et urinaires. D'autres exercent un effet stimulant sur le système nerveux central, ce qui peut entraîner des crampes lorsqu'elles sont administrées à fortes doses.

Sur le plan biologique, les huiles essentielles contiennent des composés à activité antivirale, ainsi que des principes antifongiques, antibactériens et antioxydants. Ces derniers sont principalement associés au menthol, au néomenthol, au menthane et à l'acétate de menthyle (Richard, 1999).

I.6.3. Secteur parfumerie/ cosmétique

Les huiles essentielles sont fréquemment incorporées dans les produits cosmétiques et d'hygiène courante, qu'ils soient d'origine naturelle ou synthétique. On les retrouve notamment dans les parfums, les savons, ainsi que dans les préparations pour le bain et les huiles de massage. Grâce à leurs propriétés antiseptiques et antioxydantes, elles aident à la conservation de ces produits tout en leur apportant une odeur agréable. En général, leur concentration dans les formulations cosmétiques ne doit pas excéder 3 à 4 %. Parmi les essences les plus couramment utilisées, on trouve celles de lavande et de citron. Le menthol, quant à lui, est présent dans divers produits tels que les dentifrices, les nettoyants pour la peau, certains aliments, les cigarettes, ainsi que dans des préparations pharmaceutiques orales. Il est important de souligner que les composés terpéniques peuvent être absorbés par voie cutanée, ce qui a des implications sur leur efficacité et leur innocuité (Seu-Saberno, et Blakeway, 1984).

I.6.4. En agriculture

L'emploi des huiles essentielles dans le domaine agricole en est encore à ses débuts, mais son développement est prometteur. Le cadre réglementaire actuel favorise en effet la mise au point de produits phytosanitaires d'origine naturelle, en alternative aux méthodes chimiques conventionnelles. À l'heure actuelle, ces essences sont évaluées contre divers organismes cibles

: insectes, champignons, bactéries, mauvaises herbes, ainsi que pour la conservation des semences.

I.7. Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles ne sont pas dénuées de risques. Comme le rappelle l'adage : « Ce n'est pas parce qu'un produit est naturel qu'il est inoffensif pour l'organisme. » Cette question est d'autant plus cruciale que l'usage des huiles essentielles, en pleine expansion, se généralise avec l'essor de pratiques thérapeutiques telles que l'aromathérapie (**Piochon, 2008**).

Certaines huiles essentielles présentent des dangers lors d'une application cutanée : pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou carvacrol), potentiel allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde) ou effet phototoxique (huiles d'agrumes contenant des furocoumarines). D'autres exercent une action neurotoxique. Les cétones, comme l' α -thujone, sont particulièrement nocives pour les tissus nerveux. Quelques huiles essentielles renferment par ailleurs des composés susceptibles d'induire des cancers. C'est le cas notamment de certains dérivés d'allylbenzènes ou de propénylbenzènes, tels que le safrole (présent dans le Sassafras), l'estragole (dans l'estragon), la β -asarone (dans l'*Acorus calamus*) et le méthyl-eugénol. Ces substances ont montré une activité hépatocancérogène chez les rongeurs.

Ainsi, le safrole et l'estragole sont transformés au niveau du foie des rats et des souris par les microsomes en dérivés hydroxylés, puis en esters sulfuriques électrophiles, capables d'interagir avec les acides nucléiques et les protéines. Néanmoins, ces résultats font débat en raison de différences de métabolisation chez l'être humain. Chez l'homme, par exemple, le safrole est converti en dihydroxysafrole et trihydroxysafrole, des composés non cancérigènes. En outre, tout dépend des doses administrées lors des études expérimentales ; bien souvent, la quantité ingérée par l'animal est loin de correspondre à celle qu'un humain pourrait absorber quotidiennement (**Piochon, 2008**).

I.8. Méthodes d'extraction

Parmi les différentes techniques d'extraction des huiles essentielles, la distillation reste la méthode la plus ancienne et la plus couramment employée. Des procédés plus récents ont vu le jour afin d'améliorer le rendement et la qualité des essences extraites, de diminuer la durée d'extraction, de réduire l'utilisation de solvants et d'accélérer le processus global.

I.8.1. Distillation

Plusieurs procédés permettent d'extraire les huiles essentielles à partir du matériel végétal. Les plus courants sont la distillation par entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation.

I.8.1.1. Hydrodistillation

L'hydrodistillation (Figure n°01) est la méthode historique d'extraction des huiles essentielles. Elle consistait à plonger la matière végétale dans l'eau, puis à chauffer l'ensemble jusqu'à ébullition. Selon l'agencement du dispositif, on distingue deux variantes principales. La première, appelée vapo-hydrodistillation, se caractérise par la présence d'eau au fond de la cuve : chauffée à ébullition, elle produit une vapeur qui traverse la plante. La seconde, la vapedistillation, utilise une chaudière indépendante, située hors de l'alambic, pour générer la vapeur d'eau. Quel que soit le procédé, la vapeur saturée en composés aromatiques est conduite vers un condenseur, généralement constitué d'un serpentín ou d'un faisceau de tubes parallèles refroidis par une circulation d'eau froide. Après refroidissement, le mélange (eau + huile essentielle) est transféré dans un essencier ou un vase florentin, récipient dans lequel les deux phases liquides non miscibles se séparent naturellement par simple décantation (LUCCHESI, 2005).

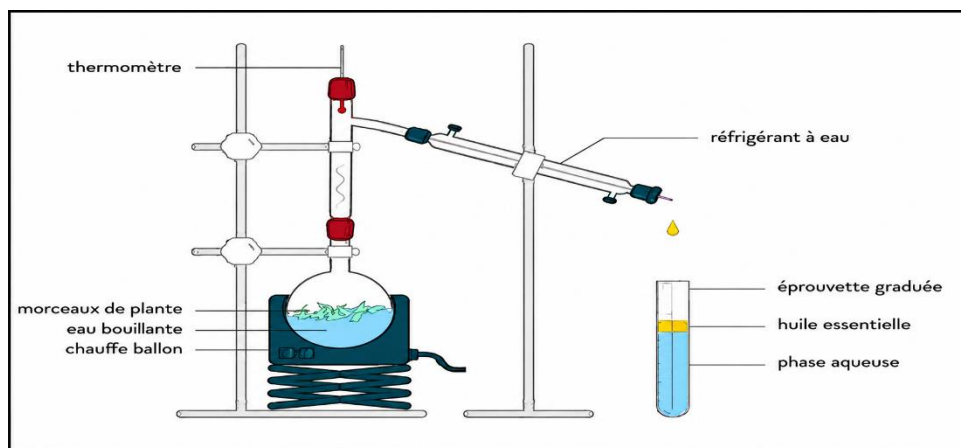


Figure n° 1: Schéma du montage de l'extraction par hydrodistillation.

I.8.1.2 Distillation par entraînement à la vapeur

La distillation par entraînement à la vapeur d'eau constitue l'une des méthodes de référence pour l'extraction des huiles essentielles (Figure n°02). Dans ce procédé, le matériel végétal est déposé dans l'alambic sur une grille perforée, positionnée à une certaine hauteur au-dessus du fond de l'appareil qui contient de l'eau. La plante est ainsi exposée à la vapeur d'eau saturée sans être en contact direct avec l'eau en ébullition.

La vapeur provoque l'éclatement d'une grande partie des glandes sécrétrices, libérant ainsi les composés aromatiques qu'elles renferment. Les huiles essentielles diffusent alors à travers les tissus végétaux et se mélangent à la vapeur d'eau qui circule autour. Les vapeurs chargées de composés volatils sont ensuite condensées, puis soumises à une décantation. Grâce à leur densité différente de celle de l'eau, les huiles essentielles forment une phase distincte et peuvent être récupérées (Nixon & McCaw, 2004). Ce procédé présente l'avantage d'éviter certaines réactions indésirables qui pourraient survenir au contact des constituants des huiles essentielles avec l'eau, et qui modifieraient la composition finale de l'extrait. Par ailleurs, cette méthode se montre particulièrement efficace pour les huiles essentielles localisées dans les glandes situées en surface des végétaux. En revanche, l'extraction par entraînement à la vapeur des huiles essentielles provenant de structures plus profondes est plus longue et nécessite une quantité de vapeur plus importante que pour celles de surface (Neffati, 2010).

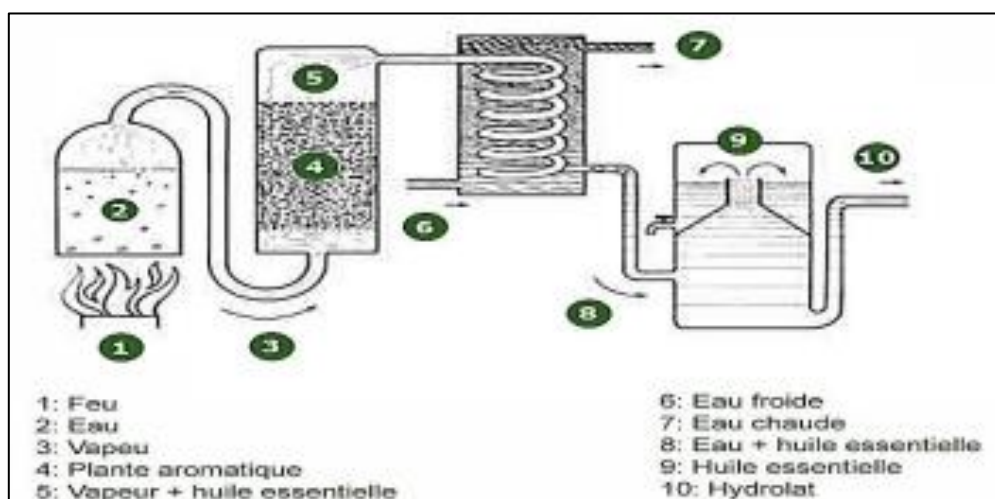


Figure n° 2: Schéma du montage de l'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.

I.8.1.3. Hydrodiffusion

L'hydrodiffusion est une variante de la distillation par entraînement à la vapeur. Dans ce procédé, le flux de vapeur circule de haut en bas, contrairement au sens ascendant classique. Cette configuration permet de réduire la durée de la distillation, d'être moins agressive pour les composés volatils, et de diminuer la consommation de vapeur d'eau, ce qui contribue également à des économies d'énergie. Cette technique nécessite l'utilisation de matériaux tels que le bois ou les fibres, qui sont perméables à la vapeur.

I.8.2. L'hydrodistillation assistée par micro-ondes

Dans cette méthode, le matériel végétal est soumis à un chauffage par micro-ondes à l'intérieur d'une enceinte fermée, où la pression est abaissée par cycles successifs. Les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau générée à partir de l'eau naturellement présente dans la plante. Ils sont ensuite recueillis grâce aux techniques conventionnelles que sont la condensation, le refroidissement et la décantation. Cette approche présente plusieurs atouts, notamment sa rapidité, une faible consommation de solvant, ainsi qu'un rendement d'extraction satisfaisant (**Brennecke. J. F et C. A. Eckert, 1989**).

