



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie
Département de Biologie



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN SCIENCES BIOLOGIQUES
Spécialité : **Microbiologie Fondamentale**

Par
MISSOUM AICHA
&
EL KETROUSSI HAKIM

Thème :

**Effet antibactérien et insecticide de huit huiles
essentielles de plantes et d'épices et de leur mixture**

Soutenue le 15/06/2026 devant le jury composé de :

Présidente	BELARBI Amaria	MCA	
Examinatrice	Kouadria Boujelthea Nacema	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur	BAHRI Fouad	Professeur	

Année Universitaire : 2025/2026

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

À mes très chers parents

Qui ont toujours été mon refuge, ma force et ma source d'inspiration.

À mon père

Mon premier soutien, celui qui a cru en moi à chaque étape de mon parcours. Merci pour tous les sacrifices consentis, pour votre patience, votre confiance et votre soutien indéfectible.

Votre présence à mes côtés a été une source inestimable de motivation et de courage. Je vous dois une grande part de cette réussite.

À mon amie de cœur Khaoula

Qui a toujours été un soutien précieux dans mes moments de faiblesse et qui est restée à mes côtés durant les périodes les plus difficiles de ma vie. Chaque fois que j'avais besoin d'elle, je la trouvais présente, prête à m'aider avec sincérité, générosité et bienveillance.

À Naïf

À celui qui m'a soutenue moralement et matériellement tout au long de ce parcours. Merci pour ta présence, ton aide et tes encouragements. Trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.

À toute ma famille

Ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont aidée, soutenue et accompagnée de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Je leur exprime ma profonde gratitude, mon respect et mon affection.

Aicha

Dédicace

Je dédie ce présent manuscrit

À mes chers parents

Aucune expression ne saurait traduire l'immensité de ma reconnaissance envers vous. Votre amour, vos sacrifices, votre patience et votre soutien constant ont toujours été ma plus grande force. Merci d'avoir cru en moi, de m'avoir guidé et encouragé tout au long de mon parcours. Ce mémoire est le fruit de vos efforts autant que des miens.

À mon épouse bien-aimée,

Pour sa patience, sa compréhension, son amour et son soutien permanent tout au long de ce parcours. Merci d'avoir partagé avec moi les moments de doute comme les instants de réussite. Ta présence a été une force précieuse dans l'accomplissement de ce travail.

À mes chers enfants,

Vous êtes ma plus belle source de bonheur, d'inspiration et d'espoir. Que ce travail soit pour vous un exemple de persévérance et de détermination.

À mes chers frères et sœurs

Pour votre affection, votre présence rassurante et vos encouragements continus.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire, Je leur exprime ma profonde gratitude.

Hakim



Remerciements

Avant tout, mes remerciements infinis sont adressés à Dieu le tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener ce travail à terme.

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon encadreur, **Pr. Bahri Fouad**, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations pertinentes, sa patience et ses encouragements ont contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à **Mme BELARBI Amaria**, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider cette soutenance.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à **Mme KOUADRIA Boujelthea Nacema**, Examinatrice, pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail ainsi que pour l'intérêt qu'elle lui a porté. Ses remarques et observations contribueront sans aucun doute à l'amélioration de ce mémoire.*

*J'adresse un remerciement tout particulier à **Mme Tahliati Amina**, ingénieure de laboratoire, pour son soutien constant, sa disponibilité, sa gentillesse ainsi que son aide précieuse tout au long de la réalisation de ce travail.*

Par ses conseils avisés, son accompagnement et ses encouragements, elle a grandement contribué au bon déroulement de cette étude. Je lui exprime ma profonde gratitude et ma sincère reconnaissance pour tout le soutien qu'elle m'a apporté.

*J'adresse mes sincères remerciements à **Dr. Hammoum Hakim** et **Dr. Arabi Abed**, pour leur soutien constant, leurs précieux conseils, leurs orientations judicieuses et leur disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail.*

Leurs encouragements, leur accompagnement et leurs recommandations ont été d'une grande aide et ont contribué de manière significative à l'aboutissement de cette étude. Je leur

exprime ma profonde gratitude et ma reconnaissance pour leur soutien indéfectible jusqu'à la finalisation de ce mémoire.

*J'adresse mes sincères remerciements à **M. Boukridiche Fethi** pour son soutien constant et son aide précieuse durant la réalisation de ce travail. Il n'a jamais hésité à me guider et à m'accompagner dans le travail de laboratoire chaque fois que j'en avais besoin. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.*

*J'adresse un remerciement tout particulier à ma chère amie **Faradjallah Nawal**, qui n'a jamais cessé de me soutenir tout au long de mes années d'études. Par sa présence, ses encouragements et son soutien constant, elle a été une source de motivation dans les moments difficiles. Je lui exprime toute ma gratitude et ma profonde reconnaissance.*

J'adresse également mes sincères remerciements à tous mes amis avec qui j'ai partagé de précieux moments au laboratoire. Les échanges, l'entraide et les connaissances acquises à leurs côtés ont grandement enrichi mon parcours académique et humain. Je leur souhaite beaucoup de réussite et de succès dans leurs projets futurs.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. À tous ceux qui m'ont apporté leur aide, leur soutien, leurs conseils ou simplement leurs encouragements, j'adresse ma plus sincère gratitude.

Que ce mémoire soit le témoignage de ma reconnaissance envers chacun d'eux.

Aicha

ملخص

أصبحت مقاومة البكتيريا للمضادات الحيوية تمثل مشكلة صحية متزايدة، مما أدى إلى التوجه نحو البحث عن بدائل طبيعية ذات خصائص مضادة للميكروبات، خاصة الزيوت الأساسية المستخلصة من النباتات الطبية والعطرية. في هذا الإطار، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا والنشاط المبيد للحشرات لعدة زيوت أساسية مستخلصة من نباتات عطرية وتوابل. شملت الدراسة الزيوت الأساسية المستخلصة من *Thymus vulgaris*, *Ammi visnaga*, *Mentha pulegium*, *Lavandula angustifolia*, *Citrus sinensis*, *Zingiber officinale*, *Cinnamomum verum* و *Syzygium aromaticum*، بالإضافة إلى خليط نباتي. تم استخراج الزيوت الأساسية بواسطة التقطير المائي والتقطير البخار باستعمال جهاز من نوع Clevenger، حيث أظهرت النتائج اختلافاً في مردود الزيوت الأساسية حسب نوع النبات وطريقة الاستخلاص، إذ سجلت *Lavandula angustifolia* أعلى مردود بنسبة 3.58%، في حين سجل *Zingiber officinale* أضعف مردود بنسبة 0.12%. كما أعطى زيت الخليط مردوداً قدره 2.84%، كما كشف التحليل الكيميائي النباتي عن وجود عدة مستقلبات ثانوية مثل الفلافونويدات، العفص، الكومارينات والسابونوزيدات، مع اختلاف توزيعها حسب النباتات المدروسة. أظهرت دراسة النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة العطروميتر فعالية معتبرة للزيوت الأساسية ضد السلالات البكتيرية المختبرة *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Moraxella catarrhalis* و *Streptococcus β -hémolytique*. وقد سجلت بعض الزيوت الأساسية، خاصة *Thymus vulgaris*, *Mentha pulegium* و *Cinnamomum verum*، مناطق تثبيط كبيرة، مما يدل على نشاط مضاد للبكتيريا مهم، في حين أبدت بعض السلالات مقاومة نسبية لبعض الزيوت الأساسية. كما بينت نتائج التركيز المثبط الأدنى (CMI) والتركيز القاتل الأدنى (CMB) فعالية جيدة لبعض الزيوت الأساسية، خاصة زيت *Thymus vulgaris* وزيت *Cinnamomum verum*، حيث أظهرت قيمة منخفضة ضد أغلب السلالات البكتيرية المدروسة، مما يدل على امتلاكها تأثيراً بكتيرياً قاتلاً.

ومن جهة أخرى، تم تقييم النشاط المبيد للحشرات للزيوت الأساسية ضد حشرة *Dactylopius opuntiae*، حيث أظهرت بعض الزيوت فعالية معتبرة في إحداث نفوق الحشرات بعد 24 ساعة من المعاملة. تشير هذه النتائج إلى أن الزيوت الأساسية المدروسة تمثل مصدراً طبيعياً واعدًا يمكن استغلاله كمضاد للبكتيريا ومبيد حيوي للحشرات، مع إمكانية استخدامها كبديل طبيعي للمواد الكيميائية التقليدية.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية؛ النباتات العطرية والطبية؛ النشاط المضاد للبكتيريا؛ النشاط المبيد للحشرات؛ العطروميتر؛ التركيز المثبط الأدنى (CMI)؛ التركيز القاتل الأدنى (CMB)؛ حشرة *Dactylopius opuntiae*.

Résumé

La résistance bactérienne aux antibiotiques constitue aujourd'hui un problème de santé publique de plus en plus préoccupant, ce qui a conduit les chercheurs à s'orienter vers la recherche d'alternatives naturelles possédant des propriétés antimicrobiennes, notamment les huiles essentielles extraites des plantes aromatiques et médicinales. Dans ce contexte, cette étude a été réalisée afin d'évaluer l'activité antibactérienne et insecticide de plusieurs huiles essentielles extraites de plantes aromatiques et d'épices. L'étude a porté sur les huiles essentielles de : *Thymus vulgaris*, *Ammi visnaga*, *Mentha pulegium*, *Lavandula angustifolia*, *Citrus sinensis*, *Zingiber officinale*, *Cinnamomum verum* et *Syzygium aromaticum*, ainsi qu'une mixture végétale. Les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation et distillation à la vapeur d'eau à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Les résultats ont montré une variation des rendements selon les plantes et les méthodes d'extraction. *Lavandula angustifolia* a présenté le rendement le plus élevé avec 3,58 %, tandis que *Zingiber officinale* a enregistré le rendement le plus faible avec 0,12 %. La mixture végétale a donné un rendement de 2,84 %. Le screening phytochimique a révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les tanins, les coumarines et les saponosides, avec une variation selon les espèces végétales étudiées. L'étude de l'activité antibactérienne par la méthode de l'aromatogramme a montré une activité importante des huiles essentielles contre les souches bactériennes testées : *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Moraxella catarrhalis* et *Streptococcus β -hémolytique*. Certaines huiles essentielles, notamment *Thymus vulgaris*, *Mentha pulegium* et *Cinnamomum verum*, ont présenté de larges zones d'inhibition traduisant une forte activité antibactérienne, alors que certaines souches ont montré une résistance relative vis-à-vis de quelques huiles essentielles. Les résultats des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) ont également mis en évidence une forte efficacité de certaines huiles essentielles, particulièrement celles de *Thymus vulgaris* et *Cinnamomum verum*, qui ont présenté les plus faibles valeurs contre la majorité des souches bactériennes étudiées, indiquant ainsi un effet bactéricide important. Par ailleurs, l'activité insecticide des huiles essentielles a été évaluée contre *Dactylopius opuntiae*, où certaines huiles ont montré une efficacité remarquable après 24 heures de traitement. Ces résultats montrent que les huiles essentielles étudiées représentent une source naturelle prometteuse pouvant être utilisée comme agents antibactériens et insecticides biologiques, avec la possibilité de les valoriser comme alternatives naturelles aux produits chimiques conventionnels.

Mots clés : Huiles essentielles ; Plantes aromatiques et médicinales ; Activité antibactérienne ; Activité insecticide ; Aromatogramme ; Concentration minimale inhibitrice (CMI) ; Concentration minimale bactéricide (CMB) ; *Dactylopius opuntiae*.

Abstract

Bacterial resistance to antibiotics has become an increasingly serious public health concern, leading researchers to investigate natural alternatives with antimicrobial properties, particularly essential oils extracted from aromatic and medicinal plants. In this context, the present study was carried out to evaluate the antibacterial and insecticidal activities of several essential oils extracted from aromatic plants and spices. The study focused on the essential oils of *Thymus vulgaris*, *Ammi visnaga*, *Mentha pulegium*, *Lavandula angustifolia*, *Citrus sinensis*, *Zingiber officinale*, *Cinnamomum verum*, and *Syzygium aromaticum*, as well as a plant mixture. The essential oils were extracted by hydrodistillation and steam distillation using a Clevenger-type apparatus. The results showed variations in extraction yields depending on the plant species and extraction method. *Lavandula angustifolia* showed the highest yield (3.58%), whereas *Zingiber officinale* presented the lowest yield (0.12%). The plant mixture gave a yield of 2.84%. Phytochemical screening revealed the presence of several secondary metabolites, including flavonoids, tannins, coumarins, and saponins, with variations according to the studied plant species. The antibacterial activity evaluated by the aromatogram method demonstrated significant inhibitory effects of the essential oils against the tested bacterial strains: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Moraxella catarrhalis*, and *Streptococcus β -hemolyticus*. Some essential oils, particularly *Thymus vulgaris*, *Mentha pulegium*, and *Cinnamomum verum*, exhibited large inhibition zones indicating strong antibacterial activity, whereas some bacterial strains showed relative resistance to certain oils. The determination of minimum inhibitory concentrations (MIC) and minimum bactericidal concentrations (MBC) also highlighted the strong effectiveness of some essential oils, especially *Thymus vulgaris* and *Cinnamomum verum*, which showed the lowest MIC and MBC values against most of the tested bacterial strains, indicating an important bactericidal effect. In addition, the insecticidal activity of the essential oils was evaluated against *Dactylopius opuntiae*, where some oils showed remarkable effectiveness after 24 hours of treatment. These findings suggest that the studied essential oils represent promising natural sources that could be used as antibacterial and biological insecticidal agents, with potential applications as natural alternatives to conventional chemical products.

Key words: Essential oils; Aromatic and medicinal plants; Antibacterial activity; Insecticidal activity; Aromatogram; Minimum inhibitory concentration (MIC); Minimum bactericidal concentration (MBC); *Dactylopius opuntiae*.

Table des matières

Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	

Introduction	1
--------------------	---

Partie Bibliographique

Chapitre 1. Huiles essentielles de plantes aromatiques, médicinales et d'épices : composition chimique et activités biologiques

1.1. Généralités sur les plantes aromatiques, médicinales et les épices	5
1.1.1. Plantes aromatiques et médicinales	5
1.1.2. Définition et importance des épices	5
1.2. Les huiles essentielles : origine et méthodes d'extraction.....	6
1.2.1. Définition des huiles essentielles	6
1.2.2. Localisation dans les végétaux	6
1.2.3. Méthodes d'extraction	6
○ Hydrodistillation	7
○ Distillation à la vapeur d'eau	7
○ Expression à froid	8
○ Extraction par solvants ou techniques assistées	8
1.3. Composition chimique des huiles essentielles	9
1.3.1. Principales familles chimiques.....	9
1.3.2. Composés majeurs des espèces étudiées.....	10
1.4. Facteurs influençant la composition des huiles essentielles.....	11
1.5. Propriétés biologiques des huiles essentielles	12
1.5.1. Activité antibactérienne	12
1.5.2. Activité antioxydante	12
1.5.3. Activité insecticides	12
1.6. Intérêt des mixtures d'huiles essentielles	13

Chapitre 2. Infections nosocomiales et potentiel antibactérien des huiles essentielles

2.1. Les infections nosocomiales.....	15
2.1.1. Définition	15
2.1.2. Principales sources de contamination	15
2.1.3. Principales bactéries responsables	16
2.2. Antibiotiques et antibiorésistance	17
2.2.1. Utilisation des antibiotiques	17
2.2.2. Mécanisme de résistance bactérienne	18
2.2.3. Multirésistance	19
2.3. Activité antibactérienne des huiles essentielles	19
2.3.1. Mécanismes d'action antibactérien	19
2.3.2. Rôle des principaux composés bioactifs	20
2.4. Applications des huiles essentielles dans le contrôle des infections nosocomiales.....	21

Chapitre 3. Cochenille du cactus *Dactylopius opuntiae* et potentiel insecticide des huiles essentielles

3.1. Généralités sur les ravageurs des cultures	24
3.2. La cochenille du cactus : <i>Dactylopius opuntiae</i>	24
3.2.1. Classification et description	24
3.2.2. Morphologie	25
3.2.3. Cycle biologique	25
3.2.4. Conditions de prolifération.....	26
3.3. Dégâts causés aux cactus	27
3.4. Méthodes de lutte contre la cochenille	28
3.4.1. Méthodes mécaniques et physiques	28
3.4.2. Lutte chimique	28
3.4.3. Lutte biologique	28
3.4.4. Limite des méthodes conventionnelles.....	29
3.5. Activité insecticides des huiles essentielles	29
3.5.1. Mécanismes d'action insecticide.....	29
3.5.2. Rôle des composés bioactifs	29
3.6. Intérêt des huiles essentielles contre la cochenille du cactus	30

Partie Expérimentale

Chapitre 4. Matériel & Méthodes

4.1. Matériel végétal.....	33
4.2. Extraction des huiles essentielles	33
4.2.1. Détermination du rendement des huiles essentielles	35
4.3. Screening phytochimique	35
4.4. Activité antibactérienne.....	36
4.4.1. Souches bactériennes utilisées.....	36
4.4.2. Milieux de culture utilisés	37
4.4.3. Vérification des souches	37
4.4.4. Préparation des disques	38
4.4.5. Préparation de l'inoculum	38
4.4.6. Aromatogramme.....	38
4.4.7. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	39
4.4.8. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)	40
4.5. Activité insecticide.....	40
4.5.1. Insecte étudié.....	40
4.5.2. Évaluation de l'activité insecticide par contact.....	40
4.5.3. Expression des résultats	41

Chapitre 5. Résultats & Discussion

5.1. Rendement en huiles essentielles	43
5.2. Screening phytochimique	45
5.3. Etude de l'activité antibactérienne	47
5.3.1. Vérification des souches	47
5.3.1.1. Examen macroscopique	47
5.3.1.2. Examen microscopique et test de catalase	49
5.3.2. Aromatogramme.....	50
5.3.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrice (CMI) et bactéricide (CMB)	54
5.4. Activité insecticide.....	55
5.4.1. Observation morphologique avant et après traitement.....	55

5.4.2. Taux de mortalité des insectes.....	57
Conclusion.....	60
Références bibliographiques	63
Annexes	72

Liste des Abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

HE : Huile essentielle

CMI : concentration minimale inhibitrice

CMB : concentration minimale bactéricide

DMSO : diméthylsulfoxyde

TTC : 2,3,5-triphényltétrazolum

MH : Mueller Hinton

Tv : *Thymus vulgaris*

Am : *Ammi visnaga*

Mp : *Mentha pulegium*

Org : *Citrus sinensis*

Zng : *Zingiber officinale*

Cin : *Cinnamomum verum*

Gir : *Syzygium aromaticum*

Mx : Mixture des plantes et épices

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre du tableau	Pages
Tableau 1	Plantes et épices utilisées	33
Tableau 2	Profil de résistance aux antibiotiques des souches bactériennes étudiées.	37
Tableau 3	Liste des souches bactériennes testées, leur source et leur coloration de Gram	37
Tableau 4	Rendements des huiles essentielles obtenues à partir des différentes plantes et épices étudiées	43
Tableau 5	Résultats du screening phytochimique des différentes plantes aromatiques et épices étudiées.	45
Tableau 6	Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) des huiles essentielles étudiées vis-à-vis des souches bactériennes testées.	50
Tableau 7	Activité antibactérienne du témoin positif (Azithromycine) vis-à-vis des souches bactériennes testées	51
Tableau 8	Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) des huiles essentielles étudiées vis-à-vis des souches bactériennes testées	54
Tableau 9	Valeurs de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) et Bactéricide (CMB) ($\mu\text{L/ml}$) des huiles essentielles.	55
Tableau 10	Comparaison des modifications morphologiques observées chez <i>Dactylopius opuntiae</i> avant et après traitement par les huiles essentielles	57

Liste des figures

N° de la figure	Titre de la figure	Pages
Figure 1	Schéma d'un montage classique d'hydrodistillation de type Clevenger	7
Figure 2	Schéma d'un montage d'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau	8
Figure 3	Morphologie du mâle et de la femelle de la cochenille <i>Dactylopius opuntiae</i>	25
Figure 4	Cycle biologique de <i>Dactylopius opuntiae</i>	26
Figure 5	Champ de figuier avant et après l'attaque de la cochenille <i>Dactylopius opuntiae</i>	27
Figure 6	Montage d'hydrodistillation de type Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles	34
Figure 7	Vapo-distillateur de type SPRING A 105 12 Litres utilisé pour l'extraction des huiles essentielles	35
Figure 8	Protocole expérimental de traitement de <i>Dactylopius opuntiae</i> par les huiles essentielles	41
Figure 9	Rendements d'extraction des huiles essentielles Obtenues (%)	43
Figure 10	Aspect macroscopique des différentes souches bactériennes étudiées	48
Figure 11	Aspect microscopique des souches bactériennes après coloration de Gram	49
Figure 12	Test de la catalase des souches bactériennes étudiées	50
Figure 13	Activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées contre les bactéries testées	51
Figure 14	Morphologie de <i>Dactylopius opuntiae</i> mâle avant et après traitement par les huiles essentielles	56
Figure 15	Morphologie de <i>Dactylopius opuntiae</i> femelle avant et après traitement par les huiles essentielles	56
Figure 16	Huiles essentielles des plantes et épices utilisées dans l'étude	73
Figure 17	Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur <i>Staphylococcus aureus</i>	73
Figure 18	Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	74
Figure 19	Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur <i>Moraxella catarrhalis</i>	74
Figure 20	Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur <i>Streptococcus β-hémolytique</i>	75
Figure 21	Résultat du témoin négatif (disques vierges) sur les souches bactériennes testées.	75
Figure 22	Détermination des concentrations minimale inhibitrices (CMI) des huiles essentielles	76
Figure 23	Détermination des concentrations minimale bactéricide (CMB) des huiles essentielles	76

Introduction

Introduction

Les infections bactériennes et la résistance aux antibiotiques représentent aujourd'hui un important problème de santé publique. Cette situation a conduit les chercheurs à s'orienter vers des alternatives naturelles comme les huiles essentielles, connues pour leurs propriétés antimicrobiennes grâce à leur richesse en composés bioactifs (Mammeri *et al.*, 2022 ; Boussena *et al.*, 2022). Les huiles essentielles suscitent un intérêt croissant grâce à leurs nombreuses propriétés biologiques, notamment leurs activités antibactériennes, antifongiques, antioxydantes et insecticides. Leur richesse en composés bioactifs leur confère un important potentiel thérapeutique et en fait une alternative naturelle prometteuse aux produits chimiques conventionnels (Bakkali *et al.*, 2008).

L'Algérie possède une flore riche et diversifiée comprenant de nombreuses plantes aromatiques et médicinales utilisées traditionnellement dans le traitement de plusieurs maladies. Ces plantes constituent une source importante de métabolites secondaires naturels présentant diverses activités biologiques et pharmacologiques (Boussena *et al.*, 2022).

Face à l'augmentation de la résistance des microorganismes aux antibiotiques et aux effets indésirables des produits chimiques, la recherche scientifique s'oriente actuellement vers l'utilisation de substances naturelles d'origine végétale, notamment les huiles essentielles, comme alternatives thérapeutiques et biologiques (Ouguirti *et al.*, 2021).

Dans ce cadre, la présente étude a été réalisée afin d'évaluer les propriétés biologiques des huiles essentielles extraites de différentes plantes aromatiques et épicées, à travers l'étude de leur activité antibactérienne contre plusieurs souches bactériennes, ainsi l'activité insecticide contre *Dactylopius opuntiae* (Bouharroud *et al.*, 2018).

Nous nous sommes intéressés dans notre étude aux plantes et épices suivants : *Thymus vulgaris* (زعتر), *Ammi visnaga* (نوخة), *Mentha pulegium* (فليو), *Lavandula angustifolia* (خزامى), *Citrus sinensis* (برتقال), *Zingiber officinale* (زنجبيل), *Cinnamomum verum* (قرفة) et *Syzygium aromaticum* (قرنفل), ainsi qu'à une mixture de huit plantes et épices. Cette mixture est traditionnellement utilisée à Mostaganem (Bahri *et al.*, 2025).

Notre mémoire est composé de trois parties :

1. Une analyse bibliographique consacrée aux plantes médicinales, aux huiles essentielles, aux bactéries pathogènes ainsi qu'à l'insecte *Dactylopius opuntiae* ;

2. Une partie matérielle et méthodes comprenant l'extraction des huiles essentielles, le screening phytochimique ainsi que l'étude des activités antibactérienne et insecticide ;
3. Une partie des résultats et discussion présentant les différents résultats obtenus et leur interprétation scientifique.

Partie Bibliographique

Chapitre 1

Huiles essentielles des plantes aromatiques,
médicinales et d'épices : composition chimique et
activités biologiques

1.1. Généralités sur les plantes aromatiques, médicinales et les épices

1.1.1. Plantes aromatiques et médicinales

Les plantes aromatiques sont des végétaux caractérisés par la production de substances odorantes responsables de leur arôme et de leur saveur (Pinto *et al.*, 2021). Substances volatiles, généralement présents sous forme d'huiles essentielles, ces composés sont localisés dans différentes parties de la plante telles que les racines, les feuilles, les fleurs, les fruits, les graines ou les écorces (Fierăscu *et al.*, 2021). Largement utilisées dans les industries alimentaire, cosmétique et pharmaceutique, les plantes aromatiques sont souvent associées aux plantes médicinales, définies comme des espèces végétales utilisées dans les systèmes de médecine traditionnels ou conventionnels pour prévenir, soulager ou traiter diverses affections (Aksoy, 2025). Elles constituent une source majeure de molécules bioactives ayant contribué au développement de nombreux médicaments.

L'intérêt économique et scientifique des plantes médicinales et aromatiques a fortement augmenté au cours des dernières décennies, notamment en raison de la demande croissante en composés naturels, huiles essentielles et substances bioactives destinés aux applications thérapeutiques, alimentaires et agro-industrielles (Mohammed *et al.*, 2025).

1.1.2. Définition et importance des épices

Les épices sont des substances aromatiques végétales obtenues à partir de différentes parties des plantes, telles que les graines, les fruits, les racines, les rhizomes, les écorces, les fleurs ou les bourgeons (Lampe, 2003). Elles sont principalement utilisées pour aromatiser, colorer et améliorer les qualités organoleptiques des aliments.

Au-delà de leur rôle gastronomique, les épices présentent un intérêt croissant en raison de leur richesse en composés bioactifs, notamment les polyphénols, flavonoïdes, terpènes, alcaloïdes et composés soufrés, qui leur confèrent diverses propriétés biologiques. Plusieurs études ont mis en évidence leurs activités antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et conservatrices, ce qui en fait des alternatives naturelles aux additifs synthétiques (De La Torre *et al.*, 2017).

En raison de ces multiples propriétés, elles constituent aujourd'hui un domaine d'intérêt majeur dans les recherches liées à la nutrition, à la santé et aux biotechnologies alimentaires.

1.2. Les huiles essentielles : origine et méthodes d'extraction

1.2.1. Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE) sont des mélanges complexes de composés organiques volatils produits naturellement par certaines plantes aromatiques. Elles sont caractérisées par leur odeur intense, leur nature lipophile et leur forte volatilité (Verma, 2012).

Selon l'organisation internationale de normalisation (ISO), une huile essentielle est définie comme un produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par distillation à l'eau ou à la vapeur d'eau, soit par procédés mécaniques appropriés (dans le cas des agrumes), sans modification chimique significative de sa composition (Dhifi *et al.*, 2016). Elles sont principalement constituées de métabolites secondaires appartenant aux familles des terpènes, terpénoïdes, composés phénoliques, alcools, aldéhydes, cétones, esters et éthers. Ces substances confèrent aux huiles essentielles leurs propriétés aromatiques ainsi que leurs diverses activités biologiques telles que les effets antimicrobiens, antioxydants, anti-inflammatoires et thérapeutiques (Dhifi *et al.*, 2016). Grâce à ces propriétés, les huiles essentielles trouvent de nombreuses applications dans les domaines pharmaceutique, cosmétique, alimentaire et agricole (Maurya *et al.*, 2021).

1.2.2. Localisation dans les végétaux

Les huiles essentielles sont synthétisées et accumulées dans des structures sécrétrices spécialisées, présentes dans différentes parties des plantes aromatiques. Leur localisation dépend de l'espèce végétale et de l'organe considéré. Elles peuvent être stockées dans des cellules sécrétrices isolées, des poches sécrétrices, des canaux sécréteurs, des cavités schizogènes ou lysigènes, ainsi que dans des trichomes glandulaires situés à la surface des feuilles, fleurs, fruits ou tiges (Rehman *et al.*, 2016). Chez plusieurs espèces, comme le romarin, la menthe ou le thym, les huiles essentielles sont principalement localisées dans les trichomes glandulaires foliaires (Kowalski *et al.*, 2019). Dans les Apiaceae, elles sont souvent présentes dans des canaux sécréteurs (Slavkovska *et al.*, 2022), tandis que chez les Rutaceae, elles se concentrent dans les poches sécrétrices des zestes d'agrumes (Wang *et al.*, 2024). La biosynthèse et l'accumulation des huiles essentielles sont influencées par divers facteurs tels que l'espèce végétale, le stade de développement, les conditions climatiques, la nature du sol et les conditions environnementales (Radzhabov *et al.*, 2023).

1.2.3. Méthodes d'extraction

L'extraction constitue une étape essentielle permettant l'isolement des huiles essentielles à partir de la matrice végétale tout en préservant leur composition chimique et leurs

propriétés biologiques. Plusieurs méthodes d'extraction sont utilisées selon la nature de la plante et les caractéristiques des composés recherchés.

○ **Hydrodistillation**

L'hydrodistillation représente l'une des techniques traditionnelles les plus employées pour l'extraction des huiles essentielles. La méthode consiste à immerger le matériel végétal dans l'eau puis à chauffer le mélange jusqu'à ébullition. Sous l'effet de la chaleur, les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau, condensés puis récupérés sous forme d'un distillat composé d'eau et d'huile essentielle. La séparation s'effectue ensuite grâce à la différence de densité entre les deux phases, généralement à l'aide d'un appareil de type Clevenger (Figure1) (Elyemni *et al.*, 2019). Cette technique présente l'avantage d'être relativement simple, économique et largement utilisée à l'échelle expérimentale. Cependant, une exposition prolongée à la chaleur peut entraîner la dégradation ou l'hydrolyse de certains composés thermosensibles (Damyeh *et al.*, 2016).

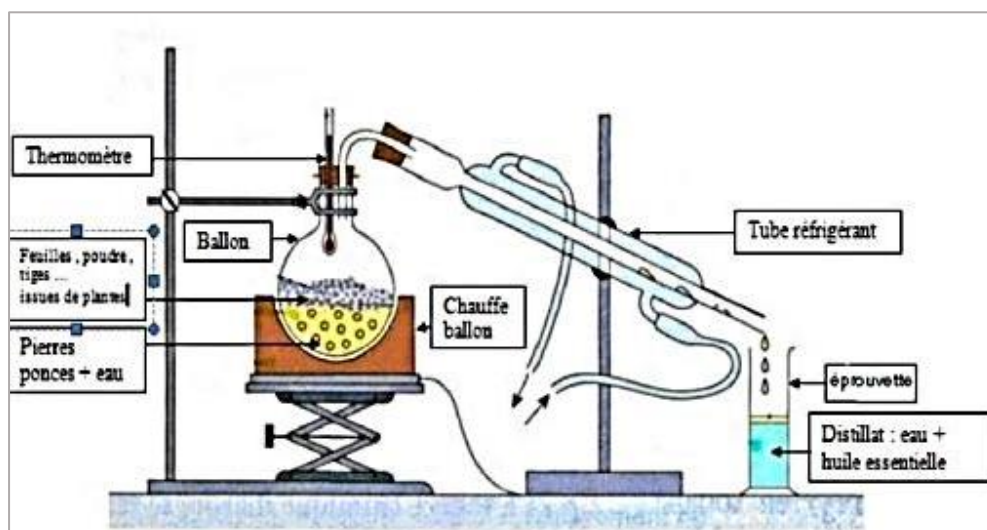


Figure 1. Schéma d'un montage classique d'hydrodistillation de type Clevenger.

○ **Distillation à la vapeur d'eau**

La distillation à la vapeur d'eau est une méthode couramment utilisée à l'échelle industrielle pour l'extraction des huiles essentielles. Contrairement à l'hydrodistillation, le matériel végétal n'est pas directement immergé dans l'eau ; il est traversé par un courant de vapeur d'eau qui entraîne les composés aromatiques volatils. Après condensation du mélange vapeur-huile, les différentes phases sont séparées pour récupérer l'huile essentielle (Filly *et al.*, 2016). Cette technique permet une meilleure préservation des molécules sensibles à la chaleur, limite les réactions d'hydrolyse et améliore généralement le rendement d'extraction. Elle est

particulièrement adaptée aux plantes aromatiques riches en composés volatils. La figure 2, présente un montage d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.

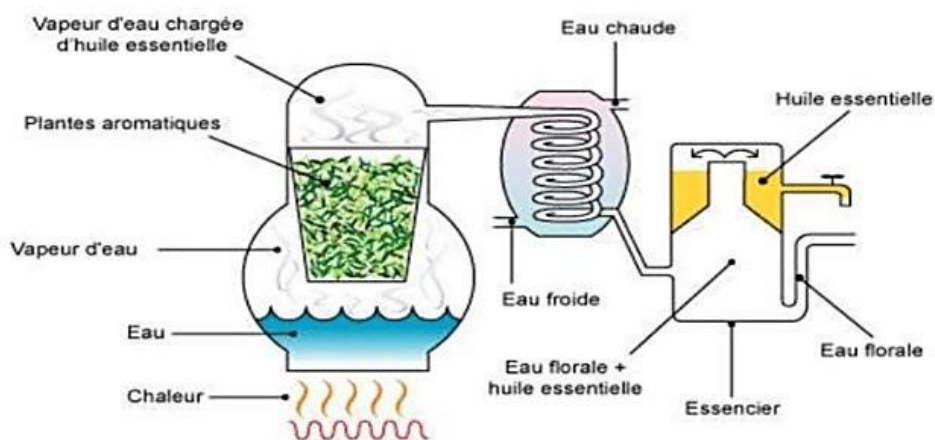


Figure 2. Schéma d'un montage d'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau.

○ Expression à froid

L'expression à froid, également appelée extraction mécanique, est principalement appliquée aux agrumes tels que l'orange, le citron ou la bergamote. Cette méthode consiste à exercer une pression mécanique sur les zestes afin de rompre les poches sécrétrices contenant les huiles essentielles. Le liquide obtenu est ensuite soumis à une séparation permettant d'isoler l'huile essentielle (Ferhat *et al.*, 2007). L'absence de chauffage constitue le principal avantage de cette technique, car elle favorise la conservation des caractéristiques organoleptiques et de l'intégrité chimique des composés volatils.

○ Extraction par solvants ou techniques assistées

Ce processus implique l'utilisation de solvants organiques pour dissoudre les composés aromatiques présents dans la matière végétale. Les produits de l'extraction par solvants peuvent inclure des huiles essentielles, des concrètes, des absolues ou des beurres, en fonction de la quantité de cires présentes dans le produit extrait. Une concrète est un extrait concentré qui peut ensuite être purifié pour obtenir une absolue (Marag *et al.*, 2019). Cette méthode d'extraction est particulièrement adaptée aux matières végétales fragiles ou pauvres en composés volatils, mais elle présente l'inconvénient de possibles résidus de solvants dans le produit final.

Parallèlement aux méthodes conventionnelles, plusieurs techniques d'extraction assistées ont été développées afin d'améliorer les rendements, réduire les temps d'extraction et préserver la qualité chimique des huiles essentielles. Parmi celles-ci figurent l'extraction

assistée par ultrasons, l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction au fluide supercritique, notamment au dioxyde de carbone supercritique (CO₂). Ces technologies modernes offrent une meilleure sélectivité, une réduction de la consommation énergétique et une limitation de la dégradation thermique des composés bioactifs (Putra *et al.*, 2025).

1.3. Composition chimique des huiles essentielles

1.3.1. Principales familles chimiques

Les huiles essentielles sont constituées de mélanges complexes renfermant plusieurs dizaines de composés chimiques, présents à des concentrations variables selon l'espèce végétale, l'origine géographique, les conditions environnementales et la méthode d'extraction utilisée (Radzhabov *et al.*, 2023). Ces constituants appartiennent principalement à la classe des métabolites secondaires végétaux et peuvent être regroupés en plusieurs familles chimiques majeures.

- Les terpènes et terpénoïdes constituent les composés les plus abondants dans les huiles essentielles (Masyita *et al.*, 2022). Ils sont biosynthétisés à partir d'unités isoprènes (C₅H₈) et sont généralement classés selon leur nombre d'unités isopréniques. Les monoterpènes (C₁₀), constitués de deux unités isoprènes, figurent parmi les composés les plus fréquents (Ahmad *et al.*, 2024). Ils peuvent être hydrocarburés, tels que l' α -pinène, le limonène et le γ -terpinène, ou oxygénés, tels que le linalol, le cinéole, le camphre et le menthol. En raison de leur forte volatilité, ils contribuent largement aux propriétés aromatiques et biologiques des huiles essentielles (Masyita *et al.*, 2022).
- Les sesquiterpènes (C₁₅), composés de trois unités isoprènes, constituent une autre famille importante. Ils incluent des hydrocarbures sesquiterpéniques tels que le β -caryophyllène et l'humulène, ainsi que des dérivés oxygénés comme le spathulénol et le caryophyllène oxyde. Comparativement aux monoterpènes, ils sont généralement moins volatils mais possèdent souvent des activités biologiques intéressantes, notamment anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes (Dhifi *et al.*, 2016).

Les huiles essentielles peuvent également contenir des composés phénoliques, reconnus pour leur forte activité biologique. Parmi les plus étudiés figurent le thymol, le carvacrol et l'eugénol, largement impliqués dans les propriétés antimicrobiennes et antioxydantes de nombreuses plantes aromatiques (Fuentes *et al.*, 2021). D'autres groupes chimiques tels que les alcools, aldéhydes, cétones, esters, oxydes et éthers aromatiques participent également à la diversité chimique des huiles essentielles et influencent leurs caractéristiques sensorielles, leur stabilité et leurs propriétés fonctionnelles (Moreira *et al.*, 2000).

1.3.2. Composés majeurs des espèces étudiées

Les espèces végétales étudiées se distinguent par une grande diversité de profils chimiques, dominés par des composés volatils appartenant principalement aux familles des monoterpènes, des sesquiterpènes, des composés phénoliques et des dérivés oxygénés.

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* est reconnue pour sa richesse en composés phénoliques et monoterpéniques. Les principaux constituants rapportés dans la littérature incluent généralement le thymol, le carvacrol, le p-cymène et le γ -terpinène. Toutefois, cette espèce présente une importante variabilité chimique caractérisée par l'existence de différents chémotypes, notamment les chémotypes à thymol, carvacrol, linalol ou géraniol (Ali *et al.*, 2011).

Chez *Ammi visnaga*, la composition chimique est particulière en raison de la présence notable de composés bioactifs appartenant principalement aux groupes des furanochromones, notamment la khelline et la visnagine (Khalil *et al.*, 2020). Son huile essentielle contient également plusieurs composés terpéniques et dérivés oxygénés tels que le linalol, le limonène, le camphène et d'autres monoterpènes (Kamal *et al.*, 2022).

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* est généralement caractérisée par une prédominance des monoterpènes oxygénés. Le pulégone est fréquemment identifié comme le composé majoritaire, accompagné de molécules telles que la menthone, l'isomenthone, le pipériténone et le limonène. Cette composition est responsable de l'arôme caractéristique de l'espèce ainsi que de ses activités antimicrobiennes, antioxydantes et insecticides rapportées dans plusieurs études (Messaoudi *et al.*, 2021).

Chez *Lavandula angustifolia*, les principaux composés chimiques appartiennent essentiellement à la famille des monoterpènes oxygénés. L'huile essentielle est habituellement dominée par le linalol et l'acétate de linalyle, associés à d'autres constituants tels que le terpinène-4-ol, le lavandulol et le 1,8-cinéole. Ces composés confèrent à la lavande son parfum caractéristique ainsi que ses propriétés relaxantes, antimicrobiennes et antioxydantes (Salehi *et al.*, 2018).

L'huile essentielle de *Citrus sinensis* est largement dominée par le limonène, souvent présent à des proportions très élevées. D'autres composés mineurs tels que le myrcène, le linalol, le β -pinène et le citral peuvent également être présents. Ces molécules contribuent aux propriétés aromatiques, antioxydantes et antimicrobiennes attribuées aux huiles essentielles d'agrumes (Bhandari *et al.*, 2021).

Parmi les épices étudiées, *Zingiber officinale* (gingembre) possède une composition chimique complexe associant composés volatils et composés phénoliques non volatils. Son

huile essentielle contient principalement des sesquiterpènes tels que le zingibérène, le β -sesquiphellandrène, le β -bisabolène et l' α -curcumène, tandis que les gingérols et shogaols représentent les composés phénoliques bioactifs majeurs responsables de plusieurs activités biologiques (Unuofin *et al.*, 2021).

Chez *Cinnamomum verum*, la composition de l'huile essentielle varie selon la partie végétale utilisée. L'écorce est généralement riche en cinnamaldéhyde, composé majeur responsable de l'arôme caractéristique de la cannelle, tandis que les feuilles contiennent souvent une proportion importante d'eugénol (Singh *et al.*, 2007). D'autres composés tels que le linalol, le benzaldéhyde et divers terpènes peuvent être présents à des concentrations variables (Phu *et al.*, 2022).

Enfin, *Syzygium aromaticum* (clou de girofle) est reconnu pour sa forte teneur en composés phénoliques. Son huile essentielle est majoritairement constituée d'eugénol, généralement accompagné d'acétate d'eugényle et de β -caryophyllène. Ces constituants sont largement responsables des puissantes propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, antiseptiques et conservatrices associées à cette épice (Barkha *et al.*, 2026).

1.4. Facteurs influençant la composition des huiles essentielles

La composition chimique des huiles essentielles est loin d'être constante et peut varier de manière significative en fonction de plusieurs facteurs biologiques, environnementaux et technologiques (Radzhabov *et al.*, 2023).

Parmi les facteurs biologiques, l'espèce végétale constitue l'élément le plus déterminant (Limam *et al.*, 2020), suivie du génotype et de l'existence de différents chémotypes, qui correspondent à des variations chimiques au sein d'une même espèce. Le stade phénologique de la plante (floraison, fructification, croissance végétative) influence également la teneur et la nature des composés volatils.

Les conditions environnementales jouent un rôle majeur dans la biosynthèse des métabolites secondaires. La température, l'intensité lumineuse, la pluviométrie, ainsi que la nature du sol et sa richesse en éléments minéraux peuvent modifier significativement le profil chimique des huiles essentielles (Portella *et al.*, 2021).

Les facteurs agronomiques tels que les pratiques culturales, la fertilisation, l'irrigation et la période de récolte influencent également la qualité et le rendement des huiles essentielles. Enfin, les conditions de stockage et de conservation du matériel végétal, ainsi que la méthode d'extraction utilisée, peuvent entraîner des modifications qualitatives et quantitatives des

composés, notamment par dégradation thermique ou oxydative de certaines molécules sensibles (Mugao, 2024).

1.5. Propriétés biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent un large éventail d'activités biologiques qui expliquent leur utilisation croissante dans les domaines pharmaceutique, alimentaire, cosmétique et agricole. Ces activités sont principalement liées à la richesse de leur composition en composés terpéniques et phénoliques.

1.5.1. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des huiles essentielles est attribuée à leur capacité à interagir avec la membrane cellulaire des bactéries, entraînant une altération de sa perméabilité, une fuite des constituants intracellulaires et une inhibition des fonctions enzymatiques essentielles. Les composés phénoliques tels que le thymol, le carvacrol et l'eugénol, ainsi que certains monoterpènes oxygénés comme le linalol et le cinéole, sont particulièrement impliqués dans cette activité. Les huiles essentielles peuvent agir à la fois sur les bactéries Gram positives et Gram négatives, bien que ces dernières soient généralement plus résistantes en raison de leur membrane externe riche en lipopolysaccharides (García-Salinas *et al.*, 2018).

1.5.2. Activité antioxydante

Les huiles essentielles possèdent également une activité antioxydante importante, liée à leur capacité à neutraliser les radicaux libres et à inhiber les réactions d'oxydation lipidique. Cette propriété est principalement attribuée aux composés phénoliques et terpéniques capables de donner des atomes d'hydrogène ou des électrons aux radicaux libres, stabilisant ainsi les espèces réactives de l'oxygène.

L'activité antioxydante contribue à la protection des aliments contre le rancissement oxydatif et à la préservation de leur qualité nutritionnelle. Elle joue également un rôle important dans la protection des cellules biologiques contre le stress oxydatif impliqué dans diverses pathologies (Anthony *et al.*, 2012).

1.5.3. Activité insecticide

Les huiles essentielles présentent également des propriétés insecticides, répulsives et larvicides, ce qui les rend intéressantes dans la lutte biologique contre les insectes nuisibles. Ces effets sont liés à la présence de composés volatils capables d'agir sur le système nerveux des insectes ou de perturber leurs fonctions physiologiques.

Les monoterpènes tels que le limonène, le camphre, le menthol et le pulegone, ainsi que certains sesquiterpènes, ont montré une efficacité notable contre divers insectes et larves. Ces propriétés permettent d'envisager les huiles essentielles comme alternatives naturelles aux insecticides chimiques conventionnels, plus respectueuses de l'environnement (Kumar *et al.*, 2022).

1.6. Intérêt des mixtures d'huiles essentielles

L'association de différentes huiles essentielles en mélanges constitue une stratégie innovante visant à améliorer leur efficacité biologique et à élargir leur spectre d'action. Ces mélanges permettent souvent d'obtenir des effets synergiques, où l'activité combinée des huiles est supérieure à la somme de leurs effets individuels (Zhu *et al.*, 2025). Cette synergie peut se traduire par une augmentation de l'activité antimicrobienne, antioxydante ou insecticide, ainsi qu'une réduction des concentrations nécessaires pour obtenir un effet biologique significatif (Sharma *et al.*, 2020). En outre, les mélanges peuvent contribuer à limiter le développement de résistances microbiennes en agissant sur plusieurs cibles cellulaires simultanément (Zhu *et al.*, 2025).

Sur le plan technologique, les mélanges d'huiles essentielles permettent également d'améliorer la stabilité des formulations et de moduler les propriétés organoleptiques. Dans le domaine alimentaire, ils sont particulièrement étudiés comme alternatives naturelles aux conservateurs synthétiques pour prolonger la durée de conservation des produits (Prakash et Kiran, 2016). Ainsi, l'utilisation combinée des huiles essentielles représente une approche prometteuse dans le développement de solutions naturelles à forte valeur ajoutée dans les secteurs alimentaire, pharmaceutique et agricole.

Chapitre 2

Infections nosocomiales et potentiel antibactérien des huiles essentielles

2.1. Les infections nosocomiales

2.1.1. Définition

Les infections nosocomiales sont définies comme des infections contractées au cours d'une hospitalisation ou d'une prise en charge sanitaire, qui n'étaient ni présentes ni en incubation au moment de l'admission du patient. Elles sont considérées comme telles lorsqu'elles apparaissent au moins 48 heures après l'hospitalisation, bien que ce délai puisse varier selon le type d'infection et les circonstances cliniques. Ces infections peuvent également survenir après la sortie du patient, notamment dans le cas des infections postopératoires ou des dispositifs médicaux implantables (Diouf *et al.*, 2007).

Les infections nosocomiales peuvent toucher divers sites anatomiques, notamment les voies urinaires, l'appareil respiratoire, le sang, les plaies chirurgicales et la peau. Leur apparition résulte souvent d'une interaction complexe entre l'agent pathogène, l'environnement hospitalier et la vulnérabilité du patient. Les personnes immunodéprimées, âgées, nouveau-nées ou atteintes de maladies chroniques présentent généralement un risque accru de contracter ce type d'infection (Chen *et al.*, 1997).

2.1.2. Principales sources de contamination

Les infections nosocomiales peuvent provenir de diverses sources de contamination présentes dans l'environnement hospitalier. Ces sources sont généralement classées en sources endogènes et exogènes, selon l'origine des microorganismes impliqués. La contamination endogène résulte de la flore microbienne propre au patient. Dans certaines circonstances, des microorganismes naturellement présents au niveau de la peau, des muqueuses, du tractus digestif ou des voies respiratoires peuvent devenir pathogènes lorsque les défenses immunitaires sont altérées ou lorsque les barrières physiologiques sont rompues à la suite d'interventions médicales ou chirurgicales (Čustović *et al.*, 2020).