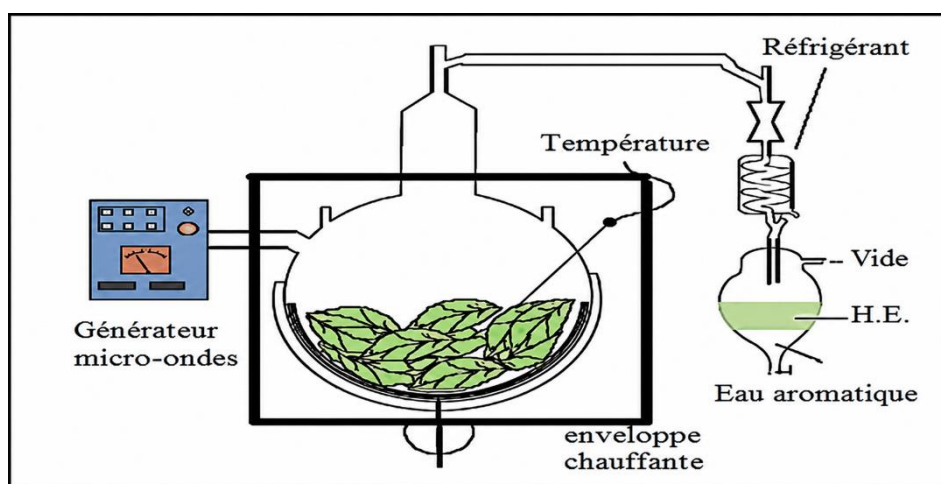


Figure n° 3: Hydrodistillation assistée par micro-onde. (Lucchesi, 2005)

I.8.3. Extraction à froid

Les huiles essentielles extraites des fruits du groupe des hespéridées, tels que les agrumes, sont dites fragiles en raison de leur composition riche en terpènes et en aldéhydes. C'est pourquoi, pour ce type de matière première, on utilise un procédé différent de la distillation classique : l'expression à froid.

Le principe de cette méthode consiste à rompre ou à déchirer les membranes des poches à essence situées dans l'écorce du fruit, puis à comprimer leur contenu contre les parois. Un jet d'eau exerce une action abrasive à la surface du fruit, provoquant son éclatement et la libération simultanée de l'huile essentielle et du jus. Après élimination des résidus solides, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par centrifugation. (Chemat, Vian, & Cravotto, 2012).

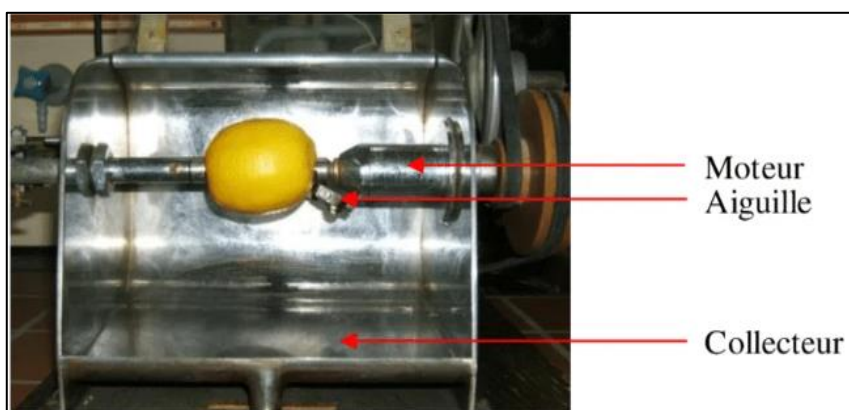


Figure n° 4: Schéma du montage de l'extraction par la pression à froid. (Farhat. A., 2010)

I.8.4. Extraction par solvants organiques

Cette technique est employée pour les tissus végétaux dont la teneur en huiles essentielles est relativement faible, ainsi que pour les essences non extractibles par distillation. Le procédé consiste à introduire dans un extracteur un solvant volatil ainsi que la matière végétale à traiter. Au moyen de lavages répétés, le solvant se charge progressivement en composés aromatiques, puis il est dirigé vers un concentrateur où il est distillé, permettant d'obtenir un produit appelé « concrète ». Cette concrète est ensuite mélangée à de l'alcool absolu, puis filtrée et refroidie afin d'en éliminer les cires végétales. Après une étape de concentration, on obtient une « absolue ». Le solvant utilisé doit présenter une certaine stabilité vis-à-vis de la chaleur, de la lumière et

de l'oxygène. Son point d'ébullition doit être relativement bas pour faciliter son élimination, et il ne doit pas réagir chimiquement avec l'extrait (Kim et al, 2002).

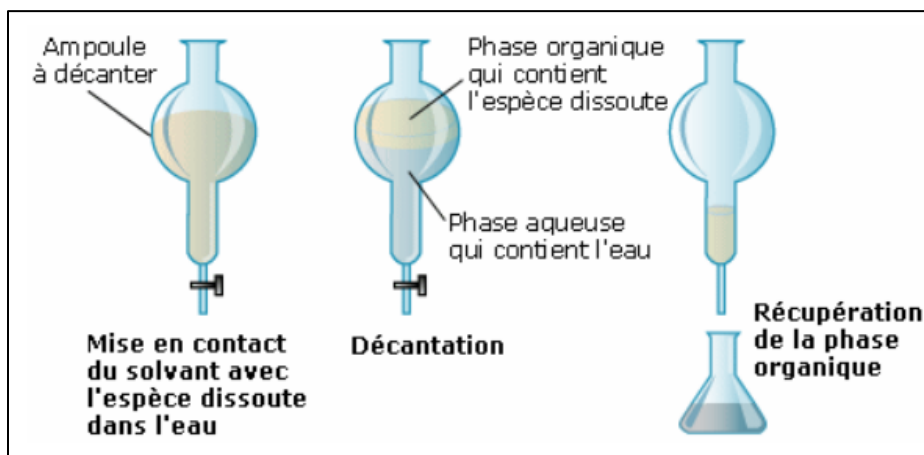


Figure n° 5: Montage Extraction par solvants.

I.8.5. Extraction par CO₂ à l'état supercritique

La particularité de cette méthode réside dans le solvant utilisé : le dioxyde de carbone à l'état supercritique. L'extraction consiste à comprimer le CO₂ à des pressions et des températures situées au-delà de son point critique, soit environ 72,8 bars et 31,1 °C. Dans cet état supercritique, le CO₂ ne se trouve ni sous forme liquide ni sous forme gazeuse. Cette propriété lui confère un excellent pouvoir d'extraction, que l'on peut moduler en ajustant la température d'opération. Les fluides supercritiques, tels que le CO₂, sont de bons solvants à l'état supercritique mais deviennent de mauvais solvants lorsqu'ils retournent à l'état gazeux (Brennecke & Eckert, 1989 ; Chemat et al., 2012).

Ce procédé présente plusieurs avantages :

- Le CO₂ est chimiquement inerte, naturel, non toxique et économique.
- En fin de cycle, la séparation entre le solvant d'extraction et le soluté pour récupérer l'extrait est aisée : une simple détente suffit pour ramener le CO₂ à l'état gazeux, permettant une récupération quasi totale et peu coûteuse.

L'extraction des huiles essentielles par CO₂ supercritique produit des essences de très grande qualité dans un temps relativement court comparé aux méthodes traditionnelles. Toutefois, l'équipement industriel nécessaire reste coûteux et l'appareillage encore encombrant.

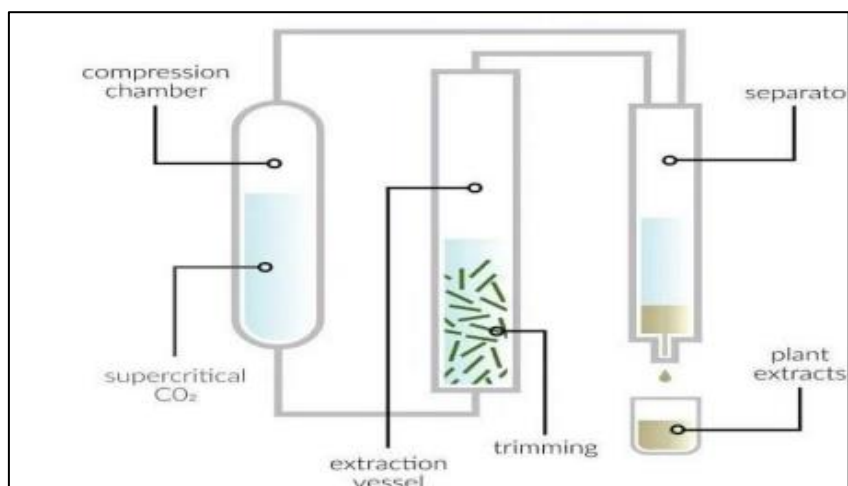


Figure n° 6: Schéma du montage de l'extraction par CO₂ supercritique.

I.9. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

Un agent antimicrobien se définit comme une substance, d'origine synthétique ou naturelle, destinée à détruire ou à inhiber la prolifération des micro-organismes, en particulier les bactéries (Chalal & Salmi, 2018).

De nombreuses plantes aromatiques ainsi que leurs huiles essentielles possèdent une activité antimicrobienne susceptible de limiter la croissance des germes d'altération et des agents pathogènes, contribuant ainsi à améliorer la sécurité des aliments. Cette activité est essentiellement liée à la composition chimique des huiles, notamment à leurs composés volatils majoritaires. À ce jour, aucune étude ne permet de décrire de manière claire et précise le mécanisme d'action des huiles essentielles. Compte tenu de la complexité de leur composition, il est probable que ce mode d'action soit lui-même complexe et difficile à élucider au niveau moléculaire. Il est fort possible que chaque constituant des huiles essentielles possède son propre mécanisme d'action.

Les propriétés des huiles essentielles sont attribuées aux dérivés terpénoïdes et phénylpropanoïdes qui les composent. L'activité de ces molécules bioactives dépend à la fois du caractère lipophile de leur structure hydrocarbonée et du caractère hydrophile de leurs groupements fonctionnels. En général, les molécules oxygénées se révèlent plus actives que les molécules hydrocarbonées.

Les terpènes, tout comme les flavonoïdes, sont capables de pénétrer dans la bicouche phospholipidique de la membrane bactérienne et d'en provoquer la rupture. Le contenu cytoplasmique est alors libéré à l'extérieur de la cellule, entraînant sa destruction. Par ailleurs, une perturbation chimio-osmotique ainsi qu'une fuite d'ions potassium depuis le cytoplasme peuvent se produire, suivies de la libération d'acides nucléiques, d'ATP et de phosphate inorganique (**Chalal & Salmi, 2018**).