La contamination exogène, quant à elle, provient de sources externes au patient. Le personnel soignant constitue l'un des principaux vecteurs de transmission, notamment par le biais des mains, du matériel médical contaminé ou du non-respect des règles d'hygiène hospitalière. L'environnement hospitalier peut également agir comme réservoir microbien, incluant les surfaces, les équipements médicaux, les instruments chirurgicaux, les systèmes de ventilation, les solutions antiseptiques ou encore l'eau utilisée dans les établissements de soins (Weber *et al.*, 2013).

Plusieurs procédures médicales invasives augmentent considérablement le risque de contamination. L'utilisation de cathéters vasculaires, de sondes urinaires, de ventilation

mécanique, d'implants chirurgicaux ou d'actes opératoires favorise l'introduction et la dissémination des agents infectieux dans l'organisme. Les unités de soins intensifs, les blocs opératoires et les services de réanimation sont particulièrement concernés en raison de la forte densité de patients vulnérables et de l'usage fréquent de techniques invasives (Vazquez-Aragon *et al.*, 2003). La transmission des agents pathogènes peut s'effectuer par différents mécanismes, notamment par contact direct, contact indirect via des objets contaminés, voie aérienne, gouttelettes respiratoires ou plus rarement par des sources alimentaires ou hydriques contaminées. Ainsi, le respect rigoureux des mesures d'hygiène, de désinfection, de stérilisation et de surveillance microbiologique demeure essentiel pour réduire la propagation des infections nosocomiales au sein des structures de soins.

2.1.3. Principales bactéries responsables

Les infections nosocomiales sont causées par une grande variété de microorganismes pathogènes, parmi lesquels les bactéries occupent une place prépondérante. Ces agents infectieux sont responsables de nombreuses infections hospitalières touchant différents organes et systèmes biologiques. Leur importance clinique est particulièrement liée à leur capacité d'adaptation à l'environnement hospitalier et au développement fréquent de mécanismes de résistance aux antibiotiques (Zou *et al.*, 2025).

Parmi les bactéries Gram positives, *Staphylococcus aureus* constitue l'un des principaux agents impliqués dans les infections nosocomiales (Huang *et al.*, 2019). Cette bactérie est fréquemment associée aux infections des plaies chirurgicales, aux bactériémies, aux pneumonies et aux infections liées aux dispositifs médicaux. Certaines souches, notamment *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM), représentent une préoccupation majeure en milieu hospitalier en raison de leur forte résistance thérapeutique (Huang *et al.*, 2019). D'autres bactéries Gram positives, telles que *Enterococcus faecalis* et *Enterococcus faecium*, sont également impliquées dans les infections urinaires, sanguines et intra-abdominales, particulièrement chez les patients hospitalisés de longue durée (Alkahtani *et al.*, 2025).

Les bactéries Gram négatives jouent également un rôle important dans les infections associées aux soins. *Escherichia coli* est fréquemment rencontrée dans les infections urinaires, les septicémies et certaines infections postopératoires. *Klebsiella pneumoniae*, connue pour sa capacité à produire des enzymes inactivant les antibiotiques, est souvent impliquée dans les infections respiratoires, urinaires et sanguines. *Pseudomonas aeruginosa* est particulièrement redoutée en milieu hospitalier en raison de sa forte résistance naturelle aux agents

antimicrobiens et de son aptitude à coloniser les équipements médicaux, provoquant notamment des pneumonies, infections cutanées et septicémies (Woods et Bryant, 2008).

D'autres espèces bactériennes telles que *Acinetobacter baumannii*, *Proteus mirabilis*, *Enterobacter cloacae* et certaines espèces du genre *Serratia* sont également fréquemment isolées dans les établissements de santé. Ces microorganismes sont souvent associés aux unités de soins intensifs et aux patients immunodéprimés, chez lesquels ils peuvent provoquer des infections sévères difficiles à traiter (Lockhart et al., 2007).

La prédominance de ces bactéries dans les milieux hospitaliers s'explique par leur grande capacité de survie sur les surfaces inertes, leur aptitude à former des biofilms et leur potentiel élevé de développement de mécanismes d'antibiorésistance, une situation qui souligne l'importance d'une surveillance microbiologique rigoureuse et du développement de nouvelles approches thérapeutiques, notamment l'exploration du potentiel antibactérien des huiles essentielles comme alternatives ou compléments aux antibiotiques conventionnels.

2.2. Antibiotiques et antibiorésistance

2.2.1. Utilisation des antibiotiques

Les antibiotiques constituent l'une des découvertes majeures de la médecine moderne et représentent un outil essentiel dans la prévention et le traitement des infections bactériennes. Ces substances naturelles, semi-synthétiques ou synthétiques possèdent la capacité d'inhiber la croissance des bactéries (effet bactériostatique) ou de provoquer leur destruction (effet bactéricide) (Lobritz et al., 2015). Depuis l'introduction de la pénicilline, les antibiotiques ont considérablement contribué à la réduction de la mortalité liée aux maladies infectieuses et à l'amélioration des pratiques médicales (Dhingra et al., 2020).

Dans les établissements de santé, les antibiotiques sont largement utilisés à des fins curatives, pour traiter les infections bactériennes confirmées, mais également à des fins préventives, notamment en prophylaxie chirurgicale ou chez les patients présentant un risque élevé d'infection. Leur administration repose généralement sur l'identification de l'agent pathogène, l'évaluation de sa sensibilité aux antimicrobiens ainsi que la gravité de l'infection (Akova, 2016). Plusieurs familles d'antibiotiques sont couramment employées en thérapeutique, notamment les β -lactamines, les aminoglycosides, les macrolides, les fluoroquinolones, les tétracyclines et les glycopeptides, chacune ciblant des mécanismes cellulaires spécifiques chez les bactéries. Cependant, l'utilisation excessive ou inappropriée des antibiotiques constitue aujourd'hui un problème majeur de santé publique. La prescription injustifiée, l'automédication, les traitements interrompus prématurément, les erreurs

posologiques et l'usage massif des antibiotiques en médecine vétérinaire et en agriculture contribuent fortement à l'émergence et à la dissémination de bactéries résistantes (Dorado-Garcia *et al.*, 2016). En milieu hospitalier, la pression de sélection exercée par l'exposition répétée aux antibiotiques favorise particulièrement l'apparition de souches bactériennes résistantes ou multirésistantes. Dans ce contexte, la recherche de nouvelles alternatives antimicrobiennes, notamment d'origine naturelle comme les huiles essentielles, suscite un intérêt croissant face à l'augmentation préoccupante de l'antibiorésistance.

2.2.2. Mécanisme de résistance bactérienne

La résistance bactérienne aux antibiotiques correspond à la capacité des bactéries à survivre et à se multiplier en présence de concentrations d'antimicrobiens normalement suffisantes pour inhiber ou détruire des souches sensibles. Ce phénomène peut être naturel (intrinsèque) ou acquis, et constitue aujourd'hui l'un des principaux défis de santé publique à l'échelle mondiale, notamment dans les environnements hospitaliers (Ferri *et al.*, 2017).

La résistance intrinsèque est une caractéristique naturelle de certaines espèces bactériennes, liée à leur structure ou à leur physiologie. Elle peut être due, par exemple, à l'imperméabilité de la membrane externe des bactéries Gram négatives, à l'absence de la cible de l'antibiotique ou encore à des systèmes d'efflux naturels permettant d'éliminer les substances toxiques (Zhang et Feng, 2016). À l'inverse, la résistance acquise résulte de modifications génétiques apparaissant au cours du temps, soit par mutations chromosomiques spontanées, soit par acquisition de gènes de résistance via des éléments mobiles tels que les plasmides, les transposons ou les intégrons (Russel, 2001).

L'un des mécanismes les plus fréquents est la modification de la cible antibiotique, rendant le médicament incapable de se fixer efficacement à son site d'action. Un autre mécanisme important est la production d'enzymes inactivant les antibiotiques, comme les β -lactamases capables d'hydrolyser les antibiotiques de la famille des β -lactamines (Wang *et al.*, 2025). Les bactéries peuvent également réduire la concentration intracellulaire de l'antibiotique grâce à des pompes d'efflux, qui expulsent activement les molécules antimicrobiennes hors de la cellule (Kumawat *et al.*, 2023). La formation de biofilms constitue également un mécanisme majeur de protection, car les bactéries organisées en mode de vie communautaire deviennent beaucoup plus tolérantes aux antibiotiques et aux défenses immunitaires de l'hôte (Wang *et al.*, 2023). L'ensemble de ces mécanismes peut agir de manière isolée ou combinée, conduisant à des niveaux élevés de résistance, voire de multirésistance, rendant certaines infections difficiles, voire impossibles à traiter avec les antibiotiques conventionnels.

2.2.3. Multirésistance

La multirésistance bactérienne correspond à la capacité d'une souche microbienne à résister simultanément à plusieurs classes d'antibiotiques appartenant à des mécanismes d'action différents (Vakayil *et al.*, 2020). Ce phénomène est particulièrement préoccupant en milieu hospitalier, où la pression antibiotique élevée favorise la sélection et la diffusion de bactéries hautement résistantes, compromettant ainsi l'efficacité des traitements disponibles.

Les bactéries dites multirésistantes (BMR) incluent notamment des espèces telles que *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM), les entérocoques résistants à la vancomycine (ERV), ainsi que plusieurs bacilles Gram négatifs producteurs de β -lactamases à spectre étendu (BLSE), comme *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* et *Acinetobacter baumannii* (Kılınç, 2025).

La multirésistance résulte de l'accumulation progressive de plusieurs mécanismes de résistance au sein d'une même bactérie. Cela peut inclure la production d'enzymes inactivant différents antibiotiques, des modifications multiples des cibles cellulaires, une augmentation de l'activité des pompes d'efflux et une réduction de la perméabilité membranaire. De plus, les échanges génétiques horizontaux jouent un rôle central dans la diffusion rapide des gènes de résistance entre différentes espèces bactériennes, facilitant ainsi l'émergence de souches hautement résistantes (Bîrluțiu et Birlutiu, 2025).

L'impact clinique de la multirésistance est considérable, car elle limite fortement les options thérapeutiques disponibles et entraîne souvent le recours à des antibiotiques de dernière ligne, plus toxiques et plus coûteux. Elle est également associée à une augmentation de la durée d'hospitalisation, des complications infectieuses et du taux de mortalité. Face à cette situation préoccupante, la recherche de solutions alternatives ou complémentaires aux antibiotiques devient essentielle.

2.3. Activité antibactérienne des huiles essentielles

2.3.1. Mécanismes d'action antibactérien

Les huiles essentielles exercent une activité antibactérienne complexe et multi-cible, ce qui constitue l'un de leurs principaux avantages par rapport aux antibiotiques classiques. Leur efficacité est principalement attribuée à la diversité de leurs composés chimiques, notamment les monoterpènes, sesquiterpènes et composés phénoliques, capables d'interagir avec plusieurs structures cellulaires bactériennes simultanément (Ghédira, 2024).

L'un des principaux mécanismes d'action repose sur la perturbation de la membrane cellulaire bactérienne. Les composés lipophiles des huiles essentielles peuvent s'insérer dans la

bicouche lipidique, entraînant une altération de sa structure et une augmentation de sa perméabilité. Cette perturbation provoque une fuite des ions, des protéines et des métabolites essentiels, conduisant à un déséquilibre cellulaire et, à terme, à la mort de la bactérie (Ghédira, 2024).

Les huiles essentielles peuvent également inhiber les systèmes enzymatiques essentiels à la survie bactérienne. Certains composés interfèrent avec les enzymes impliquées dans la production d'énergie, la synthèse de la paroi cellulaire ou la réplication de l'ADN (El-Sakhawy *et al.*, 2026). Cette inhibition enzymatique perturbe les fonctions métaboliques vitales et limite la croissance bactérienne.

Un autre mécanisme important est l'altération du quorum sensing, un système de communication interbactérienne impliqué dans la régulation de la virulence et la formation de biofilms. En perturbant ce système, les huiles essentielles peuvent réduire la capacité des bactéries à coordonner leur comportement, diminuant ainsi leur pathogénicité et leur résistance collective (Ghédira, 2024).

Les huiles essentielles peuvent également inhiber la formation de biofilms ou favoriser leur désorganisation. Étant donné que les bactéries en biofilm présentent une résistance accrue aux antibiotiques et aux défenses immunitaires, cette action représente un avantage thérapeutique majeur, notamment dans le contexte des infections nosocomiales. Enfin, certains composés peuvent induire un stress oxydatif intracellulaire en favorisant la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), entraînant des dommages aux protéines, aux lipides et à l'ADN bactérien (El-Sakhawy *et al.*, 2026). L'ensemble de ces mécanismes, souvent synergétiques, explique la large efficacité des huiles essentielles contre différentes souches bactériennes, y compris certaines bactéries multirésistantes.

2.3.2. Rôle des principaux composés bioactifs

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est attribuée à la présence de composés bioactifs, principalement, des terpènes, des terpénoïdes et des composés phénoliques. Ce sont des mélanges complexes de composés, qui agissent de manière synergique, contribuant à l'efficacité des huiles essentielles et à leur large spectre d'action contre différents microorganismes pathogènes (Masyita *et al.*, 2022).

Les composés phénoliques, tels que le thymol, le carvacrol et l'eugénol, figurent parmi les agents antibactériens les plus puissants. Leur structure chimique leur confère une forte affinité pour les membranes lipidiques, entraînant une désorganisation de la bicouche membranaire bactérienne. Cette interaction provoque une fuite des constituants cellulaires et

une inhibition des fonctions vitales, expliquant leur activité marquée contre de nombreuses bactéries Gram positives et Gram négatives ([García-Salinas et al., 2018](#)).

Les monoterpènes oxygénés, notamment le linalol, le menthol, le camphre et le 1,8-cinéole, jouent également un rôle important dans l'activité biologique des huiles essentielles. Ces composés présentent des propriétés lipophiles leur permettant de pénétrer facilement les membranes cellulaires et d'altérer la perméabilité bactérienne. Bien que généralement moins actifs que les composés phénoliques, ils contribuent de manière significative à l'effet global, notamment par des interactions synergiques ([Masyita et al., 2022](#)).

Les sesquiterpènes, tels que le β -caryophyllène et le zingibérène, contribuent également à l'activité antibactérienne, bien que leur mécanisme d'action soit encore partiellement élucidé. Ils sont souvent associés à des effets anti-inflammatoires et modulateurs de la virulence bactérienne, renforçant ainsi l'intérêt pharmacologique des huiles essentielles.

Par ailleurs, les composés présents dans certaines épices, comme le cinnamaldéhyde (cannelle) ou l'allyle eugénol (clou de girofle), présentent une forte activité antimicrobienne en raison de leur capacité à réagir avec les protéines cellulaires et les enzymes bactériennes, entraînant une inhibition de leurs fonctions biologiques essentielles ([García-Salinas et al., 2018](#)).

L'efficacité des huiles essentielles ne repose pas uniquement sur un composé majeur, mais plutôt sur l'interaction synergique entre plusieurs constituants chimiques, qui agit sur différentes cibles bactériennes. Cette complexité chimique constitue un avantage majeur face au développement de résistances bactériennes, car elle réduit la probabilité d'adaptation microbienne ([Zhu et al., 2025](#)).

2.4. Applications des huiles essentielles dans le contrôle des infections nosocomiales

Les huiles essentielles suscitent un intérêt croissant en tant qu'agents naturels potentiels pour la prévention et le contrôle des infections nosocomiales, en raison de leurs propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales. Leur richesse en composés bioactifs leur confère une efficacité polyvalente, capable d'agir sur différents types de microorganismes impliqués dans les infections associées aux soins ([Ainseba et al., 2024](#)).

Les huiles essentielles peuvent être utilisées comme agents antiseptiques et désinfectants naturels pour la réduction de la charge microbienne sur les surfaces inertes, les dispositifs médicaux et dans l'environnement hospitalier. Certaines huiles essentielles, notamment celles riches en phénols et monoterpènes oxygénés, ont montré une efficacité significative contre des bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*

et *Pseudomonas aeruginosa*, fréquemment impliquées dans les infections nosocomiales (Ainseba *et al.*, 2024).

Les huiles essentielles peuvent également être intégrées dans des formulations destinées à l'hygiène des mains, élément central dans la prévention de la transmission croisée des agents pathogènes en milieu hospitalier. Leur incorporation dans des gels, solutions hydroalcooliques ou savons antiseptiques permet d'améliorer l'efficacité antimicrobienne tout en limitant l'utilisation excessive de composés chimiques synthétiques. Par ailleurs, des applications innovantes sont explorées dans le domaine des revêtements médicaux et biomatériaux, où les huiles essentielles ou leurs composés actifs peuvent être incorporés dans des surfaces antimicrobiennes destinées à réduire la formation de biofilms sur les cathéters, implants ou dispositifs intravasculaires. Cette approche est particulièrement prometteuse dans la lutte contre les infections liées aux dispositifs médicaux (Cruz *et al.*, 2024).

Les huiles essentielles peuvent également être utilisées comme agents complémentaires aux antibiotiques, dans le but d'améliorer leur efficacité et de réduire les doses nécessaires. Certaines études ont mis en évidence des effets synergiques entre huiles essentielles et antibiotiques conventionnels, permettant de restaurer la sensibilité de certaines souches bactériennes résistantes (Drioiche *et al.*, 2024).

Cependant, malgré leur potentiel, l'utilisation des huiles essentielles en milieu clinique doit prendre en compte plusieurs limites, notamment leur variabilité chimique, leur possible toxicité à fortes concentrations, ainsi que la nécessité de standardisation des formulations.

Chapitre 3

Cochenille du cactus *Dactylopius opuntiae* et
potentiel insecticide des huiles essentielles

3.1. Généralités sur les ravageurs des cultures

Les ravageurs des cultures constituent un ensemble diversifié d'organismes vivants capables d'affecter négativement la croissance, le développement et la productivité des plantes cultivées. Ils représentent l'un des principaux facteurs limitant la production agricole mondiale, avec des pertes estimées pouvant atteindre une part significative des rendements annuels selon les systèmes de culture et les conditions environnementales (Oerke, 2006). Ces organismes comprennent principalement les insectes phytophages, mais également les acariens, les nématodes, les mollusques et certains vertébrés herbivores (Sparks et Nauen, 2015).

Les insectes constituent le groupe de ravageurs le plus important en raison de leur grande diversité taxonomique, leur plasticité écologique et leur capacité d'adaptation rapide aux changements environnementaux (Isman, 2006). Leur succès évolutif est également lié à leur forte fécondité, leur cycle de vie court et leur aptitude à développer des mécanismes de résistance face aux méthodes de lutte mises en place (Sparks et Nauen, 2015). Les dommages causés par ces ravageurs peuvent être directs, par la consommation des tissus végétaux (feuilles, tiges, racines, fruits), ou indirects, par la transmission de pathogènes ou la création de portes d'entrée pour les infections secondaires (Oerke, 2006).

Sur le plan agronomique, les ravageurs entraînent une diminution de la photosynthèse, une perturbation des fonctions physiologiques des plantes et une altération de la qualité des récoltes. Dans les systèmes agricoles intensifs, leur gestion représente un enjeu majeur nécessitant la mise en œuvre de stratégies de lutte intégrée combinant différentes approches biologiques, chimiques et écologiques (Hajek et Eilenberg, 2018).

3.2. La cochenille du cactus : *Dactylopius opuntiae*

3.2.1. Classification et description

Dactylopius opuntiae est un insecte hémiptère appartenant à la famille des Dactylopiidae, connu pour être un ravageur spécifique des cactus du genre *Opuntia*. Il est considéré comme l'un des principaux ravageurs responsables de la dégradation des plantations de figuier de Barbarie dans les régions Méditerranéennes (Mazzeo *et al.*, 2018). Son caractère hautement spécialisé vis-à-vis de son hôte en fait une espèce particulièrement efficace dans la colonisation des cactus (Asaad *et al.*, 2025).

Cet insecte est de type piqueur-suceur et se nourrit de la sève élaborée des cladodes (Mazzeo *et al.*, 2018). Les femelles, sessiles à l'âge adulte, restent fixées sur la plante hôte et constituent la phase la plus destructrice du cycle biologique (Palafox-Luna *et al.*, 2018). Les

mâles, quant à eux, sont mobiles à l'état adulte mais ne se nourrissent pas et ont une durée de vie très limitée, leur rôle étant essentiellement reproducteur (Asaad *et al.*, 2025).

3.2.2. Morphologie

La morphologie de *Dactylopius opuntiae* varie selon les stades de développement, avec un dimorphisme sexuel marqué. Les femelles adultes présentent un corps ovale à arrondi, de coloration rouge à pourpre due à la présence de pigments anthraquinoniques, notamment l'acide carminique (voir Figure 3). Cette coloration est souvent masquée par une sécrétion cireuse blanche qui recouvre le corps et assure une protection contre la dessiccation, les prédateurs et les conditions climatiques défavorables (Mazzeo *et al.*, 2018).

Les mâles adultes sont de petite taille, ailés et possèdent une morphologie très différente des femelles (voir Figure 3). Ils sont dépourvus de pièces buccales fonctionnelles, ce qui les rend incapables de se nourrir à l'état adulte. Leur durée de vie est donc très courte, limitée à quelques jours, le temps de localiser et de féconder les femelles (Asaad *et al.*, 2025). Les larves, appelées « crawler », constituent le seul stade réellement mobile et jouent un rôle central dans la dispersion de l'espèce sur les cactus hôtes (Foxcroft et Hoffmann, 2000).

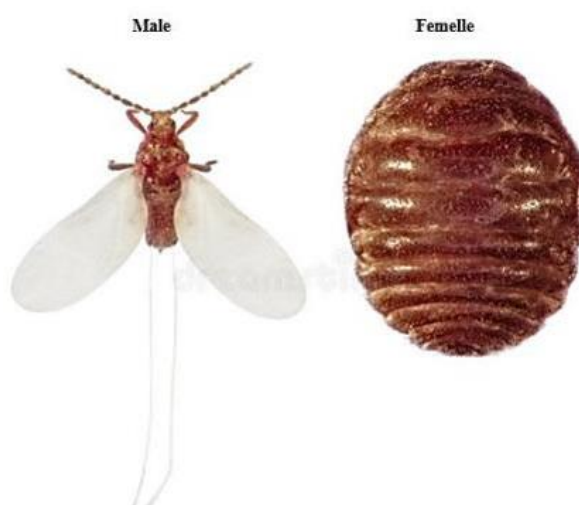


Figure 3. Morphologie du mâle et de la femelle de la cochenille *Dactylopius opuntiae*
(El Aalaoui *et al.*, 2020)

3.2.3. Cycle biologique

Le cycle biologique de *Dactylopius opuntiae* comprend plusieurs stades de développement : œuf, larve mobile (crawler), stades nymphaux et stade adulte. Après l'éclosion, les larves se déplacent activement à la surface du cactus afin de trouver un site d'installation favorable. Une fois fixées, elles commencent à se nourrir de la sève et passent par plusieurs mues successives jusqu'à atteindre le stade adulte (Palafox-Luna *et al.*, 2018).

Les femelles restent fixées à la plante et assurent la reproduction en produisant de grandes quantités d'œufs. Les mâles subissent une métamorphose complète avant d'émerger sous forme ailée (Palafox-Luna *et al.*, 2018). La durée du cycle biologique varie fortement selon les conditions environnementales, notamment la température, l'humidité et la disponibilité de la plante hôte, ce qui peut conduire à plusieurs générations par an dans les conditions favorables (El Alaoui et Sbaghi, 2018).

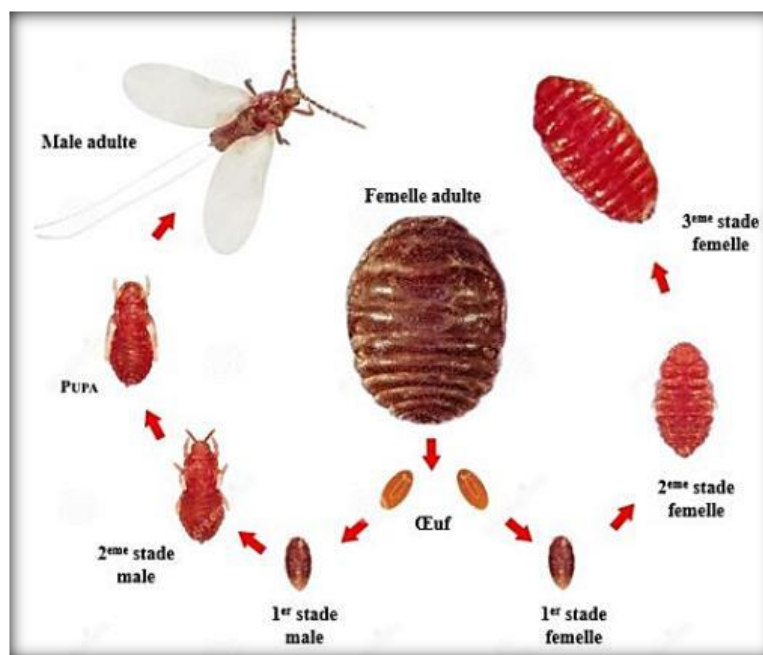


Figure 4. Cycle biologique de *Dactylopius opuntiae* (EL Alaoui *et al.*, 2020)

3.2.4. Conditions de prolifération

La prolifération de *Dactylopius opuntiae* est influencée par plusieurs facteurs environnementaux et biologiques qui conditionnent leur prolifération. Les environnements chauds et secs favorisent non seulement la survie des individus, mais aussi l'accélération de leur cycle de développement, conduisant à des explosions démographiques rapides (El Alaoui et Sbaghi, 2018).

La densité des plantations de cactus joue également un rôle important dans la propagation du ravageur, en facilitant le transfert des larves entre les plantes. La dispersion peut également être assurée par des agents abiotiques tels que le vent ou des agents biotiques comme les animaux et les activités humaines (Foxcroft et Hoffmann, 2000). L'absence de prédateurs naturels efficaces dans certaines régions contribue également à la stabilité et à la croissance des populations.

3.3. Dégâts causés aux cactus

Les dégâts causés par *Dactylopius opuntiae* sur les cactus du genre *Opuntia* sont à la fois physiologiques, morphologiques et économiques. L'insecte se nourrit de la sève élaborée, entraînant une diminution progressive des réserves nutritives de la plante. Cette alimentation continue provoque un affaiblissement général, une réduction de la croissance et une altération des fonctions physiologiques (Vanegas-Rico *et al.*, 2015).

Les symptômes visibles incluent un jaunissement ainsi que des lésions nécrotiques sur les cladodes, une déformation des tissus, une déshydratation progressive et un dessèchement complet des segments affectés. En conséquence, les cladodes se détachent de la plante et les fruits tombent prématurément (Mazzeo *et al.*, 2018). Dans les cas d'infestations sévères, la plante entière peut mourir, entraînant la destruction des plantations. Ces pertes ont un impact économique important, notamment dans les régions où le figuier de Barbarie constitue une ressource agricole et fourragère essentielle.

Sur le plan écologique, la destruction des cactus peut également contribuer à la dégradation des écosystèmes arides, car ces plantes jouent un rôle important dans la stabilisation des sols et la lutte contre la désertification (Nefzaoui et Bensalem, 2002). La figure 5, montre un champ de figuier de barbarie avant et après l'attaque de la cochenille.

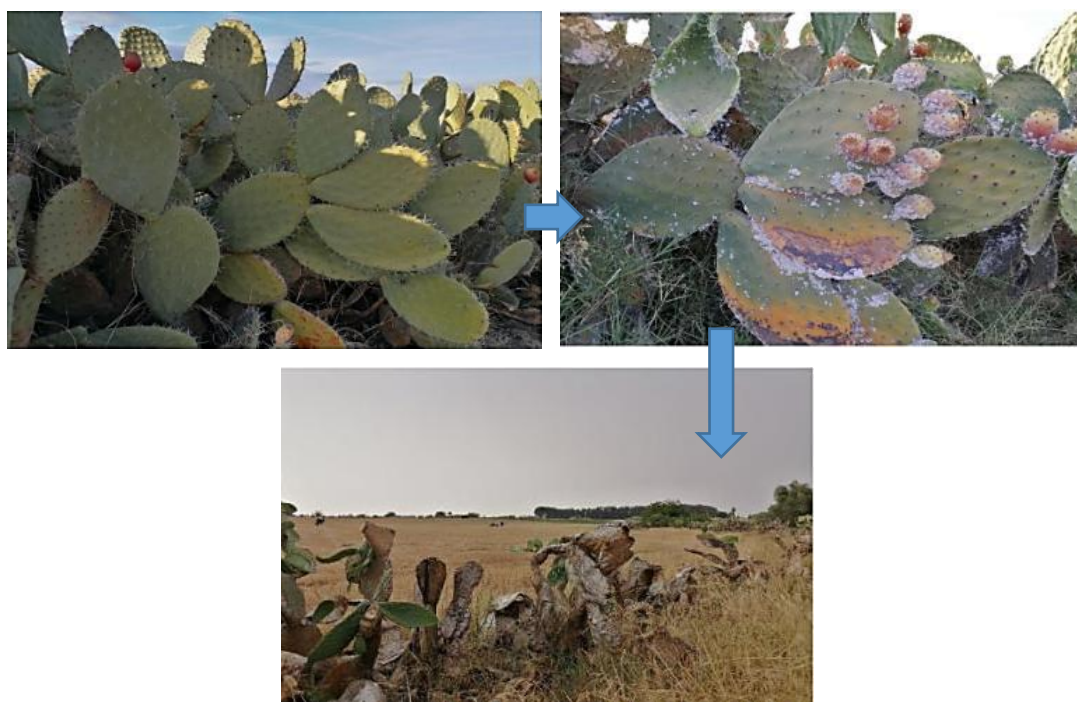


Figure 5. Champ de figuier avant et après l'attaque de la cochenille *Dactylopius opuntiae* (Sayada Mostaganem 2026)

3.4. Méthodes de lutte contre la cochenille

La gestion de *Dactylopius opuntiae* repose sur différentes stratégies de lutte visant à limiter sa propagation et réduire ses populations. Ces stratégies incluent la lutte chimique, la lutte biologique et des approches intégrées combinant plusieurs méthodes complémentaires.

3.4.1. Méthodes mécaniques et physiques

Les méthodes mécaniques peuvent jouer un rôle essentiel dans les zones où les premiers signes d'infestation par la cochenille sont détectés, en particulier lorsque des inspections régulières sont effectuées sur le terrain. Cette approche consiste principalement à récolter ou à nettoyer mécaniquement les cladodes ou les plantes infestés, qui peuvent ensuite être détruits ou conservés pour une utilisation ultérieure comme aliment pour le bétail. Malheureusement, bien que cette intervention mécanique soit efficace, elle n'est applicable que lorsque le nombre de plantes infestées est limité, car elle est coûteuse et exige beaucoup de temps et de main-d'œuvre ([Mazzeo et al., 2018](#)).

3.4.2. Lutte chimique

La lutte chimique repose sur l'utilisation d'insecticides de synthèse visant à éliminer les populations de cochenilles. Bien que cette méthode puisse offrir une efficacité rapide, elle présente des limites importantes, notamment la destruction d'organismes non ciblés, la pollution de l'environnement et les risques pour la santé humaine. De plus, l'utilisation répétée d'insecticides favorise l'apparition de phénomènes de résistance chez le ravageur, réduisant progressivement l'efficacité des traitements ([Sparks et Nauen, 2015](#)).

La présence d'une couche cireuse protectrice chez la cochenille limite également la pénétration des produits chimiques, diminuant leur efficacité globale ([Mazzeo et al., 2018](#) ; [Vanegas-Rico et al., 2015](#)).

3.4.3. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels de la cochenille pour réguler ses populations. Parmi ces agents figurent des insectes prédateurs, notamment certaines coccinelles, ainsi que des microorganismes entomopathogènes tels que des champignons et des bactéries ([Mazzeo et al., 2018](#)). Cette approche présente l'avantage d'être plus respectueuse de l'environnement et durable à long terme. Toutefois, son efficacité dépend fortement des conditions écologiques, de l'équilibre des écosystèmes et de la capacité des agents biologiques à s'établir dans le milieu ([Hajek et Eilenberg, 2018](#)).

3.4.4. Limite des méthodes conventionnelles

Les méthodes conventionnelles de lutte présentent plusieurs limites majeures. La lutte chimique, bien que rapide, est associée à des effets négatifs sur l'environnement, la biodiversité et la santé humaine (Sparks et Nauen, 2015). La lutte biologique, quant à elle, peut être lente et insuffisamment efficace en cas de fortes infestations (Hajek et Eilenberg, 2018). Par ailleurs, la capacité de la cochenille à se protéger par une couche cireuse rend les traitements moins efficaces, ce qui complique davantage sa gestion (Mazzeo *et al.*, 2018 ; Vanegas-Rico *et al.*, 2015). Ces contraintes ont conduit à la recherche d'alternatives plus durables et efficaces, notamment l'utilisation de substances naturelles telles que les huiles essentielles (Bakkali *et al.*, 2008).

3.5. Activité insecticide des huiles essentielles

Les huiles essentielles constituent une source naturelle de composés bioactifs présentant une activité insecticide, répulsive et régulatrice du développement des insectes. Leur efficacité est attribuée à la diversité de leurs constituants chimiques capables d'agir sur plusieurs cibles biologiques des insectes (Bakkali *et al.*, 2008).

3.5.1. Mécanismes d'action insecticide

Les huiles essentielles agissent sur les insectes par plusieurs mécanismes complémentaires. Elles peuvent perturber le système nerveux en interférant avec les neurotransmetteurs, entraînant une paralysie ou la mort de l'insecte (Isman, 2006). Elles peuvent également altérer la respiration cellulaire et provoquer des déséquilibres métaboliques (Bakkali *et al.*, 2008).

Certaines huiles essentielles exercent un effet répulsif, réduisant l'alimentation et la reproduction des insectes. D'autres interfèrent avec les processus de développement, affectant les stades larvaires et empêchant la maturation des populations (Isman, 2006).

3.5.2. Rôle des composés bioactifs

L'activité insecticide est principalement liée aux monoterpènes, sesquiterpènes et composés phénoliques tels que le thymol, le limonène, le camphre, l'eugénol et le menthol (Kumar *et al.*, 2022). Ces molécules lipophiles pénètrent facilement la cuticule des insectes et perturbent les fonctions cellulaires essentielles. L'effet synergique entre plusieurs composés augmente l'efficacité globale des huiles essentielles et réduit le risque de développement de résistance chez les insectes (Zhu *et al.*, 2025).

3.6. Intérêt des huiles essentielles contre la cochenille du cactus

L'utilisation des huiles essentielles contre *Dactylopius opuntiae* représente une alternative prometteuse aux insecticides conventionnels. Leur origine naturelle, leur biodégradabilité et leur faible impact environnemental en font des candidats intéressants pour une gestion durable des ravageurs (Ismane, 2006). Elles peuvent agir simultanément comme insecticides, répulsifs et inhibiteurs de développement, ce qui permet une action globale sur le cycle biologique du ravageur (Bakkali *et al.*, 2008). Cependant, leur efficacité dépend de nombreux facteurs, notamment la composition chimique, la concentration et le mode d'application (Regnault-Roger *et al.*, 2012).

Malgré leur potentiel, des études supplémentaires sont nécessaires pour optimiser leur utilisation en conditions réelles et évaluer leur efficacité à grande échelle dans les systèmes agricoles (Ismane, 2006).

Partie Expérimentale

Matériel & Méthodes

4.1. Matériel végétal

Le Tableau 1, montre les plantes et les épices utilisées dans notre étude. Elles ont été achetées à l'état sec dans le commerce.

Tableau 1. Plantes et épices utilisées.

Nom botanique	Nom vernaculaire
<i>Thymus vulgaris</i>	Arabe : الزعتر Français : Thym
<i>Ammi visnaga</i>	Arabe : نوخة Français : Khella
<i>Mentha pulegium</i>	Arabe : فليو Français : Menthe pouliot
<i>Lavandula angustifolia</i>	Arabe : الخزامى Français : Lavande
<i>Citrus sinensis</i>	Arabe : البرتقال Français : Orange
<i>Zingiber officinale</i>	Arabe : زنجبيل Français : Gingembre
<i>Cinnamomum verum</i>	Arabe : قرفة Français : Cannelle
<i>Syzygium aromaticum</i>	Arabe : قرنفل Français : Clou de girofle

4.2. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites à partir de différentes quantités de matériel végétal séché. Les masses utilisées étaient de 300 g (*T. vulgaris*), 300 g (*A. visnaga*), 600 g (*M. pulegium*), 150 g (*L. angustifolia*), 1000 g (*Z. officinale*), 400 g (*C. verum*), 4 kg (*C. sinensis*) et 400 g (*S. aromaticum*).

La mixture utilisée dans cette étude a été préparée à partir de *T. vulgaris* (14,24 g), *A. visnaga* (10,32 g), *M. pulegium* (7,71 g), *L. angustifolia* (7,71 g), *C. sinensis* (30,49 g), *Z. officinale* (14,59 g), *C. verum* (12,69 g) et *S. aromaticum* (2,25 g) (Bahri et al., 2025). Les différents constituants ont été homogénéisés avant l'extraction de l'huile essentielle.

L'extraction des huiles essentielles de *T. vulgaris*, *A. visnaga*, *M. pulegium*, *L. angustifolia*, *Z. officinale* et *S. aromaticum* ont été obtenues par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger (Figure 6).

Le matériel végétal a été placé dans un ballon contenant une quantité en litre d'eau distillée, puis porté à ébullition pendant 3 heures.

La vapeur contenant les huiles essentielles produites quitte le condenseur sous forme

liquide. Le liquide traverse la colonne de décantation, le liquide se divise en deux phases plus ou moins non miscibles : l'hydrolat (eau aromatique) et les huiles essentielles. Ces dernières se distinguent de l'hydrolat par leur densité et leur couleur différentes. On retourne l'eau aromatique condensée dans le ballon (cohobation).

En fin d'extraction, les huiles essentielles sont prélevées à l'aide d'une pipette stérile.

À la suite de l'extraction, Les huiles essentielles sont stockées au réfrigérateur à 4°C, pour de futures études.



Figure 6. Montage d'hydrodistillation de type Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles.

Par ailleurs, Pour l'extraction de *C. verum* et de *C. sinensis* a été réalisé par entraînement à la vapeur d'eau par un vapo-distillateur modèle SPRING A 105 de 12 litres (Figure 7). Dans ce but, le matériel végétal est placé sur une grille qui surmonte 3 litres d'eau portés à ébullition. Les vapeurs qui se forment dans l'extracteur traversent le végétal, libèrent l'huile contenue dans les tissus végétaux et l'entraînent avec elles. Après leur condensation dans le réfrigérant, celle-ci s'écoule et est récupérée dans une ampoule de décantation, où l'eau et l'huile se séparent en raison de leur différence de densité (Abdelli, 2018). L'huile obtenue est conservée à une température de 4 °C dans des tubes hermétiquement fermés, jusqu'à son utilisation (Gardeli *et al.*, 2008).



Figure 7. Vapo-distillateur de type SPRING A 105 12 Litres utilisé pour l'extraction des huiles essentielles

4.2.1. Détermination du rendement des huiles essentielles

Le rendement en huiles essentielles constitue un paramètre important permettant d'évaluer l'efficacité du procédé d'extraction (AFNOR, 1986). Il est défini comme le rapport entre la quantité d'huile essentielle obtenue après extraction et la quantité de matière végétale initialement utilisée.

Le rendement a été déterminé selon la formule suivante :

$$R (\%) = (V / m_0) \times 100$$

Avec :

R : rendement en huile essentielle (%)

V : volume d'huile essentielle obtenue (ml)

m_0 : masse du matériel végétal utilisé (g)

4.3. Screening phytochimique

Le criblage phytochimique vise à identifier la composition chimique d'une plante en détectant les différentes classes de composés présentes dans ses organes. Pour cela, on utilise des tests phytochimiques qui reposent sur des essais de solubilité, des réactions de coloration et de précipitation, ainsi que des observations en lumière ultraviolette.

L'analyse phytochimique a été réalisée sur les différentes parties des plantes utilisées

dans cette étude, à savoir : *T. vulgaris*, *M. pulegium*, *L. angustifolia*, *A. visnaga*, *C. sinensis*, *Z. officinale*, *C. verum* et *S. aromaticum*, en utilisant les tests standards décrits par Trease et Evans (1987), Debray *et al.*, (1971) ; Paris *et al.*, (1969) Rizk (1982), Bahri (2025).

Les flavonoïdes

Pour caractériser les flavonoïdes, on introduit 1 mL de HCl concentré et 0,5 g de magnésium en tournures dans 5 ml de l'extrait éthanolique. L'obtention d'une teinte rose ou rouge après trois minutes confirme le test positif.

Les tanins

La réaction de détection des tannins consiste à ajouter à 1 mL d'extrait éthanolique 2 mL d'eau puis 2 à 3 gouttes de solution de FeCl₃ à 1 %. L'apparition d'une coloration bleu-noir indique la présence de tannins galliques, tandis qu'une coloration verte ou bleu-vert révèle celle des tannins catéchiques

Les coumarines

Pour caractériser les coumarines, on ajoute 1 g de poudre végétale à quelques gouttes d'eau distillée dans un tube. On couvre celui-ci avec du papier imprégné de soude diluée et on chauffe jusqu'à ébullition. Une fluorescence jaune visible sous ultraviolet après chauffage confirme la présence des coumarines.

Les saponosides

Pour caractériser les saponosides, on porte à ébullition pendant 15 minutes 1 g de poudre végétale dans 100 mL d'eau distillée. Après refroidissement, on filtre la suspension et on complète le filtrat à 100 mL avec de l'eau distillée. On répartit ensuite ce décocté dans 10 tubes à essais en ajoutant des volumes successifs de 1 à 10 mL. Chaque tube est complété à 10 mL avec de l'eau distillée, puis agité dans le sens de la longueur durant 15 secondes. Après un repos de 15 minutes, on mesure la hauteur de la mousse dans chaque tube. L'indice de mousse est calculé à partir du tube dont la hauteur de mousse atteint 1 cm.

$$IM = 1000/N$$

IM : Indice de Mousse.

N : nombre de tube dans lequel la mousse est de 1 cm

4.4. Activité antibactérienne

4.4.1. Souches bactériennes utilisées

Les souches testées dans notre étude, nous ont été fournies par Boukridech Fethi, responsable au laboratoire de microbiologie. Ces souches ont été isolées, identifiées et

confirmées leurs résistances aux antibiotiques par l'hôpital de Ain Tedeles (Tableau 2).

Tableau 2. Profil de résistance aux antibiotiques des souches bactériennes étudiées.

Souches bactériennes	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Moraxella catarrhalis</i>	<i>Streptococcus β-hémolytique</i>
Antibiotiques de résistance	OFX 5	LEV 5	CIP 5	CTX 30
	SXT 25	SXT 25	CTX 30	AM 10
	LEV 5	OFX 5	OFX 5	OFX 5
	AMX 25	CIP 5	P 10	CZ 30
	GEN 10	GEN 10		CN 120
	E 15	CZ 30		LEV 5
	CFM 5			AUG 30
				SXT 25

Ces souches cliniques sont connues comme responsables d'infections nosocomiales (Tableau 3).

Tableau 3. Liste des souches bactériennes testées, leur source et leur coloration de Gram.

Souche	Gram	Source
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positive	Clinique
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Négative	Clinique
<i>Moraxella catarrhalis</i>	Négative	Clinique
<i>Streptococcus β-hémolytique</i>	Positive	Clinique

4.4.2. Milieux de culture utilisés

Les milieux de culture utilisés pour les différents tests microbiologiques sont les suivants (Annexe 1) :

La gélose nutritive (GN) pour l'ensemencement et la culture des souches bactériennes.

La gélose Mueller-Hinton (MH) pour l'évaluation de la sensibilité des bactéries vis-à-vis des huiles essentielles.

La gélose Chapman utilisée pour la culture sélective des bactéries du genre *Staphylococcus*.

4.4.3. Vérification des souches

Avant leur utilisation dans les différents essais, les souches bactériennes ont été réactivées dans un bouillon nutritif (BN) afin de restaurer leur activité biologique et d'assurer une croissance optimale.

Après incubation, les souches ont été repiquées sur des milieux de culture appropriés, notamment la gélose nutritive (GN) et la gélose Chapman pour les bactéries du genre *Staphylococcus*, afin d'obtenir des cultures pures destinées aux analyses ultérieures.

La vérification des souches bactériennes a été réalisée par une coloration de Gram

permettant de distinguer les bactéries Gram positives des bactéries Gram négatives. Cette étape a été complétée par la réalisation du test de la catalase afin de confirmer les caractéristiques microbiologiques des souches étudiées.

4.4.4. Préparation des disques

Des disques de papier Whatman n° 3, de 6 mm de diamètre, sont découpés puis placés dans un tube à essai hermétiquement fermé. Ces tubes sont stérilisés à l'autoclave pendant 15 minutes à 120 °C. Après stérilisation, ils sont conservés à température ambiante dans des conditions stériles en attendant leur utilisation comme support pour des huiles essentielles (Zahira *et al.*, 2013).

4.4.5. Préparation de l'inoculum

Une colonie bien isolée, prélevée à partir d'une culture jeune de 18 à 24 heures, a été introduite dans 5 ml d'eau physiologique contenue dans un tube à essai (El Amri *et al.*, 2014).

Les colonies, prélevées par écouvillonnage stérile, ont été suspendues dans des tubes de 9 mL d'eau physiologique stérile. La densité de la suspension bactérienne a été ajustée à l'aide d'un spectrophotomètre afin d'obtenir une absorbance comprise entre 0,08 et 0,1.

Cette absorbance correspondait à une concentration de 2×10^8 UFC/mL, soit une turbidité de 0,5 sur l'échelle de Mac-Farland (Alvarez *et al.*, 2016).

4.4.6. Aromatogramme

Le principe de l'antibiogramme constitue le fondement de cette méthode (NCCLS, 1997). Des disques stériles en papier Whatman de 6 mm de diamètre, imprégnés de 15 µl d'huile essentielle à tester, ont été déposés à l'aide d'une pince stérile à la surface d'un milieu gélosé approprié à chaque souche, préalablement ensemencé avec 100 µl d'une suspension microbienne dont la turbidité a été ajustée à 10^8 UFC/ml pour les bactéries (Braga *et al.*, 2007).

En parallèle, des témoins ont été utilisés pour le contrôle de l'essai. Un témoin positif constitué d'un antibiotique de référence a été employé afin de vérifier la sensibilité des souches bactériennes testées. Des disques vierges non imprégnés ont également été utilisés comme témoins négatifs.

Les boîtes ont été placées au réfrigérateur à 4 °C pendant 15 minutes afin de favoriser une bonne diffusion des huiles essentielles dans la gélose. Après une incubation de 24 heures à 37 °C, le diamètre des zones d'inhibition a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse.

Selon le diamètre des zones d'inhibition observées, les souches bactériennes testées ont

été classées en fonction de leur sensibilité aux huiles essentielles comme suit : souches résistantes ($\varnothing \leq 8$ mm), sensibles ($9 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 14$ mm), très sensibles ($15 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 19$ mm) et extrêmement sensibles ($\varnothing \geq 20$ mm) (Ponce *et al.*, 2003).

4.4.7. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La CMI correspond à la concentration minimale d'une substance antimicrobienne capable d'inhiber la croissance des micro-organismes. Pour déterminer les CMI des extraits de plantes sur les souches examinées, on utilise la technique de microplaques sur plaques à 96 puits (Edition, 2012) et (Douk *et al.*, 1995).

Après incubation pendant 24 h à 37°C, les suspensions bactériennes ont été préparées à partir d'une culture jeune dans une solution saline stérile à 0,85 %, et ajustées à une densité correspondant à 0,8–1 McFarland. Les solutions mères des huiles essentielles ont été obtenues par dissolution dans du diméthylsulfoxyde (DMSO à 10 %).

Des dilutions successives par progression géométrique de raison 2 ont été réalisées à partir des solutions mères des huiles essentielles dans des microplaques de 96 puits en utilisant du bouillon Mueller-Hinton (MHB), afin d'obtenir les dilutions suivantes : 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128 et 1/256.

Chaque puits de la microplaque contenant 100 μL des différentes dilutions des huiles essentielles préparées à partir de la solution mère (40 μL d'huile essentielle et 960 μL de DMSO à 10 %) a été complété par l'ajout de 10 μL de suspension bactérienne et de 90 μL de bouillon Mueller-Hinton (MHB), afin d'obtenir un volume final de 200 μL .