D'une manière générale, l'action des huiles essentielles se déroule en trois étapes :

1. **Attaque de la paroi bactérienne** : l'huile essentielle fragilise la paroi, ce qui augmente la perméabilité membranaire et entraîne une perte des constituants cellulaires.
2. **Acidification intracellulaire** : le milieu interne de la cellule devient plus acide, ce qui bloque la production d'énergie cellulaire ainsi que la synthèse des éléments structuraux.
3. **Dégradation du matériel génétique** : cette dernière phase aboutit à la mort de la bactérie.

I.9.1. Les toxi-infections alimentaires

Les toxi-infections alimentaires désignent des pathologies qui surviennent suite à l'ingestion d'aliments ou de boissons contaminés par des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) ou par leurs toxines. Cette contamination entraîne chez l'individu une multiplication des agents infectieux et/ou une libération de toxines, responsables de divers troubles (**Amara et al., 2019**).

Dans les pays industrialisés, bien qu'un contrôle préventif rigoureux soit appliqué, l'augmentation de la densité de population et les nombreuses manipulations des denrées alimentaires constituent toujours des risques de contamination. La multiplication bactérienne est particulièrement rapide en période estivale en raison des températures élevées.

Selon l'agent pathogène en cause et le type d'intoxication, les maladies d'origine alimentaire se divisent en deux catégories : les infections et les empoisonnements (**Morin, 1997**).

Lorsqu'au moins deux personnes présentent des symptômes similaires après avoir consommé la même nourriture, on parle de toxi-infection alimentaire collective (TIAC), une affection soumise à déclaration obligatoire. Les épidémies de TIAC les plus importantes sont souvent qualifiées de « crises alimentaires ». Les agents infectieux les plus fréquemment

impliqués sont des bactéries telles que *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Clostridium* et *Campylobacter*, ainsi que certains virus, notamment les rotavirus (Morin, 1997).

I.9.2 Agents causaux

Tableau n° 1: Les principaux germes responsables de T.I.A.C (Jay et al., 2005)

Micro-organisme / Toxine	Caractéristiques morphologiques	Manifestations cliniques	Principales sources alimentaires
Salmonella enterica	Bacille à Gram négatif	Troubles gastro-intestinaux caractérisés par diarrhée, forte fièvre, douleurs abdominales, vomissements et céphalées.	Viandes insuffisamment cuites (volaille, porc), préparations à base d'œufs (pâtisseries), lait et produits laitiers, aliments préparés tels que les salades de pommes de terre.
Staphylococcus aureus	Coque à Gram positif	Nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées et crampes digestives.	Produits de pâtisserie à la crème, charcuteries (pâtés, viandes transformées), poissons en conserve (notamment les sardines à l'huile), plats cuisinés, viandes et desserts glacés.
Pseudomonas aeruginosa	Bacille ubiquitaire à Gram négatif	Fièvre, diminution de l'audition et douleurs intenses au niveau de l'oreille.	Eau contaminée ou insuffisamment traitée.
Acinetobacter baumannii	Diplocoque-bacille à Gram négatif	Peut provoquer des bronchiolites chez l'enfant en bonne santé et des trachéobronchites chez les personnes immunodéprimées.	Eau douce, lait et produits issus de la volaille.
Proteus mirabilis	Bacille en bâtonnet à Gram négatif	Infections urinaires pouvant évoluer vers une atteinte rénale avec fièvre et douleurs lombaires.	Eau polluée ou contaminée.

Bacillus cereus	Bacille à Gram positif	Symptômes digestifs incluant nausées, vomissements, diarrhées et parfois crampes abdominales.	Aliments ayant subi une manipulation ou une conservation inadéquate favorisant la contamination.
------------------------	------------------------	---	--

I.9.3 Les antibiotiques

Les antibiotiques sont des composés chimiques produits par des micro-organismes, capables d'entraver la croissance ou la prolifération d'autres microbes (notamment les bactéries). Ils agissent en pénétrant dans ces cellules cibles, soit en perturbant leur métabolisme, soit en intervenant spécifiquement sur leurs processus fondamentaux, sans pour autant être toxiques pour l'homme ou les cellules animales.

À l'origine, la catégorie des antibiotiques se limitait aux substances d'origine biologique issues de champignons. Par la suite, cette définition s'est élargie et inclut aujourd'hui d'autres produits aux effets antibactériens similaires, mais obtenus par synthèse chimique.

Actuellement, plus de dix mille molécules antibiotiques sont recensées, dont une centaine est employée en thérapeutique humaine.

Les antibiotiques exercent leur action contre les micro-organismes selon différents mécanismes, pouvant cibler (Muylaert & Mainil, 2012) :

- **La synthèse du peptidoglycane** (constituant de la paroi cellulaire) ainsi que les membranes, comme c'est le cas des polymyxines ;
- **La synthèse des acides nucléiques** (exemples : quinolones, rifamycines, nitroimidazolés) ;
- **La synthèse protéique** (notamment les macrolides et apparentés, les aminosides, les phénicolés, les tétracyclines) ;
- **Le métabolisme intermédiaire** (cible des sulfamides et du triméthoprim).

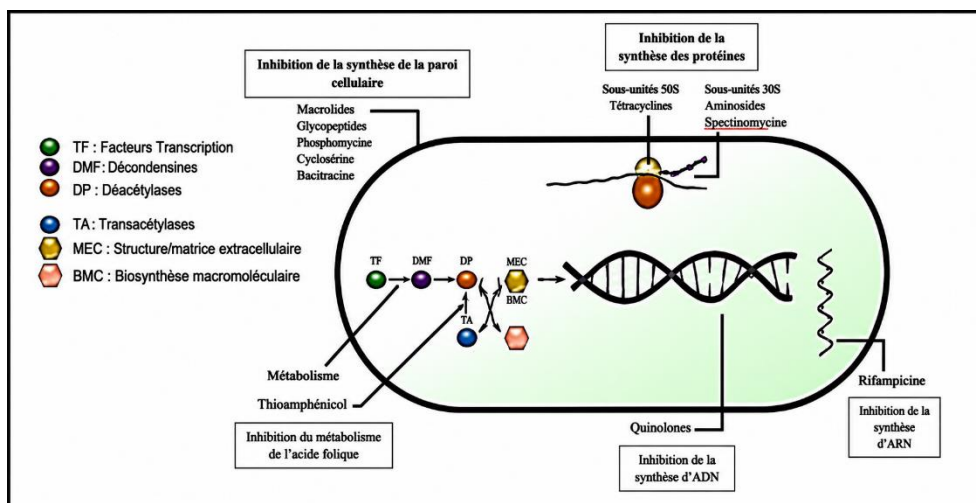


Figure n° 7: Mode d'action des antibiotiques. (Singh et Barrett, 2006).

Les antibiotiques ont la capacité de bloquer la synthèse des acides nucléiques (ADN et ARN). Ils agissent ainsi sur certaines étapes du métabolisme liées à la production d'ADN. Leurs cibles principales restent néanmoins la paroi cellulaire ainsi que les ribosomes des bactéries (Tableau 2).

Tableau n° 2: Mode d'action des principales classes d'antibiotiques (Goodman & Gilman, 2018)

Classe d'antibiotiques	Origine	Mécanisme d'action
Sulfamides	Composés obtenus par synthèse chimique	Agissent en inhibant la biosynthèse de l'acide folique bactérien, indispensable à la croissance et à la multiplication des bactéries.
β-lactamines de première génération	Produites à partir de moisissures du genre <i>Penicillium</i> (<i>P. notatum</i> et <i>P. chrysogenum</i>)	Empêchent la formation du peptidoglycane de la paroi bactérienne en bloquant les réactions de transpeptidation.
β-lactamines de deuxième génération	Dérivées de champignons du genre <i>Cephalosporium</i>	Perturbent la synthèse de la paroi cellulaire bactérienne en inhibant l'assemblage du peptidoglycane.
Phénylpropanoïdes	Isolés de <i>Streptomyces venezuelae</i>	Se lie à l'ARN ribosomique 23S de la sous-unité 50S du ribosome,

		ce qui bloque l'élongation de la chaîne peptidique lors de la synthèse protéique.
Macrolides	Produits par <i>Streptomyces erythraeus</i>	Inhibent la synthèse des protéines bactériennes en se fixant sur la sous-unité 50S du ribosome et en empêchant la progression de la traduction.
Tétracyclines	Obtenues à partir d'espèces du genre <i>Streptomyces</i>	Se fixent sur la sous-unité 30S du ribosome et empêchent l'incorporation des acides aminés dans la chaîne protéique en cours de formation.
Aminoglycosides	Produits par les genres <i>Streptomyces</i> ou <i>Micromonospora</i>	Interagissent avec la sous-unité 30S du ribosome, perturbant la lecture de l'ARN messager et inhibant la synthèse protéique bactérienne.

I.9.4 Antibiorésistance (Résistance bactérienne aux antibiotiques)

Les antibiotiques sont des médicaments utilisés pour traiter et prévenir les infections bactériennes. Leur découverte a constitué une avancée majeure dans la médecine moderne en contribuant à la réduction de la morbidité et de la mortalité liées aux maladies infectieuses. Cependant, leur efficacité est aujourd'hui menacée par l'apparition de bactéries résistantes capables de s'adapter aux agents antimicrobiens (Fahed, 2016).

La résistance aux antibiotiques peut être **naturelle (intrinsèque)** ou **acquise**. La résistance naturelle correspond à une insensibilité aux antibiotiques présente chez tous les membres d'une espèce bactérienne et fait partie de leur patrimoine génétique. La résistance acquise, en revanche, résulte de modifications génétiques telles que des mutations chromosomiques ou l'acquisition de matériel génétique étranger via des plasmides, des bactériophages ou des transposons (Yala et al., 2001).

I.9.4.1 Mécanismes de la résistance

Les bactéries ont développé plusieurs mécanismes pour échapper à l'action des antibiotiques. Les principaux mécanismes sont (Nikaido, 2009):

- **L'inactivation enzymatique de l'antibiotique**, qui consiste à produire des enzymes capables de détruire ou d'inactiver l'antibiotique.
- **La modification ou le remplacement de la cible de l'antibiotique**, empêchant ainsi la fixation du médicament sur la bactérie.
- **La diminution de la perméabilité de la membrane bactérienne**, limitant l'entrée de l'antibiotique dans la cellule.
- **L'efflux actif**, permettant à la bactérie d'expulser l'antibiotique hors de la cellule.

La (figure I.8) montre les mécanismes pouvant être mis en place pour contourner l'effet d'un antibiotique (Muylaert & Mainil, 2012).