Le puits n°11, contenant le bouillon Mueller-Hinton et l'inoculum bactérien sans huile essentielle, a servi de témoin positif, tandis que le puits n°12, contenant uniquement le bouillon Mueller-Hinton, a été utilisé comme témoin négatif. Après inoculation, les microplaques ont été incubées à 37°C pendant 24 heures.

Après l'incubation, on a ajouté 40 μL d'une solution de TTC à 0,4 mg/ml dans chacun des puits, puis les microplaques ont été incubées à 37°C pendant 30 minutes.

Les microplaques ont ensuite été observées pour détecter toute modification de couleur. Un virage au rose signalait la présence d'une croissance microbienne (Ougarit *et al.*, 2021).

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est définie comme la plus faible concentration d'huile essentielle capable d'inhiber toute croissance bactérienne visible (Oussou *et al.*, 2004). Chaque huile essentielle a été testée individuellement vis-à-vis des quatre souches bactériennes étudiées.

4.4.8. Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)

La détermination de la CMB nécessite l'ensemencement, par stries, du contenu des puits correspondant aux concentrations supérieures ou égales à la CMI sur une gélose Mueller-Hinton (M-H) à l'aide d'une anse stérile, sous forme de stries d'environ 5 cm de longueur, à partir d'une série de dilutions préalablement préparée. Par conséquent, la CMB a été déterminée après incubation des bactéries à 37 °C pendant 24 heures. Elle correspond à la concentration minimale capable d'inhiber totalement la croissance bactérienne (Ennadir, 2014).

Pour d'autres auteurs si les valeurs de CMB sont équivalentes aux valeurs de CMI cela implique que l'effet est bactéricide, et si les valeurs de CMB sont plus élevées aux valeurs de CMI cela signifie que l'effet est bactériostatique (Cosentino et Tuberon, 1999 ; Randrianarivelo, 2010).

4.5. Activité insecticide

4.5.1. Insecte étudié

Pour cette étude, *Dactylopius opuntiae*, principal ravageur du figuier de Barbarie, a été utilisé comme matériel biologique expérimental (Mendel et al., 2020). Les insectes utilisés ont été collectés dans la région de Sayada, Mostaganem (Algérie) en 2026 et fournis par M. Boukrideche F.

4.5.2. Évaluation de l'activité insecticide par contact

L'activité insecticide des huit huiles essentielles étudiées, ainsi que celle de la mixture végétale, a été évaluée selon la méthode de contact décrite par Ebrahimi et al. (2013). Des boîtes de Pétri en verre ont été utilisées comme chambres expérimentales pour l'évaluation de l'effet insecticide sur *Dactylopius opuntiae*.

Pour chaque essai, cinq individus adultes de *Dactylopius opuntiae* ont été sélectionnés aléatoirement et déposés dans des boîtes de Pétri contenant un papier filtre humidifié à l'eau distillée. Les insectes ont été laissés au repos pendant une période de 30 minutes avant le traitement.

Les huiles essentielles ont été appliquées directement sur les insectes sans utilisation d'émulsifiant ni de solvant, afin d'évaluer leur effet insecticide par contact direct. Chaque traitement a été répété cinq fois dans les mêmes conditions expérimentales.

Un témoin a été préparé contenant uniquement Tween 80 (1%). Les boîtes ont été scellées à l'aide du parafilm afin d'éviter toute fuite des insectes et limiter la perte des composés volatils. Chaque traitement a été réalisé en cinq répétitions (Ebrahimi et al., 2013).

4.5.3. Expression des résultats

La mortalité des insectes a été enregistrée 24 h après l'exposition aux traitements (Albouchi *et al.*, 2018). Les individus incapables de se déplacer après une légère stimulation à l'aide d'un pinceau fin ont été considérés comme morts selon les critères décrits par Ebrahimi *et al.* (2013).

Le pourcentage de mortalité a été calculé selon la formule d'Abbott (1925) :

$$M(\%) = \frac{MT - MC}{SC} \times 100$$

M% : Pourcentage de mortalité ;

MT : Mortalité (individus morts) dans la population traitée avec l'huile essentielle ;

MC : Mortalité (individus morts) dans la population contrôle.

SC : Nombre de survivant dans la population contrôle.

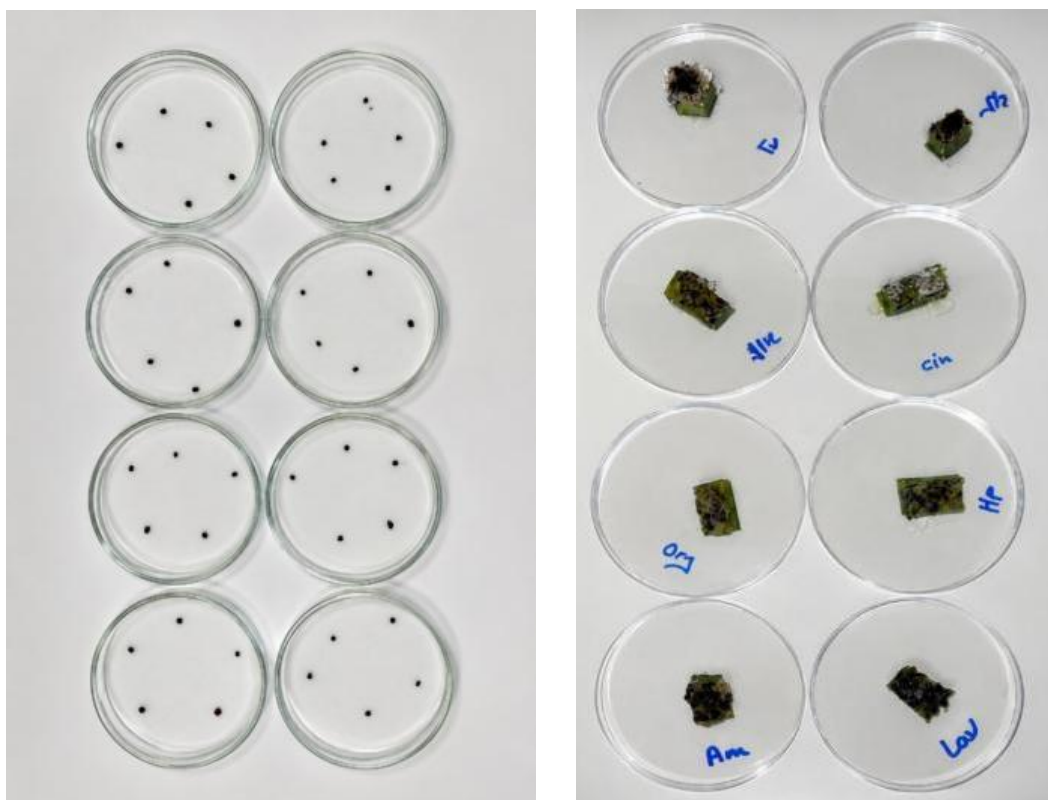


Figure 8. Protocole expérimental de traitement de *Dactylopius opuntiae* par les huiles essentielles

Résultats & Discussion

5.1. Rendement en huiles essentielles

Après l'extraction des huiles essentielles des différentes plantes aromatiques et épices étudiées par hydrodistillation et distillation à la vapeur d'eau, les quantités obtenues ont permis de calculer les rendements moyens en huiles essentielles. Les valeurs des rendements obtenus sont présentées dans le Tableau 5 et Figure 9 et Annexe 2.

Tableau 4. Rendements des huiles essentielles obtenues à partir des différentes plantes et épices étudiées

Plantes / Épices	Méthode d'extraction	Rendement (%)
<i>Thymus vulgaris</i>	Hydrodistillation	1.96
<i>Ammi visnaga</i>	Hydrodistillation	3.28
<i>Mentha pulegium</i>	Hydrodistillation	1.15
<i>Lavandula angustifolia</i>	Hydrodistillation	3.58
<i>Citrus sinensis</i>	Vapo-distillation	1.30
<i>Zingiber officinale</i>	Hydrodistillation	0.12
<i>Cinnamomum verum</i>	Vapo-distillation	2.09
<i>Syzygium aromaticum</i>	Hydrodistillation	1.01
Mixture des plantes et épices	Hydrodistillation	2.84

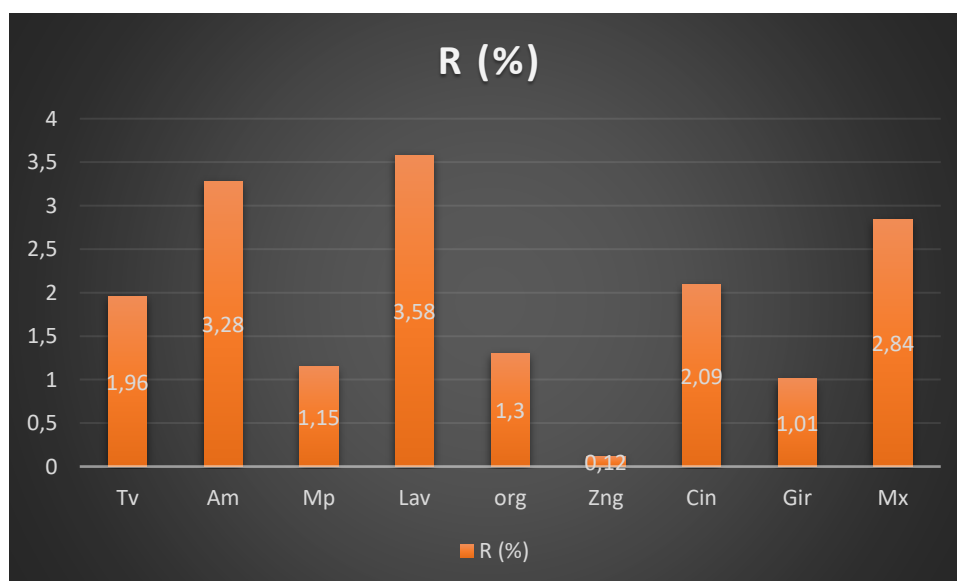


Figure 9. Rendements d'extraction des huiles essentielles Obtenues (%)

Les résultats présentés dans le tableau 4 montrent une variation des rendements en huiles essentielles obtenus à partir des différentes plantes et épices étudiées.

Pour *T. vulgaris* (الزعتر), le rendement en huile essentielle était de 1,96 %. Ce résultat est proche de celui rapporté par [Abdelli et al. \(2019\)](#) dans la région de Mostaganem, avec un

rendement de 2,2 %. À l'échelle internationale, [Giordani et al. \(2008\)](#) ont également signalé des rendements variants entre 2 et 3 % pour cette même espèce.

L'huile essentielle extraite d'*A. visnaga* (النوخة) a présenté un rendement de 3,28 %.

Le rendement en huile essentielle obtenu pour *A. visnaga* était de 3,28 %. Ce résultat est supérieur à celui rapporté par [Amraoui et al. \(2022\)](#) dans le nord-ouest algérien, avec un rendement de 1,3 %. En Tunisie, [Khadhri et al. \(2011\)](#) ont également enregistré un rendement plus faible de 0,2 % chez cette même espèce.

Concernant *Mentha pulegium*, (الفليو), le rendement obtenu était de 1,15 %. Ce résultat est proche de celui rapporté par [Chraïbi et al. \(2018\)](#) en Algérie pour cette même espèce. En Tunisie, [Hajlaoui et al. \(2009\)](#) ont également signalé des rendements similaires chez *M. pulegium*.

Chez *L. Angustifolia* (الخزامى), l'extraction a permis d'obtenir un rendement de 3,58 %. Ce résultat est relativement proche de celui rapporté par [Benyagoub et al. \(2014\)](#) dans la région de Tlemcen, avec un rendement de 4,12 % en Inde, [Verma et al. \(2010\)](#) ont également signalé un rendement de 2,3 % pour cette même espèce.

L'extraction des zestes de *C. sinensis* (قشور البرتقال) a conduit à un rendement de 1,30 %. Ce résultat est relativement proche de celui rapporté par [Djebra et Djennadi \(2022\)](#) en Algérie, qui ont mis en évidence l'activité biocide de l'huile essentielle de *Citrus sinensis* extraite des zestes d'orange. Au Maroc, [Satrani et al. \(2006\)](#) ont obtenu un rendement inférieur de 0,9 %.

Dans le cas de *Z. officinale* (الزنجبيل), le rendement enregistré était de 0,12 %. Ce résultat est inférieur à celui rapporté par [Doumandji et al. \(2015\)](#), qui ont obtenu un rendement de 0,462 %. Il reste également plus faible que celui signalé par [El-Baroty et al. \(2010\)](#) en Egypte avec un rendement d'environ 1,5 % pour cette même espèce.

Pour l'huile essentielle de *C. verum* (القرفة), le rendement observé était de 2,09 %. Ce résultat est proche de celui rapporté par [Harrache et Bouras \(2021\)](#), qui ont obtenu un rendement de 2 % pour *C. zeylanicum* dans une étude réalisée à Tébessa, en Algérie. Des valeurs légèrement inférieures ont également été signalées en Iran dans par [Shahverdi et al. \(2007\)](#), avec un rendement de 1,6 %.

Quant à *S. aromaticum* (القرنفل), le rendement obtenu était de 1,01 %. Ce résultat est inférieur à celui rapporté par [Harrache et Bouras \(2021\)](#), qui ont obtenu un rendement de 2 % pour cette même espèce en Algérie. En Tunisie, [Chaieb et al. \(2007\)](#) ont également signalé un rendement plus élevé de 15,4 % pour l'huile essentielle du clou de girofle.

La mixture des plantes étudiées a présenté un rendement en huile essentielle de 2,84 %, révélant une capacité d'extraction relativement intéressante par rapport à plusieurs huiles essentielles obtenues individuellement au cours de cette étude.

L'ensemble des résultats obtenus met en évidence une variabilité importante des rendements en huiles essentielles selon les plantes et les épices étudiées. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment l'espèce végétale, la partie utilisée, les conditions climatiques, la période de récolte, le stade physiologique de la plante ainsi que la méthode d'extraction appliquée (Boutekedjiret *et al.*, 2003 ; Hossain *et al.*, 2013).

Des observations similaires ont été rapportées dans plusieurs études portant sur les mêmes plantes aromatiques, où les rendements en huiles essentielles varient considérablement en fonction des conditions de production et d'extraction (Amraoui *et al.*, 2022 ; Abdelli *et al.*, 2017 ; Abdelli *et al.*, 2019 ; Bahri *et al.*, 2025).

5.2. Screening phytochimique

Tableau 5. Résultats du screening phytochimique des différentes plantes aromatiques et épices étudiées.

Composés phytochimiques recherchés		<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Ammi visnaga</i>	<i>Mentha pulegium</i>	<i>Lavandula angustifolia</i>	Roots of <i>Zingiber officinale</i>	Bark of <i>Cinnamomum verum</i>	Clove : <i>Syzygium aromaticum</i>
Flavonoïdes		+++	+++	-	-	-	-	-
Tanins	Réaction avec FeCl ₃	+++	+++	-	+++	+	-	-
Coumarines		+++	+++	-	-	++	-	-
Saponosides		-	-	-	-	-	-	-

(+) : Présents ; (++) : abondants ; (+++) : très abondants ; (-) : absents.

Le Tableau n°6 présente les résultats du screening phytochimique des différentes plantes aromatiques et épices étudiées. Les analyses réalisées ont révélé la présence variable de plusieurs métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes, les tanins, les coumarines et les saponosides, selon les espèces végétales étudiées.

Concernant *T. vulgaris*, les résultats obtenus montrent une forte présence des flavonoïdes, des tanins et des coumarines (+++), tandis que les saponosides se sont révélés absents. Cette richesse en métabolites secondaires pourrait être liée à la composition chimique particulière du thym, connu pour être riche en composés phénoliques et substances bioactives.

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Oyewole *et al.* (2010), Nema *et al.* (2015) et Abdirahman et Batool (2016), qui ont également mis en évidence la présence des

flavonoïdes et des tanins chez *T. vulgaris*. Ces composés phénoliques sont connus pour leurs importantes activités biologiques et antimicrobiennes.

Pour *A. visnaga*, les résultats du screening phytochimique ont révélé une forte présence des flavonoïdes, des tanins et des coumarines (+++), tandis que les saponosides se sont révélés absents. Cette richesse en métabolites secondaires pourrait expliquer les propriétés biologiques et antimicrobiennes importantes de cette plante.

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par [Ez Zoubi et al. \(2016\)](#) et [Zaher et al. \(2019\)](#), qui ont également mis en évidence la présence des flavonoïdes, des tanins et des coumarines chez *A. visnaga*. Cependant, certaines différences observées dans la composition phytochimique peuvent être liées aux conditions climatiques, à l'origine géographique de la plante ainsi qu'aux méthodes d'analyse utilisées.

Chez *M. pulegium*, les résultats du screening phytochimique ont montré l'absence des métabolites secondaires recherchés dans notre étude, notamment les flavonoïdes, les tanins, les coumarines et les saponosides. Ces résultats indiquent que les tests phytochimiques réalisés n'ont pas permis de mettre en évidence ces composés dans l'échantillon analysé.

Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par [Zekri et al. \(2012\)](#) et [Khaled-Khodja et al. \(2014\)](#), qui ont signalé la présence de flavonoïdes, de tanins et de composés phénoliques chez *M. pulegium*. Cette différence pourrait être liée à l'origine géographique de la plante, aux conditions de récolte, à l'état du matériel végétal, ainsi qu'aux méthodes d'extraction et d'analyse utilisées.

Chez *L. angustifolia*, les résultats du screening phytochimique ont révélé une forte présence des tanins (+++), tandis que les flavonoïdes, les coumarines et les saponosides se sont révélés absents. La présence importante des tanins pourrait contribuer aux propriétés biologiques de cette plante aromatique.

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par [Adaszyńska-Skwirzyńska et al. \(2014\)](#), qui ont également mis en évidence la présence des tanins chez *L. angustifolia*. Cependant, certaines différences observées dans la composition phytochimique, notamment l'absence des flavonoïdes dans notre étude, peuvent être liées à l'origine géographique de la plante, aux conditions climatiques ainsi qu'aux méthodes expérimentales utilisées.

Quant à *Z. officinale*, les résultats du screening phytochimique ont révélé une faible présence des tanins et des coumarines (+), tandis que les flavonoïdes et les saponosides se sont révélés absents. La présence de ces métabolites secondaires pourrait contribuer aux propriétés biologiques de cette plante.

Les résultats obtenus concordent avec ceux rapportés par [Ghasemzadeh et al. \(2010\)](#) et [Stoilova et al. \(2007\)](#), qui ont également mis en évidence la présence de plusieurs composés phénoliques chez *Z. officinale*. Cependant, certaines différences observées dans la composition phytochimique peuvent être liées à l'origine géographique de la plante, aux conditions environnementales ainsi qu'aux méthodes expérimentales utilisées.

S'agissant de *C. verum*, les résultats du screening phytochimique ont montré l'absence des métabolites secondaires recherchés dans notre étude, notamment les flavonoïdes, les tanins, les coumarines et les saponosides. Ces résultats indiquent que les tests phytochimiques réalisés n'ont pas permis de mettre en évidence ces composés dans l'échantillon analysé.

Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par [Shan et al. \(2007\)](#) et [Singh et al. \(2007\)](#), qui ont signalé la présence de plusieurs composés phénoliques et métabolites secondaires chez *C. verum*. Cette différence pourrait être liée à l'origine géographique de la plante, aux conditions de conservation, ainsi qu'aux méthodes d'extraction et d'analyse utilisées.

S. aromaticum, les résultats du screening phytochimique ont montré l'absence des métabolites secondaires recherchés dans notre étude, notamment les flavonoïdes, les tanins, les coumarines et les saponosides. Ces résultats indiquent que les tests phytochimiques réalisés n'ont pas permis de mettre en évidence ces composés dans l'échantillon analysé.

Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par [Chaieb et al. \(2007\)](#) et [Gulcin et al. \(2012\)](#), qui ont signalé la présence de plusieurs composés phénoliques et métabolites secondaires chez *S. aromaticum*. Ces différences pourraient être liées à l'origine géographique de la plante, aux conditions de stockage ainsi qu'aux méthodes expérimentales utilisées.

5.3. Etude de l'activité antibactérienne

5.3.1. Vérification des souches

5.3.1.1. Examen macroscopique

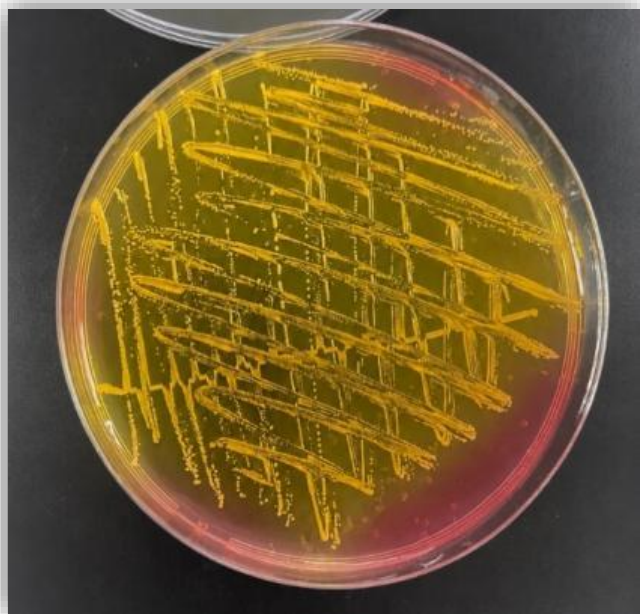
La figure 10, montre les observations macroscopiques des colonies bactériennes des souches testées : la forme, la couleur, l'aspect de surface, la taille ainsi que la présence éventuelle d'hémolyse ou de pigmentation sur les milieux de culture utilisés.

Staphylococcus aureus (Figure 10(A)) : Les colonies observées étaient rondes, lisses, brillantes et convexes sur gélose Chapman.

Pseudomonas aeruginosa (Figure 10(B)) : Les cultures ont présenté des colonies larges, lisses et bombées au centre, avec des reflets métalliques ainsi qu'une pigmentation verte sur gélose nutritive. Une odeur caractéristique a également été observée.

Moraxella catarrhalis (Figure 10(C)) : Les colonies étaient petites, lisses, opaques et de couleur grisâtre sur gélose nutritive.

Streptococcus β -hémolytique (Figure 10(D)) : Les colonies présentaient une zone claire d'hémolyse sur gélose nutritive.



(A) *Staphylococcus aureus* sur gélose Chapman



(B) *Moraxella catarrhalis* sur gélose nutritive (GN)



(C) *Pseudomonas aeruginosa* sur gélose nutritive (GN)



(D) *Streptococcus* β -hémolytique sur gélose nutritive (GN)

Figure 10. Aspect macroscopique des différentes souches bactériennes étudiées.

5.3.1.2. Examen microscopique et test de catalase

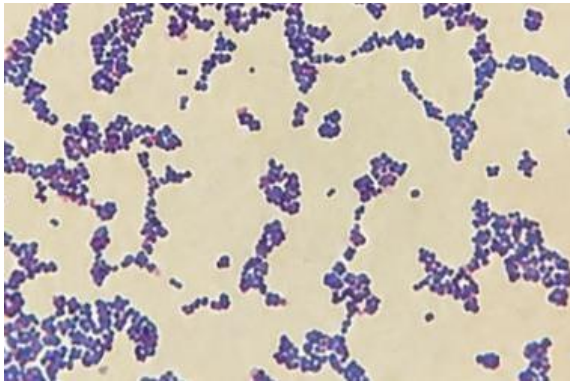
Les figures 11 et 12, montrent les observations microscopiques après obtenus coloration de Gram et le test catalase.

Staphylococcus aureus : Les observations microscopiques ont révélé des cocci Gram positif regroupés en amas. Le test de catalase était positif.

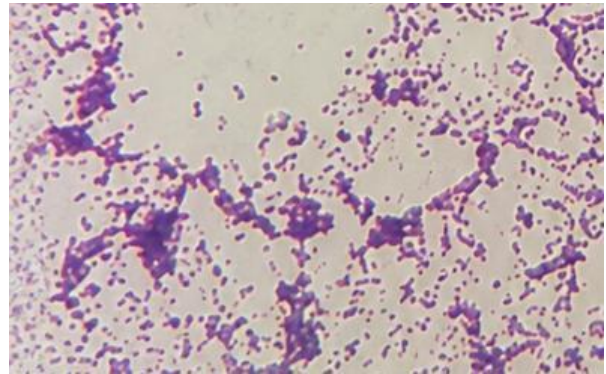
Pseudomonas aeruginosa : Les bactéries observées apparaissaient sous forme de bacilles Gram négatif. Le test de catalase a montré une réaction positive.

Moraxella catarrhalis : Les observations microscopiques ont montré des diplocoques Gram négatif. Le test de catalase était positif.

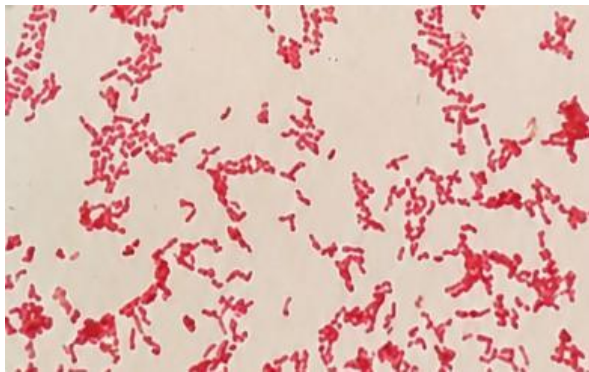
Streptococcus β -hémolytique : Les cellules observées étaient des cocci Gram positif disposés en chaînes. Le test de catalase a montré une réaction négative.



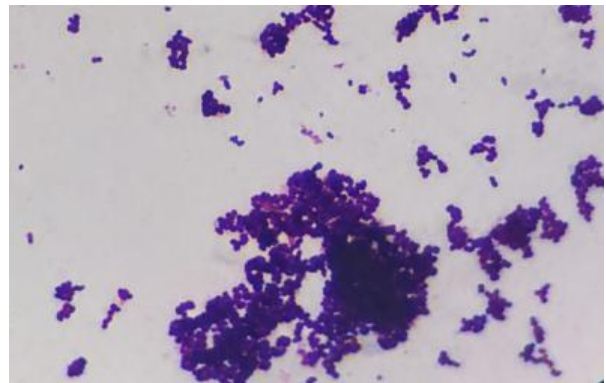
(A) *Staphylococcus aureus*



(B) *Pseudomonas aeruginosa*



(C) *Moraxella catarrhalis*



(D) *Streptococcus β -hémolytique*

Figure 11. Aspect microscopique des souches bactériennes après coloration de Gram (Gx1000)

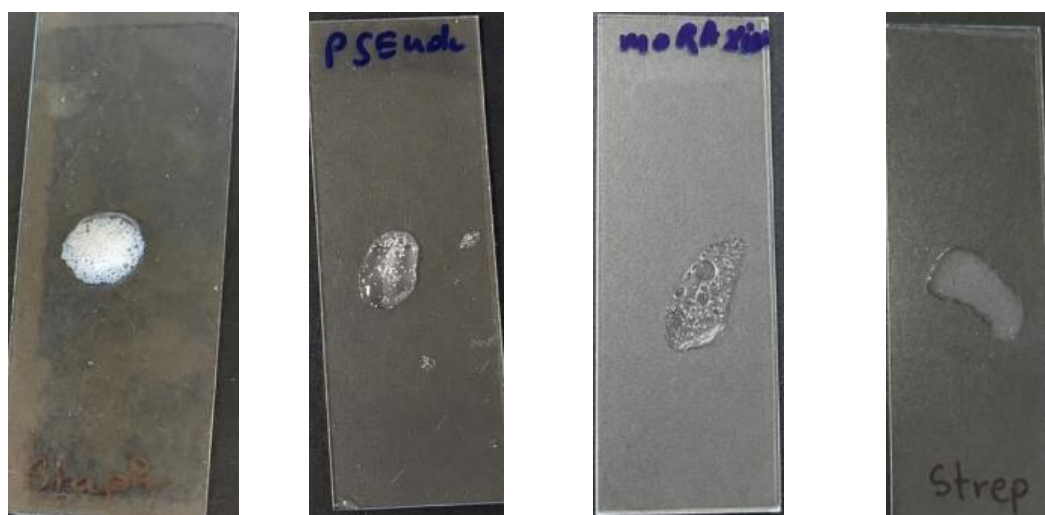


Figure 12. Test de la catalase des souches bactériennes étudiées

5.3.2. Aromatogramme

L'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées a été réalisée par la méthode de diffusion sur disque (aromatogramme) vis-à-vis de différentes souches bactériennes. Les résultats obtenus sont exprimés en diamètre des zones d'inhibition mesurées en millimètres (mm), permettant d'estimer le degré de sensibilité des bactéries testées aux différentes huiles essentielles (Tableau 5) et (Annexe 3).

Tableau 6. Résultats de l'activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées exprimés par le diamètre des zones d'inhibition (mm).

	Tv	Am	Mp	Lav	Org	Zng	Cin	gir	Mx
<i>Staphylococcus aureus</i>	57.17	15.70	61.71	9.12	11.45	8.13	48.26	30.46	39.2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	29.8	0	0	0	19.3	10.4	13.9	42.4	0
<i>Moraxella catarrhalis</i>	18.35	10.39	29.63	0	0	0	62.48	37.19	26.55
<i>Streptococcus β-hémolytique</i>	20	12.68	23.71	14.10	28.38	21.85	43.81	19.12	28.54

(Zone d'inhibition incluant le diamètre du disque de 6 mm)

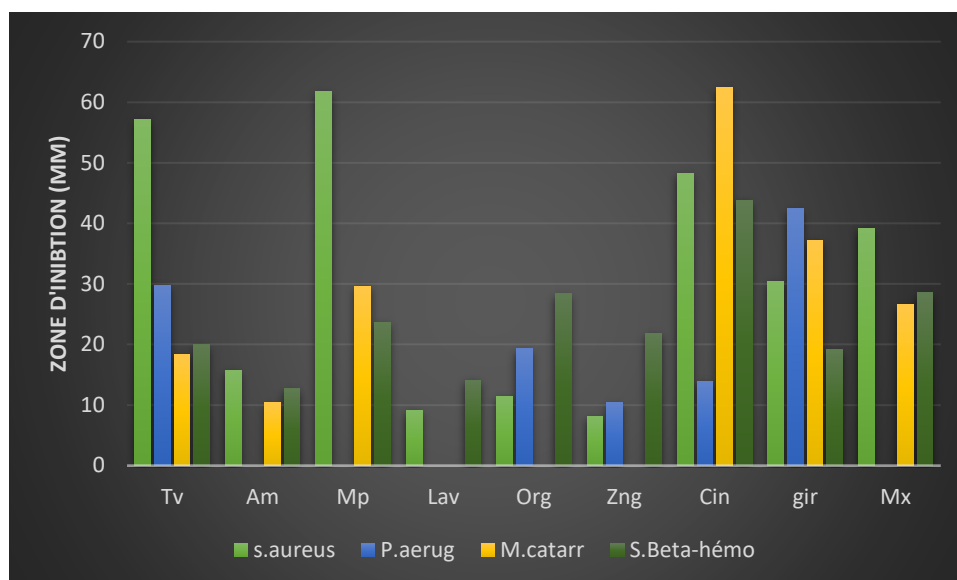


Figure 13. Activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées contre les bactéries testées

Le contrôle positif, représenté par l'antibiotique de référence, a montré une activité inhibitrice vis-à-vis de l'ensemble des souches bactériennes testées (Tableau 8). En revanche, les disques vierges utilisés comme contrôle négatifs n'ont présenté aucune activité antibactérienne (Annexe 4). Ces résultats confirment que les zones d'inhibition observées sont attribuées à l'action des huiles essentielles étudiées.

Tableau 7. Activité antibactérienne de contrôle positif (Azithromycine) vis-à-vis des souches bactériennes testées

Souche bactérienne	Antibiotique sensible	Diamètre de la zone d'inhibition (mm)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Azithromycine	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		17
<i>Moraxella catarrhalis</i>		11
<i>Streptococcus β-hémolytique</i>		15

Les résultats de l'activité des zones d'inhibition des huiles essentielles et de leur mixture sur les quatre souches bactériennes étudiées sont présentés ci-après, puis comparés :

1. *Staphylococcus aureus*

Les résultats obtenus montrent que *Staphylococcus aureus* était sensible à la majorité des huiles essentielles testées.

Meilleurs résultats :

- HE Mp (الفليو) : 61,71 mm → très forte activité.
- HE Tv (الزعتر): 57,17 mm → très forte activité.
- HE Cin : 48,26 mm → forte activité.
- Mixture : 39,2 mm → bonne activité antibactérienne.

Activité plus faible :

- HE Lav (الحزامي) : 9,12 mm
- HE Zng (الزنجبيل) : 8,13 mm

Ces résultats montrent une forte sensibilité de *Staphylococcus aureus* vis-à-vis de certaines huiles essentielles, notamment *Mentha pulegium* (الفليو), *Thymus vulgaris* (الزعر) et *Cinnamomum verum* (القرفة).

Des observations similaires ont été rapportées par Bahri *et al.* (2013), qui ont montré une activité antibactérienne importante des huiles essentielles contre les bactéries Gram positif, particulièrement *Staphylococcus aureus*. Abdelli (2018) a également signalé une forte efficacité de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* contre cette bactérie.

La forte sensibilité observée chez *Staphylococcus aureus* pourrait être expliquée par l'action des composés phénoliques présents dans certaines huiles essentielles, notamment le thymol, le carvacrol et le cinnamaldéhyde. Ces composés agissent principalement par altération de la membrane cytoplasmique bactérienne, augmentation de sa perméabilité et fuite des constituants intracellulaires, entraînant ainsi l'inhibition de la croissance bactérienne (Burt, 2004 ; Ultee *et al.*, 2002).

2. *Pseudomonas aeruginosa*

Les résultats obtenus montrent que *Pseudomonas aeruginosa* était moins sensible aux huiles essentielles testées comparativement aux autres souches bactériennes.

Meilleurs résultats :

- HE gir (القرنفل): 42,4 mm → forte activité antibactérienne.
- HE Cin (القرفة): 31,81 mm → activité importante.
- Mixture : 28,2 mm → bonne activité inhibitrice.

Pseudomonas aeruginosa est connue pour sa forte résistance vis-à-vis de nombreux agents antimicrobiens et huiles essentielles. Cette résistance peut être liée à la structure complexe de sa membrane externe riche en lipopolysaccharides, à la présence de pompes d'efflux ainsi qu'à sa capacité de former des biofilms, limitant ainsi la pénétration des composés actifs (Dorman & Deans, 2000 ; Burt, 2004).

La faible activité observée avec certaines huiles essentielles, notamment *Lavandula angustifolia* (الحزامي), *Ammi visnaga* (النوخة) et *Zingiber officinale* (الزنجبيل), pourrait être due à une faible concentration en composés phénoliques actifs capables d'agir efficacement contre cette bactérie résistante (Burt, 2004 ; Bassolé & Juliani, 2012).

En revanche, les huiles essentielles de *Syzygium aromaticum* (القرنفل) et *Cinnamomum verum* (القرفة) ont montré une activité inhibitrice importante, probablement grâce à la présence

de composés actifs tels que l'eugénol et le cinnamaldéhyde, connus pour leur capacité à perturber la membrane bactérienne et provoquer une altération des fonctions cellulaires essentielles (Burt, 2004).

3. *Moraxella catarrhalis*

Les résultats obtenus montrent que *Moraxella catarrhalis* était sensible à plusieurs huiles essentielles testées.

Meilleurs résultats :

- HE Cin (القرفة) : 62,48 mm → très forte activité antibactérienne.
- HE Tv (زعتر) : 54,81 mm → activité très importante.
- HE gir (قرنفل) : 46,72 mm → forte inhibition.
- Mixture : 37,6 mm → bonne activité antibactérienne.

Activité faible :

- HE Lav (خزامى) : 8,43 mm.
- HE Zng (زنجبيل) : 7,62 mm.

Les résultats obtenus montrent une forte sensibilité de *Moraxella catarrhalis* vis-à-vis des huiles essentielles riches en composés phénoliques et aldéhydiques, notamment celles de *Cinnamomum verum* (القرفة), *Thymus vulgaris* et *Syzygium aromaticum* (القرنفل).

Des résultats similaires ont été rapportés par Burt (2004), qui a montré que les huiles essentielles riches en composés actifs tels que le thymol, le carvacrol, l'eugénol et le cinnamaldéhyde présentent une importante activité antibactérienne contre plusieurs bactéries pathogènes.

La faible activité observée avec certaines huiles essentielles, notamment *Lavandula angustifolia* et *Zingiber officinale*, pourrait être liée à une concentration plus faible en composés phénoliques actifs capables d'altérer efficacement la membrane bactérienne (Bassolé & Juliani, 2012).

4. *Streptococcus β -hémolytique*

Les résultats obtenus montrent que *Streptococcus β -hémolytique* était sensible à plusieurs huiles essentielles étudiées.

Meilleurs résultats :

- HE Cin (القرفة) : 43,81 mm → très forte activité antibactérienne.
- HE Tv (زعتر) : 39,26 mm → forte activité.
- HE gir (قرنفل) : 34,18 mm → bonne inhibition.
- Mixture : 27,4 mm → activité importante.

Activité faible :

- HE Lav (خزامى) : 7,24 mm.
- HE zng (زنجبيل) : 6,83 mm.

Les résultats obtenus montrent une forte sensibilité de *Streptococcus β-hémolytique* vis-à-vis des huiles essentielles riches en composés phénoliques, notamment *Cinnamomum verum* (القرنف), *Thymus vulgaris* (الزعتر) et *Syzygium aromaticum* (القرنفل).

Des observations similaires ont été rapportées par Burt (2004), qui a montré que les huiles essentielles contenant des composés actifs tels que le thymol, le carvacrol et l'eugénol possèdent une importante activité antibactérienne contre plusieurs bactéries Gram positif.

La faible activité observée avec certaines huiles essentielles, notamment *Lavandula angustifolia* (الخزامى) et *Zingiber officinale* (الزنجبيل), pourrait être liée à une faible concentration en composés actifs capables de perturber efficacement la membrane bactérienne (Bassolé & Juliani, 2012).

5.3.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrice (CMI) et bactéricide (CMB)

Afin de compléter l'étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles étudiées, les concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) ont été déterminées vis-à-vis des différentes souches bactériennes testées.

Les résultats obtenus, présentés dans le tableau 6, permettent d'évaluer le pouvoir inhibiteur et bactéricide des différentes huiles essentielles ainsi que leur efficacité contre les bactéries étudiées (Tableau 9) et (Annexe 4).

Tableau 8. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB) des huiles essentielles étudiées vis-à-vis des souches bactériennes testées.

Huile essentielle	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		<i>Moraxella catarrhalis</i>		<i>Streptococcus β-hémolytique</i>	
	CMI	CMB	CMI	CMB	CMI	CMB	CMI	CMB
Tv	0.5	1	0.5	1	1	2	1	2
Am	1	2	ND		2	4	2	4
Mp	4	4	ND		4	4	4	4
Lav	4	4	ND		ND		4	4
Org	4	4	2	4	ND		2	4
Zng	4	4	4	4	ND		4	4
Cin	1	2	1	2	0.5	1	1	2
gir	2	4	2	4	2	4	4	4
Mx	4	4	ND		2	4	2	4

Tableau 9. Valeurs de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) et Bactéricide (CMB) ($\mu\text{L/ml}$) des huiles essentielles.

Huile essentielle	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		<i>Moraxella catarrhalis</i>		<i>Streptococcus β-hémolytique</i>	
	CMB /CMI	Effet	CMB /CMI	Effet	CMB /CMI	Effet	CMB /CMI	Effet
Tv	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide
Am	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide
Mp	1	Bactéricide	ND		1	Bactéricide	1	Bactéricide
Lav	1	Bactéricide	ND		ND		1	Bactéricide
Org	1	Bactéricide	2	Bactéricide	ND		2	Bactéricide
Zng	1	Bactéricide	1	Bactéricide	ND		1	Bactéricide
Cin	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide
gir	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide	2	Bactéricide
Mx	1	Bactéricide	ND		2	Bactéricide	2	Bactéricide

Les valeurs manquantes sont signalées par « ND »

Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles de *Thymus vulgaris* (الزعتر) et de *Cinnamomum verum* (القرفة) ont présenté les plus faibles valeurs de CMI et de CMB contre la majorité des souches bactériennes étudiées, traduisant ainsi une forte activité antibactérienne.

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (الزعتر) a montré une activité importante contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* avec des valeurs de CMI de 0,5 mg/ml et des valeurs de CMB de 1 mg/ml. De même, *Cinnamomum verum* a présenté une forte activité contre *Moraxella catarrhalis* avec une CMI de 0,5 mg/ml et une CMB de 1 mg/ml.

En revanche, les huiles essentielles de *Lavandula angustifolia* (الخزامى), *Mentha pulegium* (الفليو) et *Zingiber officinale* (الزنجبيل) ont montré des valeurs plus élevées de CMI et de CMB, traduisant une activité antibactérienne plus faible contre certaines souches bactériennes.

La souche de *Pseudomonas aeruginosa* s'est révélée la plus résistante vis-à-vis de plusieurs huiles essentielles étudiées. Cette résistance pourrait être liée à la structure complexe de sa membrane externe riche en lipopolysaccharides ainsi qu'à la présence de systèmes d'efflux limitant la pénétration des composés antimicrobiens (Nikaido, 1996 ; Burt, 2004).

Le rapport CMB/CMI obtenu pour la majorité des huiles essentielles étudiées était inférieur ou égal à 4, indiquant un effet bactéricide selon les critères rapportés par Oussou *et al.* (2004).

5.4. Activité insecticide

5.4.1. Observation morphologique avant et après traitement

Afin d'évaluer l'effet insecticide des huiles essentielles étudiées sur *Dactylopius opuntiae*, des observations morphologiques ont été réalisées avant et après traitement. Ces

observations ont permis de mettre en évidence les modifications externes provoquées par les huiles essentielles sur les insectes traités (Figure 14 et 45).

Les changements observés concernaient principalement la coloration, la rigidité, la déformation corporelle ainsi que l'état général des insectes après exposition aux huiles essentielles.



Figure 14. Morphologie de *Dactylopius opuntiae* mâle avant et après traitement par les huiles essentielles



Figure 15. Morphologie de *Dactylopius opuntiae* femelle avant et après traitement par les huiles essentielles.

Tableau 10. Comparaison des modifications morphologiques observées chez *Dactylopius opuntiae* avant et après traitement par les huiles essentielles.

Paramètres observés	Avant traitement	Après traitement
Coloration	Coloration rouge violacée normale	Changement de coloration vers le brun foncé à noirâtre
Aspect morphologique	Corps intact et bien développé	Déformation et rétrécissement du corps
Rigidité	Corps souple avec mobilité normale	Rigidité importante et absence de mobilité
État des femelles	Femelles arrondies et turgescentes	Femelles desséchées avec aspect ridé
État des mâles	Insectes vivants sans anomalie apparente	Signes de mortalité et dessèchement observés

5.4.2. Taux de mortalité des insectes

Le taux de mortalité des insectes a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de mortalité (\%)} = \frac{\text{Nombre d'insectes morts}}{\text{Nombre total d'insectes testés}} \times 100$$

Les résultats obtenus ont montré une activité insecticide importante des huiles essentielles étudiées contre *Dactylopius opuntiae*. Toutes les huiles essentielles testées ont présenté un taux de mortalité de 100 %, traduisant une efficacité insecticide très élevée. Après traitement, les insectes observés présentaient une absence totale de mobilité accompagnée de modifications morphologiques importantes, notamment un changement de coloration, une rigidité du corps ainsi qu'un dessèchement progressif des individus traités. Ces résultats confirment le fort potentiel insecticide des huiles essentielles étudiées contre *Dactylopius opuntiae*.

Les résultats concordent avec plusieurs études scientifiques ayant démontré l'efficacité insecticide des huiles essentielles contre les cochenilles et autres insectes ravageurs. Selon [Bouharroud et al. \(2018\)](#), certaines huiles essentielles riches en composés terpéniques présentent une activité toxique importante contre *Dactylopius opuntiae*, provoquant une mortalité élevée ainsi qu'une altération morphologique des individus traités.

De plus, [Isman \(2000\)](#) a rapporté que les huiles essentielles agissent principalement sur le système nerveux et respiratoire des insectes, entraînant une paralysie, une déshydratation puis la mort des insectes. Les modifications morphologiques observées dans notre étude, notamment le dessèchement, le noircissement et la rigidité corporelle des cochenilles, pourraient être expliquées par ces mécanismes d'action. Par ailleurs, [Bakkali et al. \(2008\)](#) ont montré que les composés majoritaires des huiles essentielles, tels que les monoterpènes et les composés phénoliques, possèdent une forte activité biologique capable de perturber les

membranes cellulaires et les fonctions physiologiques des insectes, ce qui pourrait expliquer l'activité insecticide observée dans notre étude.

Conclusion

Conclusion

Les huiles essentielles jouent aujourd'hui un rôle majeur dans la recherche scientifique en raison de leurs nombreuses propriétés biologiques et thérapeutiques. Avec l'augmentation de la résistance des microorganismes aux antibiotiques et les effets indésirables des produits chimiques de synthèse, l'intérêt pour les substances naturelles d'origine végétale ne cesse de croître. Les plantes aromatiques et médicinales constituent ainsi une source précieuse de composés bioactifs, pouvant servir d'alternatives naturelles dans les secteurs pharmaceutique, alimentaire et agricole.

Les résultats de cette étude ont révélé que les huiles essentielles extraites des plantes et épices analysées possèdent des activités biologiques intéressantes. Les rendements d'extraction variaient selon les plantes, ce qui pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions climatiques et la composition chimique des plantes étudiées. Le criblage phytochimique a également mis en évidence la présence de plusieurs métabolites secondaires bioactifs, reconnus pour leurs propriétés biologiques et thérapeutiques.

L'étude de l'activité antibactérienne a révélé une sensibilité variable des souches bactériennes testées face aux huiles essentielles analysées. Certaines huiles ont montré une forte activité inhibitrice, caractérisée par de larges zones d'inhibition, tandis que d'autres ont présenté une activité modérée. Les tests de CMI (Concentration Minimale Inhibitrice) et de CMB (Concentration Minimale Bactéricide) ont confirmé le pouvoir antibactérien des huiles essentielles, ainsi que leur effet bactériostatique ou bactéricide selon les souches. De plus, certaines associations d'huiles essentielles ont démontré un effet synergique notable contre plusieurs bactéries pathogènes.

Concernant l'activité insecticide, les huiles essentielles étudiées ont montré une efficacité remarquable contre *Dactylopius opuntiae*, avec un taux de mortalité atteignant 100 %. Des modifications morphologiques significatives ont été observées après traitement, notamment un changement de coloration, une rigidité corporelle, un dessèchement progressif, ainsi qu'une absence totale de mobilité chez les insectes traités. Ces résultats confirment le fort potentiel insecticide des huiles essentielles et soulignent leur intérêt dans la lutte biologique contre certains ravageurs.

En conclusion, les résultats de cette étude soulignent l'intérêt des huiles essentielles extraites des plantes aromatiques et des épices examinées en tant que sources naturelles de composés bioactifs aux activités antibactériennes et insecticides significatives. Ces huiles pourraient constituer une alternative naturelle prometteuse aux antibiotiques et pesticides chimiques traditionnels. Cependant, des recherches supplémentaires, incluant des analyses chimiques approfondies et des essais *in vivo*, sont nécessaires pour mieux valoriser ces substances naturelles, tout en confirmant leur sécurité et leur efficacité dans diverses applications biologiques et pharmaceutiques.

Perspectives :

- ✓ Déterminer la composition chimique des huiles essentielles étudiées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) afin d'identifier les principaux composés bioactifs responsables des activités biologiques observées.
- ✓ Approfondir l'étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles sur une large gamme de microorganismes pathogènes pour évaluer leur spectre d'activité antimicrobienne.
- ✓ Mener des études complémentaires sur l'activité insecticide des huiles essentielles contre différents ravageurs agricoles afin de promouvoir leur utilisation comme biopesticides naturels.
- ✓ Étudier l'effet synergique entre les huiles essentielles et certains antibiotiques dans le but de développer de nouvelles alternatives naturelles contre les bactéries résistantes.
- ✓ Valoriser les plantes aromatiques et médicinales locales dans les secteurs pharmaceutiques, agroalimentaire et agricole.