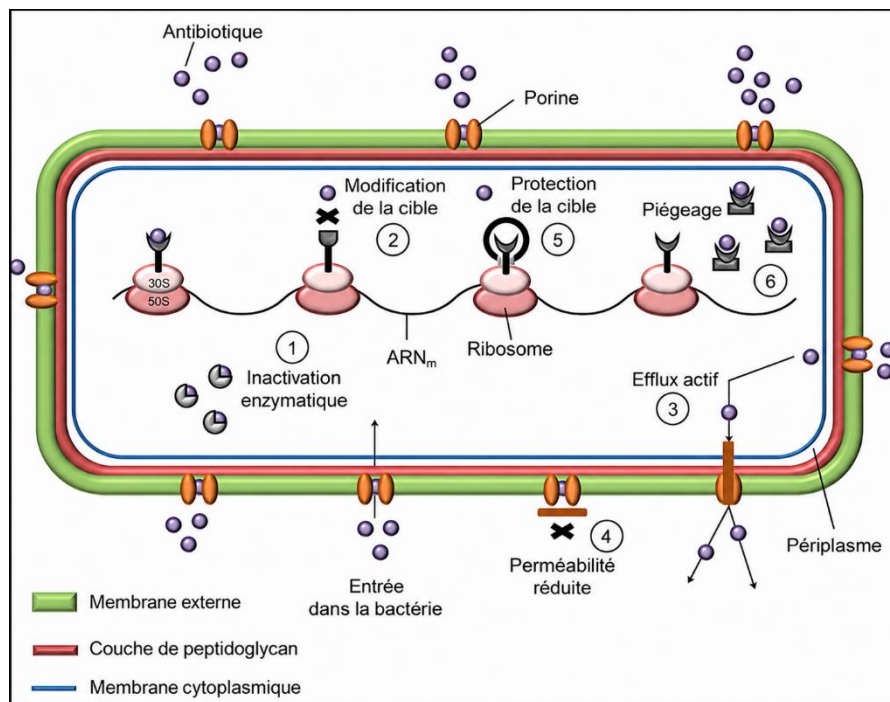


Figure n° 8: Différents mécanismes de résistance aux antibiotiques dans une bactérie gram négative

(Muylaert & Mainil, 2012).

I.9.4.2 Les bactéries multi-résistantes (BMR)

Les bactéries multi-résistantes (BMR) sont des microorganismes ayant acquis une résistance à plusieurs familles d'antibiotiques. Cette situation représente un problème majeur de santé publique, car elle peut conduire à une impasse thérapeutique (Nikaido, 2009).

Selon un consensus européen, trois niveaux de résistance sont définis :

- **MDR (Multi-Drug Resistant)** : résistance à au moins trois familles d'antibiotiques.
- **XDR (Extensively Drug Resistant)** : sensibilité conservée seulement pour une ou deux classes d'antibiotiques.
- **PDR (Pan-Drug Resistant)** : résistance à l'ensemble des antibiotiques disponibles.

I.9.5 Effet antimicrobien des huiles essentielles

Le potentiel des huiles essentielles et de leurs constituants est remarquable, tant sur le plan des propriétés antimicrobiennes que dans les applications industrielles et médicales. Grâce à la richesse et à la diversité moléculaire des métabolites qu'elles renferment, ces extraits végétaux possèdent des rôles biologiques extrêmement variés tout en autorisant des usages à faible risque, du fait de l'absence d'effets secondaires. Par ailleurs, il est essentiel de souligner qu'aucune résistance spécifiquement dirigée contre les huiles essentielles n'a été documentée jusqu'à présent. Certaines d'entre elles représentent ainsi des alternatives ou des compléments intéressants aux antibiotiques classiques, sans en partager les effets indésirables (Bakkali et al., 2008).

I.9.6 Mode d'action des huiles essentielles sur les bactéries

Les huiles essentielles se caractérisent par une composition quantitativement variable et une répartition hétérogène de leurs constituants. De ce fait, leur pouvoir antibactérien ne saurait être expliqué par un unique mécanisme d'action ; il repose plutôt sur des cibles multiples au sein de la cellule bactérienne (Nazzaro et al., 2013).

Figure n° 9 propose une classification de ces actions en deux grands types :

1. Actions membranaires : Les composés aromatiques des huiles essentielles traversent la paroi et la membrane plasmique, s'insèrent dans la bicouche lipidique et perturbent son fonctionnement. Cette atteinte peut aboutir à une lyse de la bactérie. Par ailleurs, ces substances peuvent réduire la fluidité de la membrane, ce qui entrave le déroulement normal des processus bactériens.

2. Actions cytoplasmiques : Les composés organiques volatils (COV) contenus dans les huiles essentielles sont capables d'induire une coagulation du cytoplasme et d'endommager les protéines ainsi que les lipides cytoplasmiques

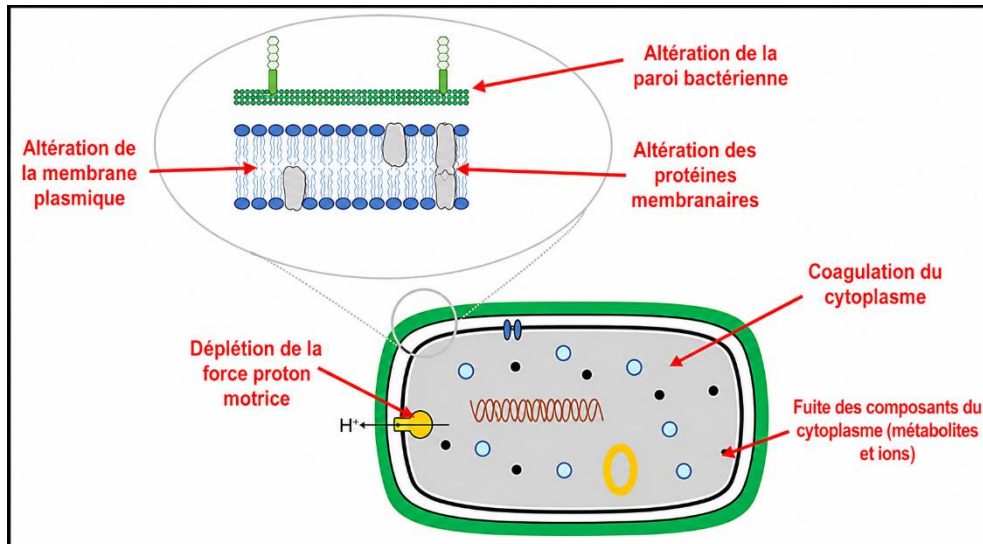


Figure n°9 : Mode d'action des HE sur les bactéries

CHAPITRE II

Thymus vulgaris (le thym)

II.1 Classification systématique et description botanique

II.1.1 Classification taxonomique

Thymus appartient à la famille des Lamiacées qui compte 220 genres. Il est l'un des huit importants genres.

Selon **Djedir (2018)**, la classification du thym figure au tableau n° 3.

Tableau n° 3: Classification taxonomique du thym

Règne	Plantae (végétal)
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Thymus</i>

II.1.2 Description botanique

Appartenant à la famille des Lamiacées, *Thymus vulgaris* se présente comme un sous-arbrisseau buissonnant, vivace et aromatique, dont la taille oscille généralement entre 20 et 30 cm. La plante possède des tiges à section presque cylindrique, ligneuses à leur base et herbacées à leur sommet. Son feuillage est composé de très petites feuilles ovales, caractérisées par des bords repliés vers la face inférieure, des nervures latérales distinctes, des pétioles très courts et une face inférieure de couleur blanchâtre.

La floraison donne des fleurs mesurant 4 à 6 mm, dont la teinte s'échelonne du rose au blanc. Celles-ci sont pédicellées et se regroupent habituellement par trois à l'aisselle des feuilles supérieures. La surface des fleurs est couverte de poils tecteurs et sécréteurs (trichomes) qui abritent l'huile essentielle, composée en majeure partie de monoterpènes. Les calices et les jeunes tiges sont également munis de ces trichomes, libérant ainsi l'arôme au simple contact, même si leur densité y est plus réduite. Enfin, ces petites fleurs zygomorphes sont disposées en glomérules et leur couleur varie du blanc au violet en passant par le rose (**Benazzeddine, 2010**).



Figure n° 10 : Représente *Thymus Vulgaris*

II.1.3 Caractéristiques écologiques

Thymus vulgaris est une espèce vivace (frutex) sténoméditerranéenne, principalement présente dans l'ouest du bassin méditerranéen (Espagne, France, Italie) ainsi que dans certaines régions d'Afrique du Nord et d'Asie. Elle pousse sur des sols arides et ouverts, tels que garrigues, dunes, pentes rocheuses et steppes méditerranéennes, et peut se développer de la mer jusqu'à 2450 m d'altitude selon l'exposition, le substrat et l'usage des sols. Selon la vigueur des parties basales et la durée des parties apicales, elle peut former des herbes semi-ligneuses ou de petits sous-arbrisseaux. Les populations secondaires sont influencées par l'activité humaine (pâturage, incendies, déforestation). Cette plante montre une grande adaptabilité aux variations climatiques et édaphiques, formant parfois des peuplements denses et dominants (Cianfaglione et al., 2022).

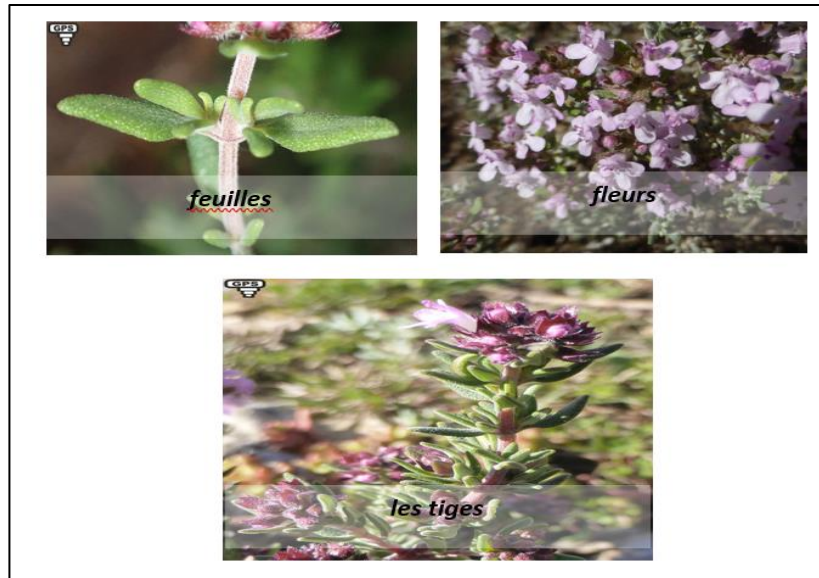


Figure n°11 : Description botanique *Thymus Vulgaris* (Feuille, tiges, fleur)
(Randoscartes, s.d.).

II.2 Répartition géographique de *Thymus vulgaris*

II.2.1 Dans le monde

Le genre *Thymus* figure parmi les 250 genres les plus riches en espèces au sein de la famille des Lamiacées. On recense près de 350 espèces de thym, réparties principalement en Europe, en Asie occidentale et dans le pourtour méditerranéen. Cette plante est très courante dans le Nord-Ouest de l'Afrique (notamment au Maroc, en Tunisie, en Algérie et en Libye). On la rencontre également sur les reliefs d'Éthiopie et du Sud-Ouest de l'Arabie, ainsi que dans la péninsule du Sinaï en Égypte. Son aire de répartition s'étend aussi jusqu'en Sibérie et dans l'Himalaya.

Environ 110 espèces différentes du genre *Thymus* se concentrent dans le bassin méditerranéen. C'est pourquoi cette région est considérée comme le berceau d'origine de ce genre (Benayache, 2013).

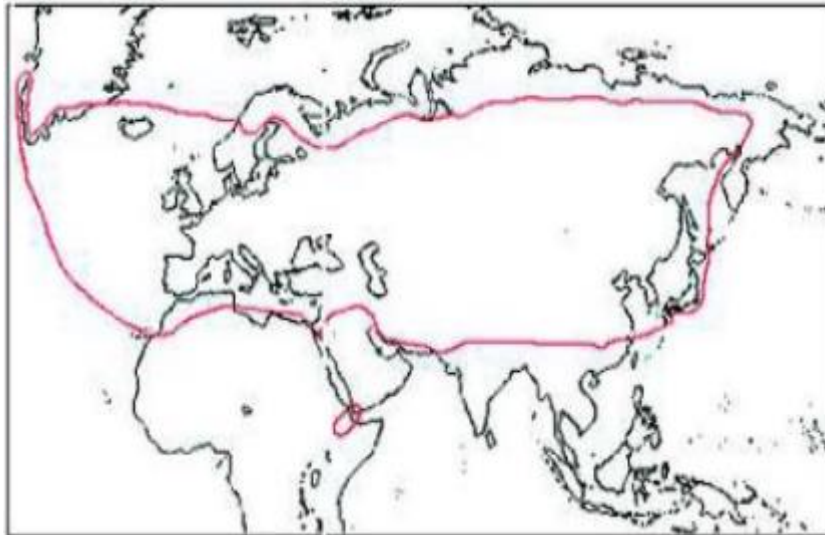


Figure n°12 : répartition géographique de thym dans le monde (Stahl-biskup ,2002)

II.2.2. En Algérie

La diversité bioclimatique et l'étendue du territoire algérien confèrent à ce pays une grande richesse floristique, notamment en plantes médicinales. Parmi celles-ci, le thym (*Thymus* spp.) est particulièrement bien représenté, avec des espèces disséminées le long du littoral, dans les terres et jusqu'en régions arides.

Selon (**Kabouche, 2005**), le genre *Thymus* compte environ 300 espèces dans le monde, dont 11 sont présentes sur le territoire algérien.



Figure n°13 : Répartition géographique du thym en Algérie

Tableau n° 4: localisation des principales espèces de genre *Thymus* en Algérie
(Saadallah et al., 2020)

Espèces	Localisation
<i>Thymus capitalus</i>	Rare dans la région Tlemcen
<i>Thymus fontanesii</i>	Commun dans le tell Endémique Est Algérie-Tunisie
<i>Thymus commutatus</i>	Endémique Oran
<i>Thymus numidicus</i>	Assez rare dans : Le sous-secteur de l'atlas La grande et la petite Kabylie De Skikda à la frontière tunisienne Tell constantinois
<i>Thymus guyoni</i>	Rare dans le sous-secteur des hauts plateaux algérois, oranais et constantinois
<i>Thymus pollidus</i>	Très rare dans le sous-secteur de l'atlas Saharien et constantinois
<i>Thymus hirtus</i>	Commun sauf sur le littoral
<i>Thymus glandulosus</i>	Très rare dans le sous-secteur des hauts plateaux algérois

II.3 Utilisations en médecine traditionnelle

Depuis l'Antiquité, les espèces du genre *Thymus* sont reconnues pour leurs propriétés stimulantes et toniques. Elles sont préconisées en cas de faiblesses organiques, notamment celles touchant le système nerveux (neurasthénie, dépression, apathie) et l'appareil circulatoire. Le thym figure parmi les plantes les plus employées comme épice et sous forme d'extraits possédant une puissante activité antibactérienne et anti-inflammatoire dans la pharmacopée traditionnelle.

En médecine traditionnelle, cette plante est utilisée sous diverses formes :

Les feuilles sont consommées en infusion contre la toux et le rhume, en tisane tonique, ainsi qu'en décoction pour traiter les céphalées, l'hypertension et les gastrites. En usage externe, elles sont employées comme cicatrisants et antiseptiques.

L'huile essentielle de thym fait partie des dix essences les plus répandues dans le monde. Reconnue pour ses propriétés antiseptiques, elle est utilisée pour soigner les infections

pulmonaires telles que l'asthme et la bronchite. Son action antiseptique s'exerce également sur le système digestif, notamment en cas de diarrhée ; elle possède aussi des propriétés vermifuges.

Aujourd'hui, le thym est passé du statut de simple herbe traditionnelle à celui d'une phytothérapie rationnelle. Il constitue une source remarquable de fer, de calcium, de manganèse et de vitamine K, tout en améliorant la circulation sanguine et en stimulant l'organisme dans son ensemble. Récemment, cette plante a été recommandée comme agent de prévention du cancer (**Bora & Sharma, 2009**).

II.4 Effets indésirables

Le thym commun présente très rarement des effets indésirables tels que des allergies cutanées, des réactions d'hypersensibilité, des nausées ou des douleurs abdominales. Par précaution, son utilisation est contre-indiquée pendant la grossesse et l'allaitement, ainsi que chez les enfants de moins de quatre ans. Chez les personnes sous anticoagulants, une consommation modérée de thym est conseillée pour contrôler les apports en vitamine K, qui joue un rôle dans la coagulation (**EMA, 2013 ; Bora & Sharma, 2009**).

II.5 L'huile essentielle de *Thymus vulgaris*

II.5.1 Production et composition

L'extraction de l'huile essentielle de thym vulgaire s'effectue par distillation des sommités fleuries et des tiges florales. L'essence aromatique se présente généralement sous une teinte allant de l'incolore au brun clair. Son parfum, assez chaud et puissant, mêle des notes épicées et herbacées. La teneur en huile essentielle de la plante varie de 5 à 25 ml/kg, et sa composition dépend du chémotype considéré. Les feuilles de thym contiennent entre 0,2 et 2,5 % d'huile essentielle, dont la composition fluctue considérablement selon la zone de culture, la variété (cultivar) et surtout les conditions climatiques (chaleur, froid, sécheresse ou humidité). On distingue sept chémotypes ou races chimiques chez le thym : thymol, carvacrol, linalool, thuyanol, α -terpinéol, géraniol et p-cymène. En pharmacopée, ce sont exclusivement les parties aériennes du thym, notamment les feuilles et les fleurs séchées, qui sont utilisées. Le thym contient de nombreux composés, en particulier dans son huile essentielle : le thymol (puissant

anti-infectieux), le géraniol (antifongique et antiviral cutané), le linalool (antifongique efficace contre les candidoses et vermifuge), ainsi que le p-cymène (antalgique). La plante renferme également des flavonoïdes (apigénol et lutéolol), dotés de propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes. Le thym frais constitue par ailleurs une source importante de vitamine C, tandis que le thym séché est riche en calcium, manganèse et vitamine K (**Letchamo & Gosselin, 1995**).

II.5.2. Utilisations de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*

Parmi les plantes aromatiques les plus connues à travers le monde, *Thymus vulgaris* occupe une place de choix. Cette espèce est fréquemment utilisée aussi bien dans l'industrie alimentaire que dans la pharmacopée traditionnelle (**Miguel, 2010 ; Nazzaro et al., 2013**). L'huile essentielle qu'elle produit est valorisée en aromathérapie et dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (**EMA, 2013**). On la retrouve dans la composition de nombreuses préparations pharmaceutiques : pommades aux propriétés antiseptiques et cicatrisantes, émulsions, cataplasmes, gouttes, sirops, élixirs, gélules indiquées pour les affections respiratoires, ainsi que des solutions pour inhalation (**EMA, 2013 ; Miguel, 2010**).

Les vertus ethnopharmacologiques de *Thymus vulgaris* sont nombreuses. La plante est ainsi réputée pour ses actions stimulante, antiseptique, sédative, stomatique, antitussive, antispasmodique, antimicrobienne, antioxydante, anti-inflammatoire, antivirale, carminative, expectorante, diaphorétique et diurétique (**Bakkali et al., 2008**).

Etude expérimentale

CHAPITRE III

Matériel et Méthodes

III.1 Matériel

III.1.1 Matériel végétal

Les échantillons végétaux étudiés de thym (feuilles et fleurs) ont été acquis auprès d'un herboriste local. D'après les renseignements recueillis, ils sont issus d'une récolte réalisée en 2025 (Avril- Mai) dans la région de Bordj Bounaama, wilaya de Tissemsilt. Après la récolte, les échantillons ont été correctement séchés et conservés dans des conditions appropriées, à l'abri de l'humidité, de la lumière et des contaminants, ce qui a permis de préserver leur qualité jusqu'à leur utilisation.

III.2 Extraction des huiles essentielles de *Thymus vulgaris*

III.2.1 Extraction par hydrodistillation

L'obtention de l'huile essentielle a été réalisée par hydrodistillation, au moyen d'un appareil de type Clevenger. Pour ce faire, 100 g de matière végétale ont été introduits dans un ballon d'un litre contenant 750 mL d'eau distillée. Le mélange a ensuite été chauffé à l'aide d'un chauffe-ballon et maintenu à ébullition pendant une durée comprise entre 3 et 4 heures. L'huile ainsi récoltée a été déshydratée par ajout de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4). Enfin, elle a été conservée dans des récipients en verre teinté, à l'abri de la lumière, à une température de 4 °C.



Figure n°14: Dispositif d'extraction des huiles essentielles de *Thymus vulgaris*.

III.2.2 Calcul du rendement

Le rendement en huile essentielle, noté RHE, correspond au quotient de la masse d'huile extraite (M') par la masse initiale de végétal utilisé (M), selon la méthode décrite par Mursleen et al. (2021). Cette valeur, exprimée en pourcentage (%), est déterminée à partir de l'équation suivante : $RHE = (M' / M) \times 100$

Où RHE représente le rendement en huile essentielle (%), M' la masse d'huile essentielle (en grammes) et M la masse du matériel végétal (en grammes).