Références Bibliographiques

- ✓ Abbott, W. S. (1925). The value of the dry substitutes for liquid lime. *J Econ Entomol*, 18, 265-7.
- ✓ Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., & Maachi, R. (2019). *Chemical composition and antibacterial activity of Thymus vulgaris essential oil*. *Journal of Applied Biological Sciences*.
- ✓ Abdelli, W. (2018). Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* et de *Thymus vulgaris* (Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Algérie).
- ✓ Abdelli, W., Sysak, A., Bahri, F., Szumny, A., Pawlak, A., & Obmińska-Mrukowicz, B. (2019). *Chemical composition, antimicrobial and cytotoxic activity of essential oils of Algerian Thymus vulgaris L.* *Acta Poloniae Pharmaceutica Drug Research*, 76(6), 1051–1059.
- ✓ Abdirahman A., Batoool R, 2016, Evaluation of bioactivity and preliminary phytochemical investigation of herbal plants against ampicillin resistant bacteria. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 12, 109-117p
- ✓ Adaszyńska-Skwirzyńska, M., & Dziecioł, M. (2014). Comparison of chemical composition and antimicrobial activity of lavender varieties. *Natural Product Research*, 28(6), 386–393.
- ✓ AFNOR (Association Française de Normalisation), 1986, Recueil des normes françaises “huiles essentielles”. AFNOR, Paris, 57p
- ✓ Ahmad, B., Tyagi, S., Aarim, M., Khan, M. S., & Khan, A. F. (2024). Biosynthesis of essential oil in aromatic plant species: A review. *BioMed and BioSci Advances*, 1(1), 40–63.
- ✓ Ainseba, N., Loukili, N., Soulimane, A., Bellifa, S., Dib, M. E. A., & Muselli, A. (2024). Antimicrobial and antifungal effects of essential oils from *Origanum vulgare*, *Lavandula officinalis*, and *Syzygium aromaticum* on bacterial strains through gaseous contact. *Anti-Infective Agents*, 22(4), e290124226440.
- ✓ Akova, M. (2016). Epidemiology of antimicrobial resistance in bloodstream infections. *Virulence*, 7(3), 252–266.
- ✓ Aksoy, A. (2025). Areas of use of medicinal and aromatic plants: Literature-supported compilation. *European Journal of Public Health Studies*, 8(2), 180–185.
- ✓ Albouchi, F., Ghazouani, N., Souissi, R., Abderrabba, M., & Boukhris- Bouhachem, S. (2018). Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm. essential oils on three citrus aphids: *Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraeicola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer). *South African Journal of Botany*, 117, 149-154.
- ✓ Ali, M., Alghalibi, S. M., & Alhamzy, E. H. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Thymus vulgaris* from Yemen. *Chemistry, Medicine, Environmental Science*.
- ✓ Alkahtani, A. M., Alqahtani, A. J., Alamri, A., Assiry, M. M., Elfaki, M., Shabi, Y. M., & Hamid, M. E. (2025). Burden of Gram-positive bacteria from urinary tract infection: A four-year retrospective study in a tertiary health setting in southern Saudi Arabia. *PLOS ONE*, 20(8), e0328042.
- ✓ Álvarez N.M., Ortiz A.A. and Martínez O.C. (2016). Actividad antibacteriana in vitro de *Curcuma longa* (Zingiberaceae) frente a bacterias nosocomiales en Montería, Colombia, *J. Revista de Biología Tropical*, Vol. 64 (3), p: 1201-1208.
- ✓ Amraoui, A., Bahri, F., & Wanner, J. (2022). *Chemical composition, anti-inflammatory and antimicrobial activity of Algerian Ammi visnaga essential oil*. *Plant Archives*, 22(1), 249–254.
- ✓ Anthony, K. P., Deolu-Sobogun, S. A., & Saleh, M. A. (2012). Comprehensive assessment of antioxidant activity of essential oils. *Journal of Food Science*, 77(8), C839–C843.
- ✓ Asaad, F., Cheikh Khamiss, Z., Bouafaour, M. (2025). Laboratory Study of Some Biological Parameters and Life Table of *Opuntia* Cochineal Scale Insect, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in Syria. *Arab Journal for Plant Protection*, 43(1).
- ✓ Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426–436.
- ✓ Bahri, F., et al. (2025). *Mixtures of plants and spices: chemical composition and biological activities of essential oils*.
- ✓ Bahri, F., Harrak, R., Achak, N., & Romane, A. (2013). *Chemical composition and antibacterial activities of the essential oils isolated from Juniperus thurifera L. var. Africana*. *Natural Product Research*, 27(19), 1784–1787.
- ✓ Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- ✓ Barkha, K., Amit, K. P., Sneha, P., Swapan, K. C., & Mainak, B. (2025). Bioactive molecular properties and technological applications of clove essential oil. *Trends in Current Biology*, 4(1), 1–12.
- ✓ Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (Eds.). (2015). *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (2nd ed.). CRC Press.

- ✓ Bassolé, I. H. N., & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006.
- ✓ Benyagoub, E., Nabbou, N., Sirat, M., & Dahlis, Z. (2014). Propriétés antibactériennes et constituants phytochimiques des extraits de la lavande de la région de Tlemcen et leur effet sur quelques espèces bactériennes responsables d'infection alimentaire. *Revue des Bioressources*, 4(2), 18–28.
- ✓ Bhandari, D. P., Poudel, D. K., Satyal, P., Khadayat, K., Dhami, S., Aryal, D., Chaudhary, P., Ghimire, A., & Parajuli, N. (2021). Volatile compounds and antioxidant and antimicrobial activities of selected citrus essential oils originated from Nepal. *Molecules*, 26(21), 6683.
- ✓ Birlutiu, V., & Birlutiu, R. M. (2025). An overview of the epidemiology of multidrug resistance and bacterial resistance mechanisms: What solutions are available? A comprehensive review. *Microorganisms*, 13(9), 2194.
- ✓ Bouharroud, R., Amarraque, A., & Qessaoui, R. (2018). Biopesticide effect of botanical extracts and essential oils against *Dactylopius opuntiae*. *International Journal of Pest Management*, 64(3), 1-9.
- ✓ Bousbia, N., Vian, M. A., Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2009). A new process for extraction of essential oil from citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 409–413.
- ✓ Boussena, A., Bahri, F., Bouyahyaoui, A., Kouidri, M., & Meziane, M. (2022). *Screening of phytochemical, evaluation of phenolic content, antibacterial and antioxidant activities of Ephedra alata from the Algerian Sahara*. *Journal of Applied Biological Sciences*, 16(2), 220-229.
- ✓ Boutekedjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., & Bessière, J. M. (2003). Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481-484.
- ✓ Brada M., Achour D., Wathelet J.-P., Lognay G, 2009, Study of essential oils of some plants from Algeria (*Salvia officinalis*, *Thymus vulgaris* and *Ruta chalepensis*). In: 8ème congrès de la Société Algérienne de Chimie, Béjaia, Algérie, May 26-28, 2009
- ✓ Braga F.G., Bouzada M.L.M., Fabri R.L., Matos M.d.O., Moreira F.O., Scio E., Coimbra E.S, 2007, Antileishmanial and antifungal activity of plants used in traditional medicine in Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 111, 396-402p
- ✓ Brahmi, F. & Kebbouche-Gana, S. (2014). Antibacterial activity and chemical composition of Ammi visnaga L. essential oil collected from Boumerdes (Algeria) during three periods of the plant growth. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(6), 1317-1328.
- ✓ Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
- ✓ Chaieb, K., Hajlaoui, H., Zmantar, T., Kahla-Nakbi, A. B., Rouabhia, M., Mahdouani, K., & Bakhrouf, A. (2007). The chemical composition and biological activity of clove essential oil, *Syzygium aromaticum* L. *Phytotherapy Research*, 21(6), 501–506.
- ✓ Chen, Y. C., Chang, S. C., Sun, C. C., Yang, L. S., Hsieh, W. C., & Luh, K. T. (1997). Secular trends in the epidemiology of nosocomial fungal infections at a teaching hospital in Taiwan, 1981 to 1993. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 18(5), 369–375.
- ✓ Chraïbi, M., et al. (2018). *Étude des activités biologiques insecticides et antifongiques des huiles essentielles de Mentha pulegium L.* Université M'Hamed Bougara de Boumerdès, Algérie.
- ✓ Cosentino S et Tuberoso CIG (1999). In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian. Thymus essential oils. Letters in Applied crevetticulture. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo. 45 p.
- ✓ Cruz, A. P. M., Nishimura, F. G., Santos, V. C. O. D., Steling, E. G., Von Zeska Kress, M. R., Marins, M., & Fachin, A. L. (2024). Essential oil-based soap with clove and oregano: A promising antifungal and antibacterial alternative against multidrug-resistant microorganisms. *Molecules*, 29(19), 4682.
- ✓ Custovic, A., Smajlovic, J., & Dzafic, F. (2020). Epidemiological surveillance of endogenous and exogenous nosocomial infections. *Annals of Medical Research*, 27(?)*, 1172–1178.
- ✓ Debray M, Jacquemin H, Razafindrambo R. (1971). Travaux et documents de l'Orstom. (Paris, N°8).
- ✓ Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(4), 25.
- ✓ Dhingra, S., Rahman, N. A. A., Peile, E., Rahman, M., Sartelli, M., Hassali, M. A., Islam, T., Islam, S., & Haque, M. (2020). Microbial resistance movements: An overview of global public health threats posed by antimicrobial resistance, and how best to counter. *Frontiers in Public Health*, 8, 535668.
- ✓ Diouf, E., Bèye, M. D., Diop, N. M., Kane, O., & Ka, S. B. (2007). Les infections nosocomiales : définition, fréquence et facteurs de risque [Nosocomial infections : definition, frequency and risk factors]. *Dakar Médical*, 52(2), 69–76.

- ✓ Djebra, H., & Djennadi, S. (2022). *Effet biocide de l'huile essentielle de l'oranger Citrus sinensis L. à l'égard des adultes mâles et femelles diapausants de la bruche de la fève Bruchus rufimanus Boh 1833 (Coleoptera : Bruchidae)*. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- ✓ Dorado-García, A., Mevius, D. J., Jacobs, J. J., Van Geijlswijk, I. M., Mouton, J. W., Wagenaar, J. A., & Heederik, D. J. (2016). Quantitative assessment of antimicrobial resistance in livestock during the course of a nationwide antimicrobial use reduction in the Netherlands. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 71(12), 3607–3619.
- ✓ Douk, K.D., Dagher, M.S., Sattout, J.E. (1995). Antifungal activity of the essential oil of *Origanum syriacum* L. *J. Food Prot.* 58: 1147-1149.
- ✓ Doumandji, A., Alili, D., Benrima, A., & Doumandji, S. (2015). Étude de l'effet de l'association de l'huile essentielle de gingembre (*Zingiber officinale*) avec les micro-organismes sur la mineuse de la tomate. *2ème Séminaire International Biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-Arides*, Ouargla, Algérie.
- ✓ Dríoiche, A., Baammi, S., Zibouh, K., Al Kamaly, O., Alnakhli, A. M., Remok, F., Saidi, S., Amaiaich, R., El Makhoukhi, F., Elomri, A., & Zair, T. (2024). A study of the synergistic effects of essential oils from *Origanum compactum* and *Origanum elongatum* with commercial antibiotics against highly prioritized multidrug-resistant bacteria for the World Health Organization. *Metabolites*, 14(4), 210.
- ✓ Ebrahimi, M., Safaralizade, M. H., Valizadegan, O., & Amin, B. H. H. (2013). Efficacy of three plant essential oils, *Azadirachta indica* (Adr. Juss.), *Eucalyptus camaldulensis* (Dehn.) and *Laurus nobilis* (L.) on mortality cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover (Hem: Aphididae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 46(9), 1093- 1101.
- ✓ Edition. A.S.N (2012), CLSI document M07-A9. Wayne. Clinical and Laboratory Standards Institute. (USA). 32(2). 18-20.
- ✓ El Aalaoui, M., & Sbaghi, M. (2022). Temperature Dependence for Survival, Development, and Reproduction of the Cactus Cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell). *Insects*, 13(5), 426.
- ✓ El Aalaoui, M., Bouharroud, R., Sbaghi, M., Hilali, L., & El Bouhssini, M. (2020). Seasonal biology of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) under field and semi-field conditions in Morocco. *Ponte International Journal of Sciences and Research*, 76(1), 246–266.
- ✓ El amri, J., Elbadaoui K., Zair T., Bouharb H., Chakir S. et Alaoui T. (2014). Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L. et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées. *Journal of Applied Biosciences* 82:7481-7492.
- ✓ El-Baroty, G. S., Abd El-Baky, H. H., Farag, R. S., & Saleh, M. A. (2010). Characterization of antioxidant and antimicrobial compounds of cinnamon and ginger essential oils. *African Journal of Biochemistry Research*, 4(6), 167–174.
- ✓ El-Sakhawy, M. A., El Raheim Mohammed Donia, A., Juraybi, T. N., El-Sherbiny Ateya, A. A., Osman, W., Abd-Elghany, A. A., Soliman, M. M., Kobisi, A. N. A., & Balah, M. A. (2026). Action mechanism of essential oils or their components against pathogenic bacteria: Literature review. *International Journal of Microbiology*, 2026, 7468450.
- ✓ Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., & Eloutassi, N. (2019). Extraction of essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. by two different methods: Hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *The Scientific World Journal*, 2019, Article 3659432.
- ✓ Ennadir, J. ; Hassikou, R; Bouazza, F; Arahou, M; Al Askari, G; Khedid, K. (2014). Évaluation in vitro de l'activité antibactérienne des extraits aqueux et organiques des graines de *Nigella sativa* L. et de *Foeniculum vulgare* Mill. *Phytothérapie* 12:302-308 . Lavoisier SAS 2014.
- ✓ Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2007). Comparison of different isolation methods of essential oil from citrus fruits: Cold pressing, hydrodistillation and microwave “dry” distillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 22(6), 494–504.
- ✓ Ferri, M., Ranucci, E., Romagnoli, P., & Giaccone, V. (2017). Antimicrobial resistance: A global emerging threat to public health systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2857–2876.
- ✓ Fierascu, R. C., Fierascu, I., Baroi, A. M., & Ortan, A. (2021). Selected aspects related to medicinal and aromatic plants as alternative sources of bioactive compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1521.
- ✓ Filly, A., Fabiano-Tixier, A.-S., Louis, C., Fernandez, X., & Chemat, F. (2016). Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), 707–717.

- ✓ Foxcroft, L., Hoffmann, J. (2000) Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth.) Haworth. (Cactaceae) in the Kruger National Park, *Koedoe*, 43(2).
- ✓ Fuentes, C., Fuentes, A., Barat, J. M., & Ruiz, M. J. (2021). Relevant essential oil components: A minireview on increasing applications and potential toxicity. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 31(8), 559–565.
- ✓ García-Salinas, S., Elizondo-Castillo, H., Arruebo, M., & Mendoza, G., & Irusta, S. (2018). Evaluation of the antimicrobial activity and cytotoxicity of different components of natural origin present in essential oils. *Molecules*, 23(6), 1399.
- ✓ Gardeli C, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Komaitis M. 2008. Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. *Food Chemistry* 107, 1120–1130.
- ✓ Gassara, F., Kouassi, A. P., Brar, S. K., & Belkacemi, K. (2017). Spice use in food: Properties and benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1078–1088.
- ✓ Ghasemi, K., Ghasemi, Y., & Ebrahimzadeh, M. A. (2009). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(3), 277–281.
- ✓ Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., & Rahmat, A. (2010). Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Molecules*, 15(6), 4324–4333.
- ✓ Ghédira, K. (2024). Mécanisme d'action antibactérienne des huiles essentielles. *Phytothérapie*, 22(2), 89–99.
- ✓ Giordani R., Hadeif Y., Kaloustian J, 2008, Compositions and antifungal activities of essential oils of some Algerian aromatic plants. *Fitoterapia*, 79(3), 199-203p
- ✓ Gulcin, I., Elmastas, M., & Aboul-Enein, H. Y. (2012). Antioxidant activity of clove oil. *Arabian Journal of Chemistry*, 5(4), 489–499.
- ✓ Hajek, A.E., & Eilenberg, J. (2018). *Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*. 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- ✓ Hajlaoui, H., Trabelsi, N., Noumi, E., Snoussi, M., Fallah, H., Ksouri, R., & Bakhrouf, A. (2009). *Biological activities of the essential oils and methanol extract of Mentha pulegium*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 2227–2238.
- ✓ Harrache, D., & Bouras, H. (2021). *Évaluation du potentiel antibactérien des extraits bioactifs des plantes*. Mémoire de Master, Université Larbi Tébessi, Tébessa, Algérie.
- ✓ Hossain, M. A., Salehuddin, S. M., Ismail, Z., & Rahman, M. M. (2013). Factors affecting essential oil composition and yield in aromatic plants. *Scientific Research and Essays*, 8(27), 1273-1278.
- ✓ Huang, L., Zhang, R., Hu, Y., Zhou, H., Cao, J., Lv, H., Chen, S., Ding, S., & Chen, G. (2019). Epidemiology and risk factors of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and vancomycin-resistant enterococci infections in Zhejiang, China from 2015 to 2017. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 8, 90.
- ✓ Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603-608.
- ✓ Isman, M.B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
- ✓ Kamal, F. Z., Stanciu, G. D., Lefter, R., Cotea, V. V., Niculaua, M., Ababei, D. C., Ciobica, A., & Ech-Chahad, A. (2022). Chemical composition and antioxidant activity of *Ammi visnaga* L. essential oil. *Antioxidants*, 11(2), 347.
- ✓ Khadhri, A., El Mokni, R., Mguis, K., & Araujo, M. E. M. (2011). *Variability of essential oil composition in Ammi visnaga L. growing wild in Tunisia*. *Chemistry & Biodiversity*, 8(12), 2232–2245.
- ✓ Khaled-Khodja, N., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K., & Dahmoune, F. (2014). Phytochemical screening and antioxidant activity of *Mentha pulegium* L. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8(25), 919–924.
- ✓ Khalfallah, A., Labed, A., Semra, Z., Kaki, B. A., Kabouche, A., Touzani, R., & Kabouche, Z. (2011). Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Ammi visnaga* L. (Apiaceae) from Constantine, Algeria. *Int. J. Med. Arom. Plants*, 1(3), 302- 305.
- ✓ Khalil, N., Bishr, M., Desouky, S., & Salama, O. (2020). *Ammi visnaga* L., a potential medicinal plant: A review. *Molecules*, 25(2), 301.
- ✓ Kilinc, M. (2025). Antibiotic resistance and mortality in ICU patients: A retrospective analysis of first culture growth results. *Antibiotics*, 14(3), 290.
- ✓ Kowalski, R., Kowalska, G., Jankowska, M., Nawrocka, A., Kałwa, K., Pankiewicz, U., & Włodarczyk-Stasiak, M. (2019). Secretory structures and essential oil composition of selected industrial species of Lamiaceae. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(2), 63–74.

- ✓ Kumar, S., Mahapatro, G. K., Yadav, D. K., Tripathi, K., Koli, P., Kaushik, P., Sharma, K., & Nebapure, S. (2022). Essential oils as green pesticides: An overview. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(11), 1298–1305.
- ✓ Kumawat, M., Nabi, B., Daswani, M., Viqar, I., Pal, N., Sharma, P., Tiwari, S., Sarma, D. K., Shubham, S., & Kumar, M. (2023). Role of bacterial efflux pump proteins in antibiotic resistance across microbial species. *Microbial Pathogenesis*, 181, 106182.
- ✓ Lampe, J. W. (2003). Spicing up a vegetarian diet: Chemopreventive effects of phytochemicals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3 Suppl.), 579S–583S.
- ✓ Limam, H., Ben Jemaa, M., Tammar, S., Ksibi, N., Khammassi, S., Jallouli, S., Del Re, G., & Msaada, K. (2020). Variation in chemical profile of leaves essential oils from thirteen Tunisian *Eucalyptus* species and evaluation of their antioxidant and antibacterial properties. *Industrial Crops and Products*, 158, 112964.
- ✓ Lobritz, M. A., Belenky, P., Porter, C. B., Gutierrez, A., Yang, J. H., Schwarz, E. G., Dwyer, D. J., Khalil, A. S., & Collins, J. J. (2015). Antibiotic efficacy is linked to bacterial cellular respiration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(27), 8173–8180.
- ✓ Lockhart, S. R., Abramson, M. A., Beekmann, S. E., Gallagher, G., Riedel, S., Diekema, D. J., Quinn, J. P., & Doern, G. V. (2007). Antimicrobial resistance among Gram-negative bacilli causing infections in intensive care unit patients in the United States between 1993 and 2004. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(10), 3352–3359.
- ✓ Mammeri, B., Bahri, F., Kouidri, M., Boudani, B., & Arioui, F. (2022). Evaluation of chemical composition, anti-inflammatory, antibacterial activity and synergistic effect between antibiotics and the essential oil of *Artemisia campestris* L. *Journal of Applied Biological Sciences*, 16(2), 230–247.
- ✓ Marag, R. K., Berde, N. S., & Jadhav, R. R. (2019). Extraction of lemongrass oil and formation of perfume. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 7(3), 2580–2583.
- ✓ Masyita, A., Mustika Sari, R., Dwi Astuti, A., Yasir, B., Rahma Rumata, N., Emran, T. B., Nainu, F., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry : X*, 13, 100217.
- ✓ Maurya, A., Prasad, J., Das, S., & Dwivedy, A. K. (2021). Essential oils and their application in food safety. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 653420.
- ✓ Mazzeo G., Nucifora, S., Agatino Russo, A., Suma, P. (2019). *Dactylopius opuntiae*, a new prickly pear cactus pest in the Mediterranean: an overview. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 167, 59–72.
- ✓ Mazzeo, G., Nucifora, S., Russo, A., & Suma, P. (2018). The cochineal *Dactylopius opuntiae* in Sicily: an alarming spread and related pest management. *Phytoparasitica*, 46(5), 633–641.
- ✓ Messaoudi, M., Rebiai, A., Sawicka, B., Atanassova, M., Ouakouak, H., Larkem, I., Egbuna, C., Awuchi, C. G., Boubekeur, S., Ferhat, M. A., Begaa, S., & Benchikha, N. (2021). Effect of extraction methods on polyphenols, flavonoids, mineral elements, and biological activities of essential oil and extracts of *Mentha pulegium* L. *Molecules*, 27(1), 11.
- ✓ Mohammed, H. A., Sulaiman, G. M., Al-Saffar, A. Z., Mohsin, M. H., Khan, R. A., Hadi, N. A., Ismael, S. B., Elshibani, F., Ismail, A., & Abomughaid, M. M. (2025). Aromatic volatile compounds of essential oils: Distribution, chemical perspective, biological activity, and clinical applications. *Food Science & Nutrition*, 13(9), e70825.
- ✓ Monavari, K. G., & Mollasalehi, H. (2026). A colorimetric amplification-based method for identification of *Moraxella catarrhalis*, a human respiratory tract pathogen. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 45, 102488.
- ✓ Moreira, R. F. A., Trugo, L. C., & De Maria, C. A. B. (2000). Volatile components of roasted coffee. Part II. Aliphatic, alicyclic and aromatic compounds. *Química Nova*, 23(2).
- ✓ Mugao, L. (2024). Factors influencing yield, chemical composition and efficacy of essential oils. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 5(4), 169–178.
- ✓ NCCLS (National Committee for Clinical Laboratory Standards), 1997, Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests: Approved standard M2-A7. National Committee for Clinical Laboratory Standards, Wayne, PA, USA
- ✓ Nefzaoui, A., & Ben Salem, H. (2002). *Opuntia*: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. In: Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169, FAO, Rome.
- ✓ Nema S.S., Tohamy M.A., El-Banna H.A., Radi A.M., El-Gendy A.A., Owis A.I, 2015, Phytochemical and pharmacological studies of ethanolic extract of *Thymus vulgaris*. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(10), 1988-2001