III.3 Procédés d'études microbiologiques

III.3.1 Souches bactériennes testées

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle a été réalisée sur trois souches bactériennes de référence, fournies par le laboratoire de microbiologie de la polyclinique de Mahdia (wilaya de Tiaret, Algérie). Les micro-organismes sélectionnés pour l'antibiogramme étaient *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* et *Staphylococcus aureus*. Le choix de ces souches a été guidé par leur pouvoir pathogène et leur fréquente responsabilité dans la détérioration des produits alimentaires. L'ensemble de ces souches a également été soumis à un test de sensibilité aux antibiotiques.

Tableau n° 5: Liste des souches bactériennes testées.

Souche	Gram	Code
<i>Escherichia coli</i>	Négatif	ATCC 25922
<i>Proteus mirabilis</i>	Négatif	ATCC 29906
<i>Staphylococcus aureus</i>	positif	ATCC 6538

III.3.2 Milieux de cultures utilisés

- Gélose nutritive
- Gélose Mueller-Hinton

III.3.3 Préparation de la suspension bactérienne

Pour préparer la suspension bactérienne, on utilise une culture fraîche âgée de 18 à 24 heures, cultivée sur gélose nutritive. Des colonies isolées appartenant aux souches ciblées sont prélevées et mises en suspension dans un tube à essai renfermant une solution aqueuse de NaCl à 0,9 % stérile. L'ensemble est ensuite homogénéisé avec soin.



Figure n°15: Liste des souches bactériennes testées

La standardisation de la concentration bactérienne repose sur l'ajustement de la turbidité de la suspension par rapport à un étalon de 0,5 McFarland, soit une densité de $1,5 \times 10^8$ UFC/mL.

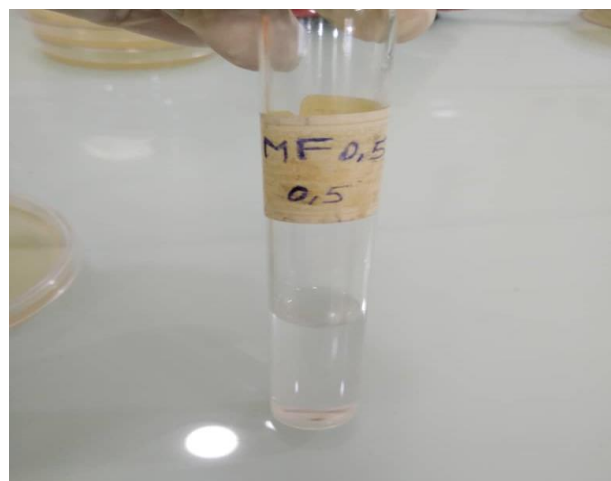


Figure n°16: Tube de comparaison de turbidité (standard 0,5 McFarland – $1,5 \times 10^8$ UFC/mL)

III.3.4 Étude de la sensibilité des souches vis-à-vis des antibiotiques (Antibiogramme)

La détermination de la sensibilité aux antibiotiques a été réalisée par la technique de diffusion à partir de disques sur gélose Mueller-Hinton, conformément à une procédure standard. Le Tableau n°06 recense l'ensemble des antibiotiques analysés.

Préalablement à l'application des disques, une suspension bactérienne dont la turbidité a été ramenée à 0,5 McFarland a été étalée de façon homogène sur la gélose à l'aide d'un écouvillon stérile. La surface inoculée a été séchée à l'air ambiant pendant 10 à 15 minutes (EUCAST, 2025). Les disques ont alors été posés sur la gélose à l'aide d'une pince stérile. Après refermeture des boîtes, une diffusion à température ambiante d'une heure a précédé l'incubation à 37°C pendant 24 à 48 heures.

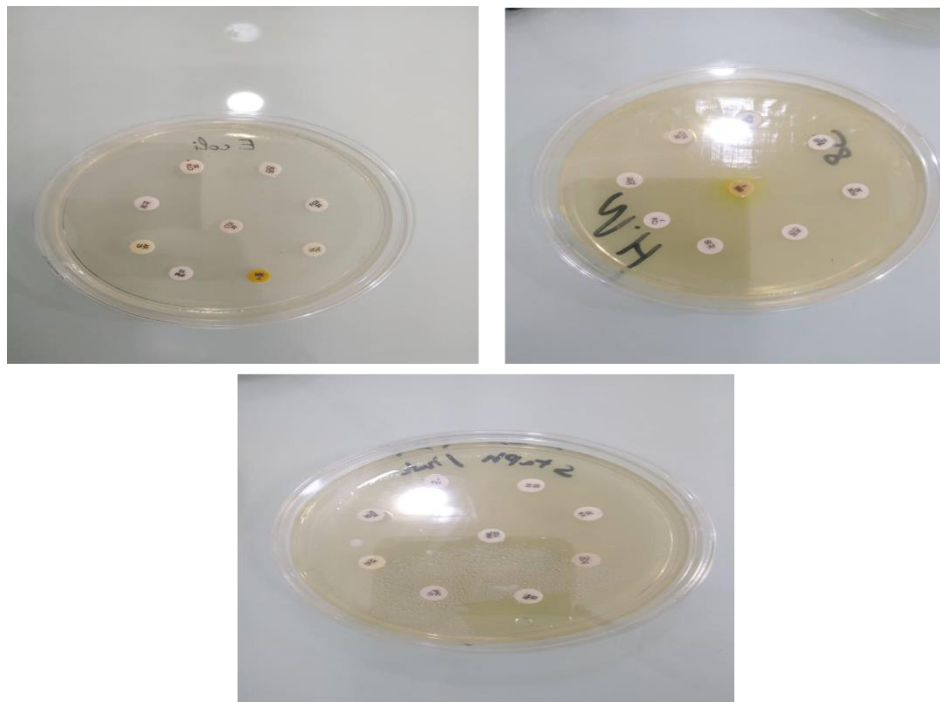


Figure n°17: Ensemencement bactérien de la gélose Muller-Hinton et dépôt des disques d'antibiotiques avant incubation.

Tableau n° 6: Les antibiotiques utilisés pour l'antibiogramme.**(American Society for Microbiology, 2009)**

Code	Antibiotique	Charge du disque en µg
F300	Nitrofurantoïne	300 µg
FF50	Fosfomycine	50 µg
OX1	Oxacilline	1 µg
TIC75	Ticarcilline	75 µg
CN120	Gentamicine	120 µg
FOX30	Cefoxitine	30 µg
AZM15	Azithromycine	15 µg
IPM10	Imipénème	10 µg
CTX30	Céfotaxime	30 µg
AX25	Amoxicilline	25 µg
PRL100	Piperacilline	100 µg
AM10	Ampicilline	10 µg
VA30	Vancomycine	30 µg
DO30	Doxycycline	30 µg

La détermination du profil de sensibilité de chaque souche bactérienne aux antibiotiques étudiés a été réalisée à partir de la mesure des diamètres des zones d'inhibition. Les résultats ont été interprétés selon la classification en trois catégories établie par **Matuschek et al. (2014)** : sensible (S), intermédiaire (I) ou résistant (R).

III.3.5 Etude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles

III.3.5.1 Aromatogramme

La méthode des puits repose sur le principe de diffusion des huiles essentielles dans un milieu gélosé contenu dans une boîte de Pétri. Elle a pour finalité de démontrer l'effet antibactérien de l'huile essentielle et de qualifier le comportement des bactéries (sensibilité ou résistance) face à ce composé naturel (Bouguerra et al., 2014).

Des orifices de 6 à 8 mm de diamètre ont été réalisés dans la gélose au moyen d'une pointe stérile. Chaque puits a reçu un volume défini d'huile essentielle. Les boîtes ont ensuite été incubées dans des conditions de croissance adaptées à la souche microbienne étudiée. L'agent antimicrobien, par sa diffusion progressive dans le milieu, empêche le développement de la bactérie testée (Balouiri et al., 2015).

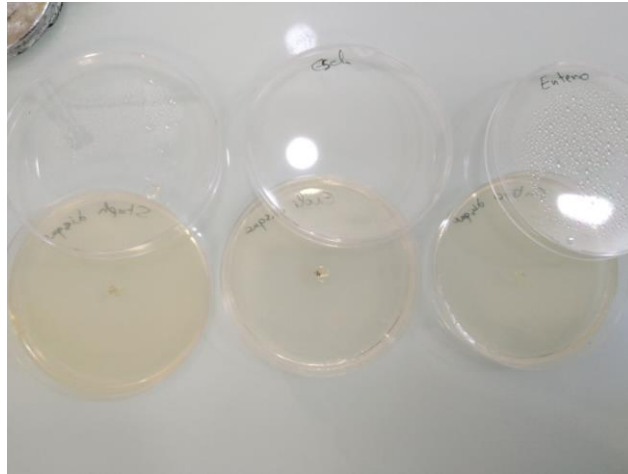


Figure n°18: Dépôt de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* dans les puits sur milieu Mueller-Hinton

Trois quantités différentes d'huile essentielle pure ont été testées : 50 μL , 100 μL et 200 μL . Ces volumes ont été versés dans les puits des boîtes de Pétri. Les préparations ont été maintenues 20 minutes à l'air ambiant pour favoriser la diffusion des composés bioactifs, puis placées à l'étuve à 37°C pour une incubation de 24 heures.

En utilisant des témoins comme contrôle négatif. On a mesuré en millimètres les diamètres des zones d'inhibition.

CHAPITRE IV

Résultats et Discussion

IV.1 Matériel végétal

IV.1.1 Rendement en huile essentielle (R)



Figure n°19: Rendement de l'extraction de l'huile essentielle obtenue à partir de *Thymus vulgaris*.

L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le Tableau n°07 ci-dessous.

Tableau n° 7: Pourcentage d'huile essentielle extraite de *Thymus vulgaris* par la méthode d'hydrodistillation.

Masse du matériel végétal utilisé en g	Volume d'eau distillée utilisé en ml	Masse des huiles essentielles extraites en g	Rendement en huile essentielle %	Rendement moyen en huile essentielle %
100g	750ml	1,4	1,4 %	1,2%
100g	750	1	1%	

Les données récapitulées dans le **Tableau n°07** démontrent que la production moyenne d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* dans notre expérimentation est de 1,2 %.

En effet, **Wafae Abdelli, 2019** a rapporté un rendement de 2,2 % pour des feuilles sèches récoltées à Mostaganem et 4,2 % pour celles de Tlemcen. De même, **Benhammouda Nesrine, 2025** a obtenu un rendement de 2,24 % d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* récoltées à Bord Bou arreridj extraite par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de Clevenger.

Les différences observées entre les rendements peuvent être attribuées à plusieurs facteurs tels que l'origine géographique de la plante, les conditions climatiques, le stade phénologique, l'état de la matière végétale (fraîche ou sèche) ainsi que les paramètres d'extraction utilisés. Ces

variations ont également été signalées dans plusieurs études sur les espèces du genre *Thymus* en Algérie.

IV.2 Étude de l'activité antimicrobienne

IV.2.1 L'Antibiogramme

Les figures illustrent l'évaluation de la sensibilité des bactéries grâce aux tests d'antibiogramme

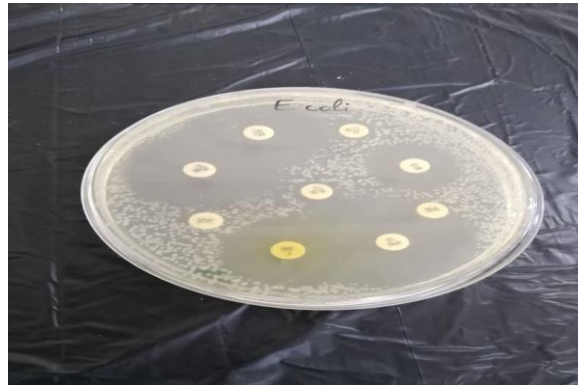


Figure n°20: Résultats de l'antibiogramme d'*Escherichia coli*



Figure n°21: Résultats de l'antibiogramme de *Staphylococcus aureus*

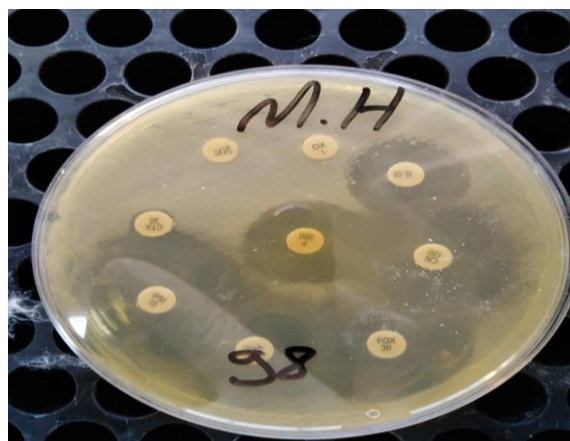


Figure n°22: Résultats de l'antibiogramme de *Proteus mirabilis*

Tableau n° 8: Mesures des diamètres (en millimètres) des zones d'inhibition issues de l'antibiogramme.

Bactérie	<i>Staphylococcus aureus</i> (mm)	<i>Proteus mirabilis</i> (mm)	<i>Escherichia coli</i> (mm)
Antibiotique	Diamètre de la zone d'inhibition (mm)		
Nitrofurantoïne	/	21	23
Fosfomycine	20	20	20
Oxacilline	10	00	/
Ticarcilline	/	00	00
Gentamicine	/	25	27
Cefoxitine	18	26	28
Azithromycine	/	27	/
Imipénème	33	29	38
Céfotaxime	/	00	00
Amoxicilline	17	/	00
Piperacilline	11	/	/
Ampicilline	00	/	/
Vancomycine	20	/	/
Doxycycline	18	/	/

- Diamètre < 10 mm : résistant (non sensible)
- Diamètre compris entre 10 et 14 mm : sensible
- Diamètre compris entre 15 et 20 mm : très sensible
- Diamètre > 20 mm: extrêmement sensible

Les données du tableau n°8 révèlent que l'activité antibactérienne des antibiotiques testés varie considérablement, avec des diamètres de zones d'inhibition oscillant entre 0 et 38 mm.

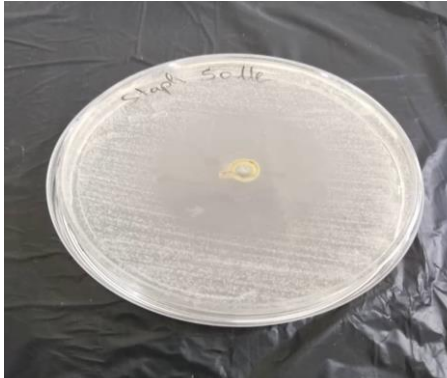
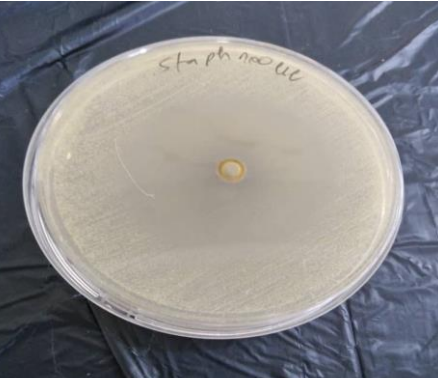
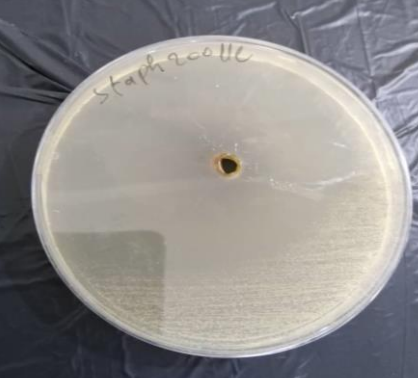
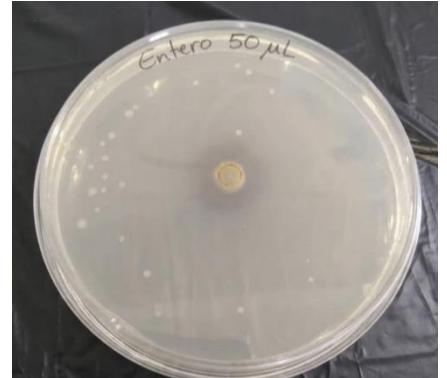
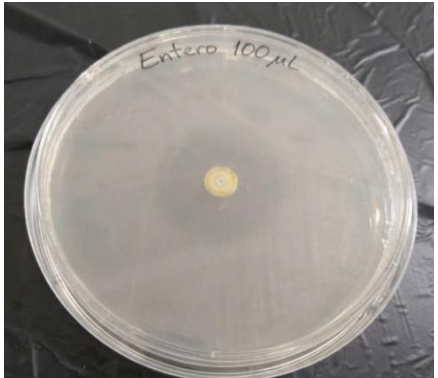
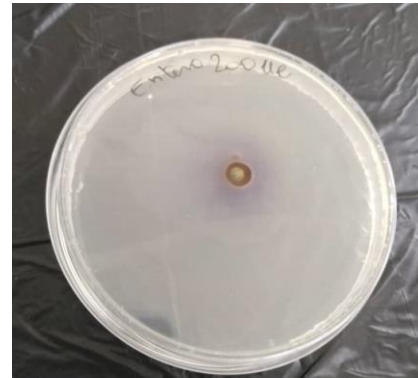
La souche *Staphylococcus aureus* est résistante à un seul antibiotique Ampicilline mais elle est sensible aux autres antibiotiques. Elle a enregistré la plus grande zone d'inhibition avec l'Imipénème (33 mm). La souche de *Proteus mirabilis* a démontré une résistance envers trois antibiotiques, à savoir l'oxacilline, la ticarcilline et le cefotaxime, tout en restant sensible aux autres types d'antibiotiques. On a noté la plus vaste zone d'inhibition avec Imipénème, atteignant (29 mm).

La souche d'*Escherichia coli* a démontré une résistance face à trois antibiotiques spécifiques, à savoir la ticarcilline, le cefotaxime et l'amoxicilline, tout en restant sensible aux autres antibiotiques. L'imipénème a montré la plus grande zone d'inhibition, mesurée à (38 mm).

IV.2.2 L'aromatogramme

Les données illustrées dans les tableaux ont été collectées en testant l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* grâce à la méthode de puits sur milieu gélosé.

Tableau n° 9: Résultats de l'aromatogramme.

		
Résultats de l'aromatogramme de <i>Staphylococcus aureus</i> avec 50 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>Staphylococcus aureus</i> avec 100 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>Staphylococcus aureus</i> avec 200 µL d'huile de thym.
		
Résultats de l'aromatogramme de <i>Proteus mirabilis</i> avec 50 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>Proteus mirabilis</i> avec 100 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>Proteus mirabilis</i> avec 200 µL d'huile de thym.
		
Résultats de l'aromatogramme de <i>E. coli</i> avec 50 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>E. coli</i> avec 100 µL d'huile de thym.	Résultats de l'aromatogramme de <i>E. coli</i> avec 200 µL d'huile de thym.

Selon la souche bactérienne étudiée, l'huile essentielle a produit des zones d'inhibition de diamètres variables.

Tableau n° 10: Résultats de l'aromatogramme exprimés en millimètres.

Bactérie	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Proteus mirabilis</i>	<i>Escherichia coli</i>
Volume	Diamètre de la zone d'inhibition (mm)		
T0	00	00	00
50 μ L	43	19	31
100 μ L	46	31	39
200 μ L	50	90	90

- Diamètre < 10 mm : résistant (non sensible)
- Diamètre compris entre 10 et 14 mm : sensible
- Diamètre compris entre 15 et 20 mm : très sensible
- Diamètre > 20 mm: extrêmement sensible

L'aromatogramme montre une activité antibactérienne significative dans l'huile essentielle étudiée, qui varie en fonction de la quantité utilisée et de la souche bactérienne évaluée. En général, une augmentation de la quantité d'huile essentielle entraîne une augmentation du diamètre de la zone inhibitrice, ce qui souligne une relation positive entre la dose et l'effet.

En ce qui concerne *Staphylococcus aureus*, aucune activité d'inhibition n'a été notée au niveau du témoin (T0 = 0 mm). Toutefois, l'utilisation de l'huile essentielle a provoqué des diamètres d'inhibition de 43 mm à 50 μ L, 46 mm à 100 μ L et 50 mm à 200 μ L. D'après les normes d'analyse en vigueur (>20 mm : hautement réceptif), cette variété démontre une sensibilité accrue à l'huile essentielle, reflétant une puissance notable des éléments bioactifs présents.

Concernant *Proteus mirabilis*, croissance graduelle avec 19 mm pour 50 μ L, 31 mm pour 100 μ L et 90 mm pour 200 μ L. Ces conclusions démontrent que l'action antibactérienne s'intensifie à mesure que le volume employé augmente, et que cette souche développe une sensibilité accrue aux concentrations élevées.

Ainsi, *Escherichia coli* n'a pas montré d'inhibition au niveau du témoin, alors que des zones d'inhibition significatives ont été notées suite au traitement (31 mm, 39 mm et 90 mm pour 50, 100 et 200 μ L respectivement). Cela prouve que l'huile essentielle a aussi une grande efficacité contre cette souche bactérienne.