- ✓ Nikaido, H. (1996). Multidrug efflux pumps of Gram-negative bacteria. *Journal of Bacteriology*, 178(20), 5853–5859.
- ✓ Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.
- ✓ Ougui, N., Bahri, F., Bouyahyaoui, A., & Wanner, J. (2021). Chemical characterization and bioactivities assessment of artemisia herba-alba asso essential oil from South-Western Algeria. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 8(2), 27–36.
- ✓ Oussou K.R., Kanko C., Guessennnd K.N., Yolou S., Koukoua G., Dosso M., N’guessan Y.T., Figueredo G. et Chalchat J.-C. (2004). Activités antibactériennes des huiles essentielles de trois plantes de Côte d’Ivoire. *C. R. Chimie*, 7(10-11), p : 1087-1086.
- ✓ Oussou, K. R., Yolou, S., Boti, J. B., & Guessennnd, N. (2004). Étude chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte d’Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 1(4), 38–46.
- ✓ Oyewole O.I., Owoseni A.A., Faboro E.O, 2010, Studies on medicinal and toxicological properties of Cajanus cajan, Ricinus communis and Thymus vulgaris leaf extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(19), 2004-2008
- ✓ Palafox-Luna, J.A., Rodríguez-Leyva, E., Lomeli-Flores, J.R., Viguera-Guzmán, A.L., & Vanegas-Rico, J.M. (2018). Ciclo de vida y fecundidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en *Opuntia ficus-indica* (Caryophyllales: Cactaceae). *Agrociencia*, 52, 103-114.
- ✓ Paris R, Moyse H. (1969). Précis de matière médicinale. Paris: Masson
- ✓ Phu, H. H., Pham, V. K., Tran, T. H., & Pham, D. T. N. (2022). Extraction, chemical compositions and biological activities of essential oils of *Cinnamomum verum* cultivated in Vietnam. *Processes*, 10, 1713.
- ✓ Pinto, T., Aires, A., Cosme, F., Bacelar, E., Morais, M. C., Oliveira, I., Ferreira-Cardoso, J., Anjos, R., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2021). Bioactive (poly)phenols, volatile compounds from vegetables, medicinal and aromatic plants. *Foods*, 10(1), 106.
- ✓ Ponce A.G., Fritz R., Del valle C.E., Roura S.I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora organic Swiss chard. *J leban mittel-wissenschaft und technologie*. N36, p : 679-684.
- ✓ Portella, R. O., Cordeiro, E. M. G., Marques, A. P. S., Ming, L. C., Zucchi, M. I., Lima, M. P., Martins, E. R., Hantao, L. W., Sawaya, A. C. H. F., Semir, J., Pinheiro, J. B., & Marques, M. O. M. (2021). Evidence of altitudinal gradient modifying genomic and chemical diversity in populations of *Lychnophora pinaster* Mart. *Phytochemistry*, 192, 112898.
- ✓ Prakash, B., & Kiran, S. C. (2016). Essential oils: A traditionally realized natural resource for food preservation. *Current Science*, 110, 1890–1892.
- ✓ Putra, N. R., Suharmiyati, S., Ismayanti, R., Irianto, I., & Airlangga, B. (2025). Green extraction of chamomile bioactives: Techniques, health benefits, and wellness applications – A comprehensive review. *Journal of Essential Oil Research*, 37(6), 441–456.
- ✓ Radzhabov, G. K., Musaev, A. M., Islamova, F. I., & Aliev, A. M. (2023). Analysis of accumulation of volatile organic compounds in plants of *Hyssopus officinalis* L., introduced in mountain conditions. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 15(1), 174–181.
- ✓ Randrianarivelo R. (2010). Etude de l’activité antimicrobienne d’une plante endémique de Madagascar « cinnamosma fragrans », alternative aux antibiotiques en
- ✓ Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J.T. (2012). Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
- ✓ Rehman, R., Hanif, M. A., Mushtaq, Z., Mochona, B., & Qi, X. (2016). Biosynthetic factories of essential oils: The aromatic plants. *Natural Products Chemistry & Research*, 4(4), 227.
- ✓ Rizk A.M. (1982). Constituents of plants growing in Qatar. *Fitoterapia*, 52 (2), 35-42.
- ✓ Romane, A., et al. *Chemical composition and antibacterial activity of Thymus vulgaris essential oil against pathogenic bacteria*.
- ✓ Russell, A. D. (2001). Mechanisms of bacterial insusceptibility to biocides. *American Journal of Infection Control*, 29(4), 259–261.
- ✓ S. (2023). Caractérisation des Staphylococcus aureus isolés de denrées alimentaire d’origine animale Tamendjari et leurs antibiorésistances. Thèse Université Mohamed Chérif Messaadia – Souk Ahras.
- ✓ Salehi, B., Mnayer, D., Özçelik, B., et al. (2018). Plants of the genus *Lavandula*: From farm to pharmacy. *Natural Product Communications*, 13(10), 1385–1402.
- ✓ Satrani, B., Ghanmi, M., Farah, A., Aafi, A., Fougrach, H., Bourkhiss, B., & Talbi, M. (2006). Composition chimique et activité antimicrobienne de l’huile essentielle de *Citrus sinensis*. *Acta Botanica Gallica*, 153(2), 235–242.

- ✓ Seidi Damyeh, M., Niakousari, M., Golmakani, M. T., & Saharkhiz, M. J. (2016). Ohmic- and microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 647–656.
- ✓ Shahverdi, A. R., Monsef-Esfahani, H. R., Tavasoli, F., Zaheri, A., & Mirjani, R. (2007). Trans-cinnamaldehyde from *Cinnamomum zeylanicum* bark essential oil reduces the clindamycin resistance of *Clostridium difficile* in vitro. *Journal of Food Science*, 72(1), S55–S58.
- ✓ Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2007). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749–7759.
- ✓ Sharma, K., Guleria, S., Razdan, V. K., Babu, V., & others. (2020). Synergistic antioxidant and antimicrobial activities of essential oils of some selected medicinal plants in combination and with synthetic compounds. *Industrial Crops and Products*, 154, 112569.
- ✓ Singh, G., Maurya, S., DeLampasona, M. P., & Catalan, C. A. (2007). A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. *Food and Chemical Toxicology*, 45(9), 1650–1661.
- ✓ Slavkovska, V., Zlatković, B., Marčetić, M., Kovačević, N., & Drobac, M. (2022). The anatomy and essential oil composition of the different organs of *Pimpinella tragioides* and *P. saxifraga* (Apiaceae). *Botanica Serbica*, 46(2), 269–284.
- ✓ Sparks, T.C., & Nauen, R. (2015). IRAC : Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 122–128.
- ✓ Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P., & Gargova, S. (2007). Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). *Food Chemistry*, 102(3), 764–770.
- ✓ Trease E., Evans W.C. (1987). Pharmacognosie. Billiare Tindall. London 13th Edition. P, 61-62. In Karumi Y., Onyeyili P.A. et Ogugbuaja V.O. Identification des principes actifs de l'extrait de feuilles de M. balsamia (Baume du pommier). *Journal of Medicine and Scientific*, 4 (3), 179-182.
- ✓ Ultee, A., Bennik, M. H. J., & Moezelaar, R. (2002). The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(4), 1561–1568.
- ✓ Unuofin, J. O., Masuku, N. P., Paimo, O. K., & Lebelo, S. L. (2021). Ginger from farmyard to town: Nutritional and pharmacological applications. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 779352.
- ✓ Vakayil, R., Krishnamoorthy, S., Shanmugam, G., Kumar, S., Ramasamy, S. N., & Mathanmohun, M. (2020). Screening and identification of multidrug resistance nosocomial infection isolates from clinical specimen: A cross-sectional study. *Corpus ID* : 231830778.
- ✓ Vazquez-Aragon, P., Lizan-Garcia, M., Cascales-Sanchez, P., Villar-Canovas, M. T., & Garcia-Olmo, D. (2003). Nosocomial infection and related risk factors in a general surgery service: A prospective study. *Journal of Infection*, 46(1), 17–22.
- ✓ Verma, R. S. (2012). Distillate water: Overlooked golden drops. *Medicinal & Aromatic Plants*, 1(3), e112.
- ✓ Verma, R. S., Rahman, L., Chanotiya, C. S., Verma, R. K., Chauhan, A., Yadav, A., Singh, A., & Yadav, A. (2010). Essential oil composition of *Lavandula angustifolia* Mill. cultivated in the mid hills of Uttarakhand, India. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75(3), 343–348.
- ✓ Wang, H., Ren, J., Zhou, S., Duan, Y., Zhu, C., Chen, C., Liu, Z., Zheng, Q., Xiang, S., Xie, Z., Wang, X., Chai, L., Ye, J., Xu, Q., Guo, W., Deng, X., & Zhang, F. (2024). Molecular regulation of oil gland development and biosynthesis of essential oils in *Citrus* spp. *Science*, 383(6683), 659–666.
- ✓ Wang, X., Liu, M., Yu, C., Li, J., & Zhou, X. (2023). Biofilm formation: Mechanistic insights and therapeutic targets. *Molecular Biomedicine*, 4(1), 49.
- ✓ Wang, Y., Cui, Q., Hou, Y., He, S., Zhao, W., Lancuo, Z., Sharshov, K., & Wang, W. (2025). Metagenomic insights into the diverse antibiotic resistome of non-migratory Corvidae species on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Veterinary Sciences*, 12(4), 297.
- ✓ Weber, D. J., Anderson, D., & Rutala, W. A. (2013). The role of the surface environment in healthcare-associated infections. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 26(4), 338–344.
- ✓ Woods, C. R., & Bryant, K. A. (2008). Healthcare-acquired infections due to Gram-negative bacteria. *Pediatric Infectious Disease Journal*, 27(5), 453–454.
- ✓ Zaher, A., Boufellous, M., Ouhssine, M., & Bourkhiss, B. (2019). Phytochemical screening of an Umbelliferae: *Ammi visnaga* L.(Lam.) in the region of sidi slimane-north- west of Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*, 10, 995-1002.
- ✓ Zahira et al, (2013): 100 plantes médicinales d'Algérie. Edition Palais du livre P135-131.

- ✓ Zekri, N., Amalich, S., & El Belghiti, M. A. (2012). Étude phytochimique et activité biologique de *Mentha pulegium* L. Afrique Science, 8(3), 1–10.
- ✓ Zhang, G., & Feng, J. (2016). The intrinsic resistance of bacteria. *Yi Chuan*, 38(10), 872–880.
- ✓ Zhu, W., Dong, Y., Wu, T., Jiang, T., Xiao, Y., Yu, X., & Zhong, T. (2025). Synergies of plant-derived compounds in controlling foodborne microorganisms: Antimicrobial mechanisms, determination methods and combined effects. *Food Reviews International*, 41(7), 2113–2132.
- ✓ Zou, L., Leng, J., Gao, W., Zhou, W., & Zhang, X. (2025). Analysis of ESKAPE pathogens in clinical isolates in a tertiary care hospital in China from 2018 to 2023. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 72(2), 127–138.
- ✓ Zrira, S., Elamrani, A., & Benjilali, B. (2008). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Mentha pulegium* L. from Morocco. *Journal of Essential Oil Research*, 20(3), 264–267.

Annexes

Annexe 1

Milieux de culture Bouillon nutritif (BN) (g/l)

Peptone	10 g
Extrait de viande	5 g
Chlorure de sodium	5 g
Eau distillée	1000 ml
pH = 7.3 ± 0.2	

Gélose nutritive (GN) (g/l)

Peptone	10 g
Extrait de viande	3 g
Extrait de levure	3 g
Chlorure de sodium	5 g
Agar	18 g
Eau distillée	1000 ml
pH = 7.3 ± 0.2	

Mueller Hinton gélosé (M-H) (g/l)

Extrait de viande	3 g
Hydrolysate acide de caséine	17.5 g
Amidon	1.5 g
Agar	16 g
Eau distillée	1000 ml
pH = 7.3	

Mueller Hinton bouillon (MH) (g/l)

Hydrolysate acide de caséine	17.5 g
Infusion de viande	2.0 g
Amidon	1.5 g
pH = 7.4 ± 0.2.	

Annexe n°2

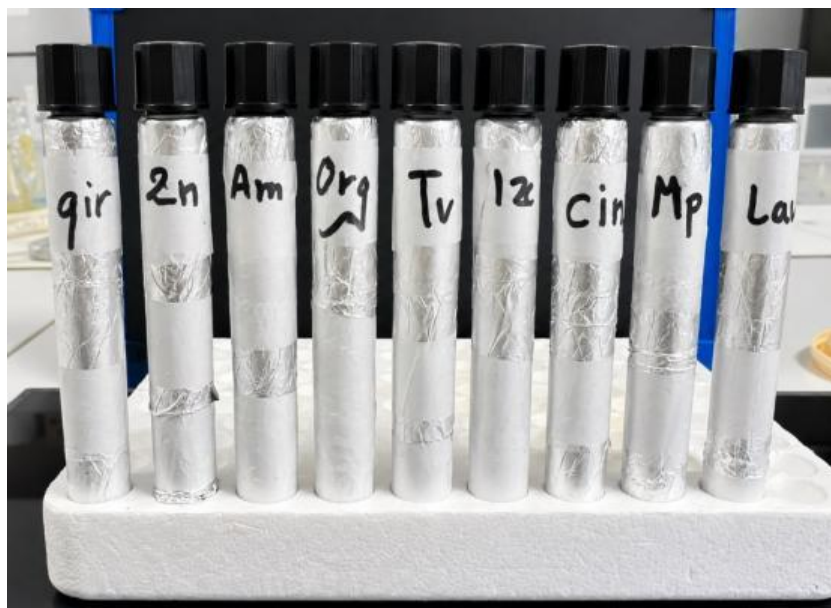


Figure 16. Huiles essentielles des plantes et épices utilisées dans l'étude

Annexe n°3

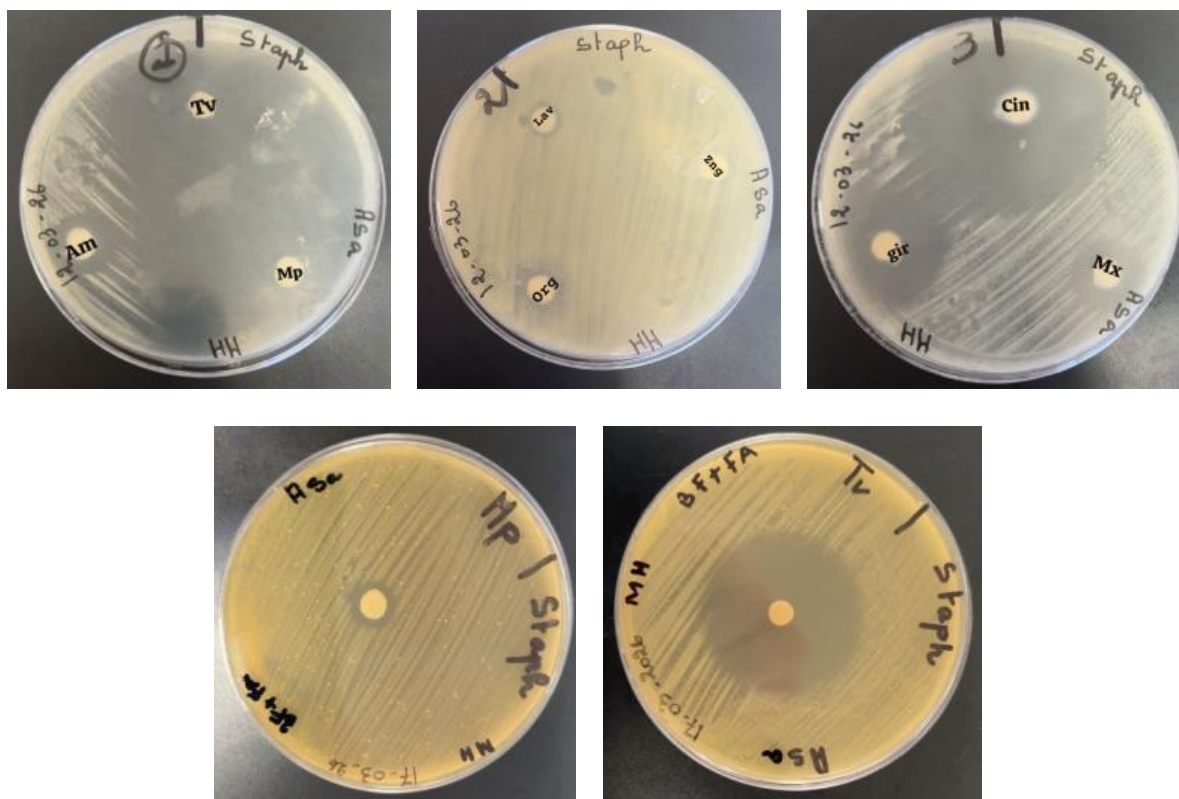


Figure 17. Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur *Staphylococcus aureus*

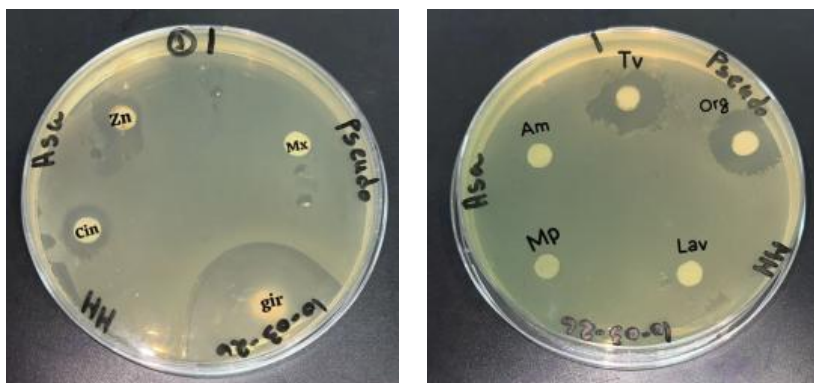


Figure 18. Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur *Pseudomonas aeruginosa*

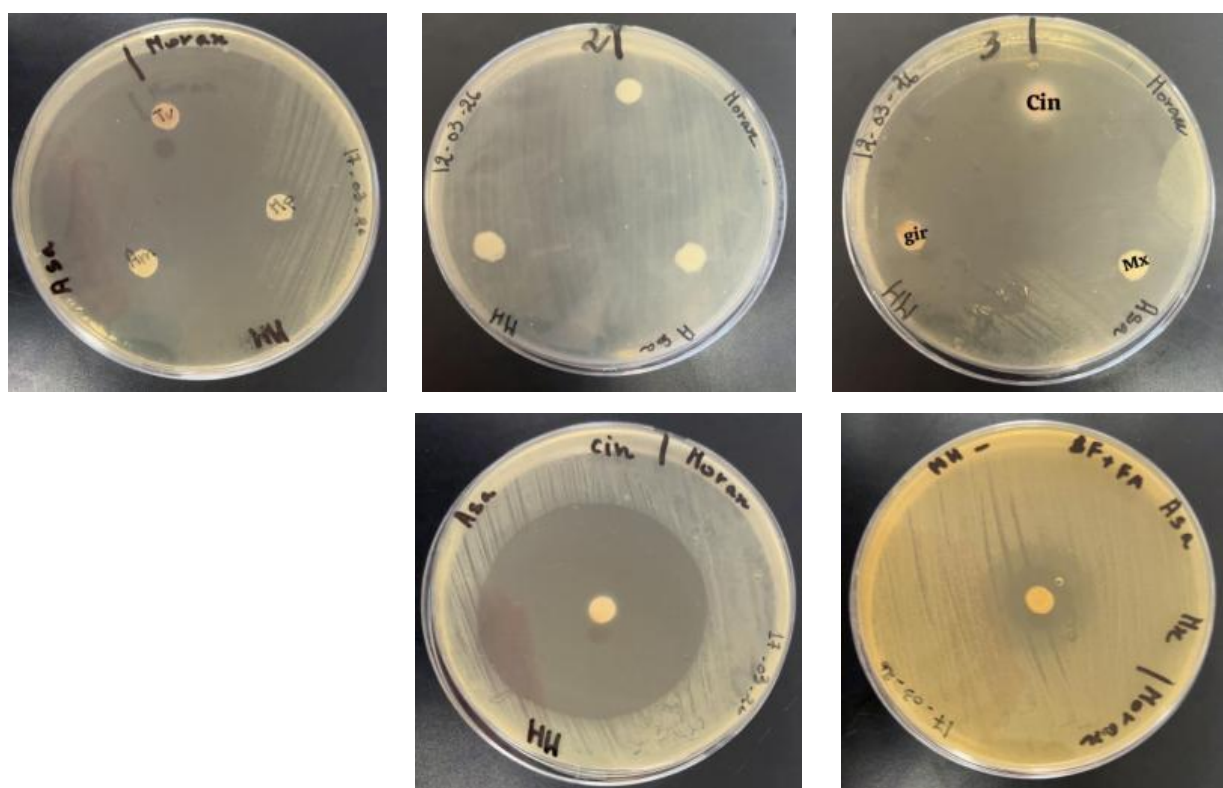


Figure 19. Résultats de l'aromatogramme des huiles essentielles sur *Moraxella catarrhalis*

Annexe 5

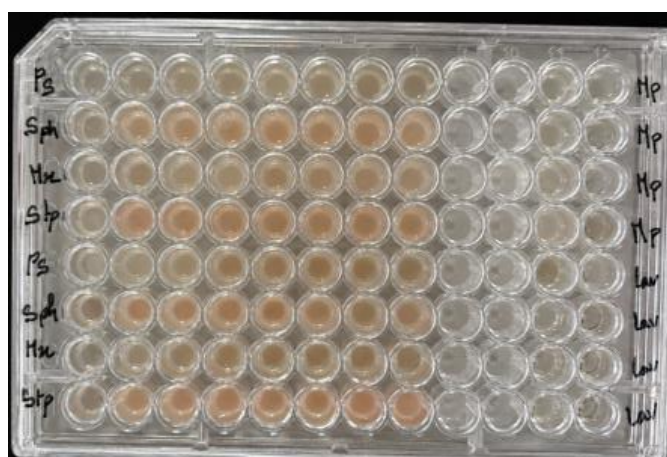


Figure 22. Détermination des concentrations minimale inhibitrices (CMI) des huiles essentielles

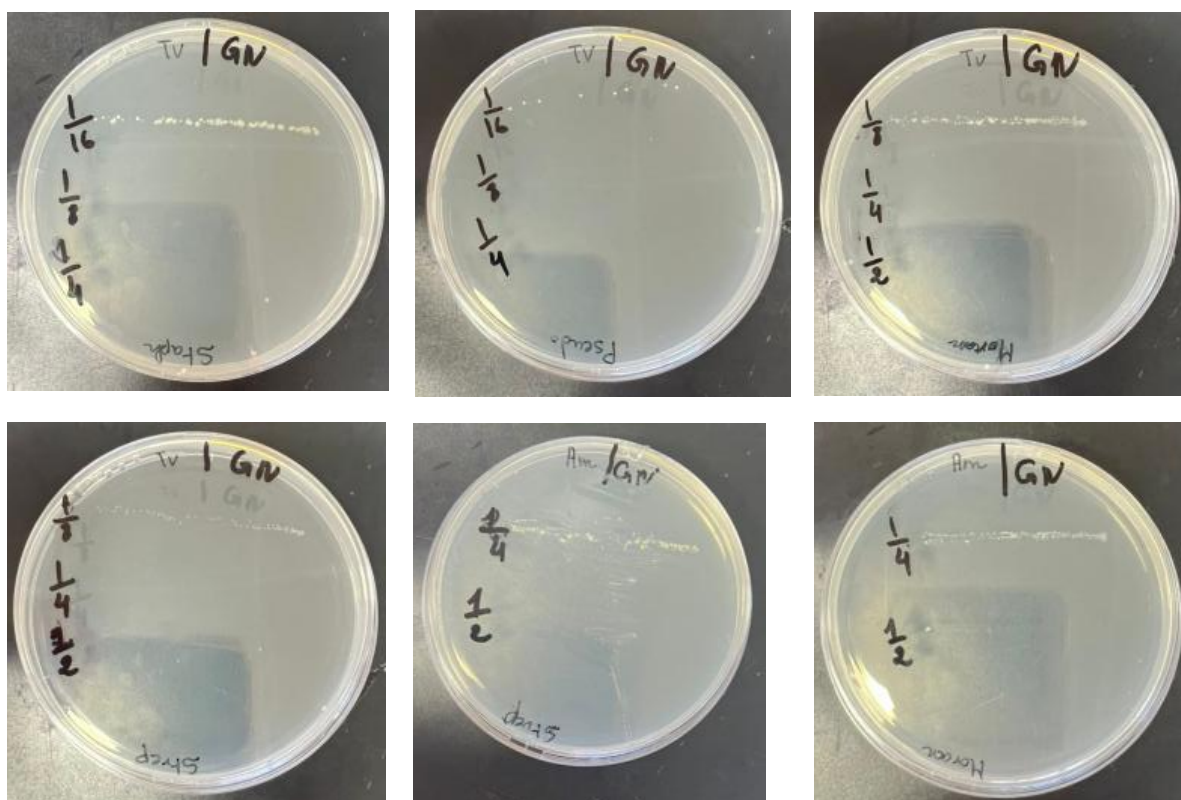


Figure 23. Détermination des concentrations minimale bactéricide (CMB) des huiles essentielles