La structure de la paroi cellulaire des bactéries peut rendre compte des variations de sensibilité observées entre ces dernières. Les bactéries Gram-positives, telles que *Staphylococcus aureus*, ont une structure cellulaire différente de celle des bactéries Gram-négatives comme *Escherichia coli* et *Proteus mirabilis*. Cela a un impact sur l'infiltration et l'efficacité des composés actifs présents dans l'huile essentielle. Ces molécules, y compris les terpènes, les composés phénoliques et d'autres métabolites secondaires, sont susceptibles de modifier l'intégrité des membranes, d'accroître la perméabilité cellulaire et de perturber les fonctions métaboliques des bactéries (**Burt, 2004**).

Les résultats de l'étude indiquent que l'huile essentielle analysée a une action antibactérienne notable et dépendante de la dose, manifestant une efficacité particulièrement forte pour les volumes les plus importants.

Conclusion

Conclusion

Les huiles essentielles sont des métabolites secondaires d'origine végétale caractérisés par une grande diversité chimique et biologique. Riches en terpènes et en composés oxygénés, elles possèdent de nombreuses propriétés physico-chimiques et biologiques qui expliquent leur utilisation dans plusieurs domaines tels que la médecine, l'agro-alimentaire, la cosmétique et l'agriculture.

Elles présentent également une activité antimicrobienne importante grâce à leur capacité à perturber la membrane cellulaire et les fonctions métaboliques des bactéries. Cependant, malgré leurs nombreux avantages, leur utilisation doit être maîtrisée en raison de leur possible toxicité et de la variabilité de leur composition chimique.

Le thym, *Thymus vulgaris*, apparaît comme une plante aromatique de grande importance biologique et médicinale. Son étude systématique, écologique et géographique montre qu'elle possède une large répartition et une remarquable adaptabilité aux conditions climatiques et édaphiques variées. Les usages traditionnels mettent en évidence son rôle dans le traitement de nombreuses affections, tandis que l'analyse de son huile essentielle révèle une richesse chimique diversifiée, dont les différents chémotypes conditionnent ses propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et thérapeutiques.

Ainsi, *Thymus vulgaris* constitue un élément clé de la pharmacopée naturelle, combinant potentiel thérapeutique, valeur nutritionnelle et intérêt économique. Sa compréhension approfondie ouvre la voie à son utilisation rationnelle dans les domaines de la santé, de l'alimentation et de l'aromathérapie, tout en soulignant la nécessité de maîtriser ses effets indésirables et contre-indications.

Ce travail souligne l'importance scientifique de continuer à explorer les huiles essentielles comme des substituts prometteurs aux antibiotiques, compte tenu des résultats obtenus. Pour conclure, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* pourrait, avec des études approfondies, trouver sa place dans une démarche phytothérapeutique moderne.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AFNOR. (2000). Recueil de normes : Les huiles essentielles (Tome 2). AFNOR.

Amara, N., et al. (2019). Activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits du Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*). Revue Agrobiologia, 9(2), 1669–1676.

American Society for Microbiology. (2009). Kirby-Bauer disk diffusion susceptibility test protocol. Washington, DC, USA: American Society for Microbiology.

Avalli, J. F. (2002). Caractérisation par CPG/IK, CPG/SM et RMN du carbone-13 d'huiles essentielles. Université de Corse Pascal Paoli.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446–475.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2015). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis, 6(2), 71–79.

Benayache, F. (2013). Étude phytochimique et biologique de l'espèce *Thymus numidicus* Poiret. Mémoire de Master, Université Frères Mentouri Constantine 1, Constantine, Algérie.

Benazzeddine, S. (2010). Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera ; Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera ; Tenebrionidae). Mémoire d'Ingénieur d'État en Sciences Agronomiques, École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), El Harrach, Alger, Algérie.

BENHAMMOUDA N. & BERKA K. (2025). Evaluation des propriétés antimicrobiennes des extraits et de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*. Mémoire de Master, Université Bordj Bou Arreridj, Algérie.

Bouquet, A. Plantes médicinales du Congo-Brazzaville : *Uvariopsis*, *Pauridiantha*, *Diospyros*. ORSTOM.

Bouguerra, A., Himed, L., & Barkat, M. (2014). Étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle extraite des écorces de *Citrus reticulata*. Nutrition & Santé, 3(1), 32–39.

Références bibliographiques

- Bora, K. S., & Sharma, A. (2009).** Phytochemical and pharmacological potential of *Thymus vulgaris*: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(5), 369–378.
- Brennecke, J. F., & Eckert, C. A. (1989).** Phase equilibria for supercritical fluid process design. *AIChE Journal*, 35(9), 1409–1427.
- Bruneton, J. (1987).** Éléments de phytochimie et de pharmacognosie. Technique et Documentation Lavoisier.
- Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3e éd. Paris : Tec & Doc – Lavoisier.
- Brunton, L. L., Hilal-Dandan, R., & Knollmann, B. C. (2018).** Goodman & Gilman's The pharmacological basis of therapeutics (13th ed.). McGraw-Hill.
- Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
- Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012).** Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13, 8615–8627.
- Chalal, C., & Salmi, O. (2018).** Étude de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Citrus sinensis* et *Mentha × piperita* L. en combinaison avec les antibiotiques (Mémoire de Master académique). Université Mouloud Mammeri – Tizi-Ouzou.
- Cianfaglione, K., et al. (2022).** Characterization of *Thymus vulgaris* subsp. *vulgaris* community by using a multidisciplinary approach: A case study from Central Italy. *Sustainability*, 14(3981). <https://doi.org/10.3390/su14073981>
- Cowan, M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>
- Croteau, F. (1986).** Biochemistry of monoterpenes and sesquiterpenes of the essential herbs, spices and medicinal plants. In *Recent advances in botany, horticulture and pharmacology* (Vol. 1). Oryx Press.

Références bibliographiques

- Davies, J., & Davies, D. (2010).** Origins and evolution of antibiotic resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(3), 417–433. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-10>
- Djedir, G. (2018).** Etude comparative entre deux espèces du Thym : *Thymus coloratus* et *Thymus capitatus* dans la région de Tlemcen : Aspect écologique, cartographique et morphométrique. Master, Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- Erman, W. F. (1985).** Chemistry of monoterpenes (Part B). Marcel Dekker.
- European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). (2025).** EUCAST disk diffusion method for antimicrobial susceptibility testing (Version 13.0).
- European Medicines Agency (EMA). (2013).** Assessment report on *Thymus vulgaris* L. and *Thymus zygis* L., herba. Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC), London.
- Fahed, L. (2016).** Diversité chimique et potentiel antimicrobien d'huiles essentielles de plantes libanaises. Thèse de doctorat, Liban, 174 p.
- Farhat, A. (2010).** *Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : Conception, optimisation et application*. Thèse de Doctorat, Université de Gabès, Tunisie.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005).** Modern food microbiology (7th ed., pp. 63–90, 101–125). Springer Science and Business Media.
- Kabouche, A. (2005).** Étude phytochimique de plantes médicinales appartenant à la famille des Lamiaceae. Thèse de Doctorat d'État en Chimie, Université Mentouri Constantine, Algérie, p. 277.
- Kim, N. S., & Lee, D. S. (2002).** *Journal of Chromatography A*, 982, 31.
- Letchamo, W., & Gosselin, A. (1995).** Effects of HPS supplemental lighting and soil water levels on growth, essential oil content and composition of two thyme (*Thymus vulgaris* L.) clonal selections. *Canadian Journal of Plant Science*, 75(1), 231–238.
- Lucchesi, M. E. (2005).** La distillation des huiles essentielles. Paris: Tec & Doc – Lavoisier.

Références bibliographiques

- Lucchesi M.E, 2005.** Extraction sans solvant assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat en Sciences, discipline : Chimie. Université de la Réunion, Faculté des Sciences et Technologies.
- Lutz. (1940).** Bulletin de la Société de plantes à huile essentielle. *Chemical and Biology*, 22, 497.
- Matuschek, E., Brown, D. F. J., & Kahlmeter, G. (2014).** Development of the EUCAST disk diffusion antimicrobial susceptibility testing method and its implementation in routine microbiology laboratories. *Clinical Microbiology and Infection*, 20(4), O255–O266.
- Miguel, M. G. (2010).** Chemical composition and biological activities of essential oils from *Thymus*: A review. *Food Chemistry*, 125(1), 144–151.
- Morin, Y. (1997).** *Petit Larousse de la médecine*. Paris : Larousse–Bordas. ISBN 2-03-501028-4, pp. 33–34.
- Mohamdi, Z. (2005).** Étude du pouvoir antioxydant des huiles essentielles et des flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, pp. 89–92.
- Mursleen, Y., et al. (2021).** Extraction of essential oil from river tea tree (*Melaleuca bracteata* F. Muell.): Antioxidant and antimicrobial properties. *Sustainability*, 13(9), 4827.
- Muylaert, A., & Mainil, J. G. (2012).** Résistances bactériennes aux antibiotiques : les mécanismes et leur « contagiosité ». *Annales de Médecine Vétérinaire*, 156, 109–123.
- Nazzaro, F., et al. (2013).** Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6, 1451–1474.
- Nicholas, H. J. (1973).** *Phytochemistry: Organic metabolites* (Vol. 2). Yonkers.
- Nikaido, H. (2009).** Multidrug resistance in bacteria. *Annual Review of Biochemistry*, 78, 119–146.
- Nixon, M., & McCaw, M. (2004).** *The Compleat distiller*. Amphora Society.

Références bibliographiques

Piochon, M. (2008). Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne : composition chimique, activités pharmacologiques et hémi-synthèse. Université du Québec à Chicoutimi.

Raul, L. H. O. (2005). Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combiné « solvant/actif » d'origine végétale. INP Toulouse.

Richard, J. A. (1999). Toxicology brief: essential oils. *Veterinary Medicine*, 94(2), 142–145.

Saadallah, H., Radjeh, B., & Dakhli, D. (2020). Les activités biologiques des constituants bioactifs de thym (*Thymus algeriensis*). Mémoire de Master, Jijel, Algérie.

Seu-Saberno, M., & Blakeway, J. (1984, mai). La mousse de chêne, une base de la parfumerie. *Pour la Science*, p. 83.

Singh, S. B., & Barrett, J. F. (2006). Empirical antibacterial drug discovery—foundation in natural products. *Biochemical Pharmacology*, 71(7), 1006–1015.

Stahl-Biskup, E., & Sáez, F. (2002). *Thyme: The Genus Thymus*. Medicinal and Aromatic Plants – Industrial Profiles, 352.

Teissedre, P. L., & Waterhouse, A. L. (2000). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3801–3805.

Verschaffelt. (1915). *Botanica*, 56, 536.

World Health Organization (WHO). (2014). Antimicrobial resistance: global report on surveillance. World Health Organization.

Yala, D., Merad, A. S., Mohamedi, D., & Ouar-Korich, M. N. (2001). Résistance microbienne aux antibiotiques. *Médecine du Maghreb*, n°91.