

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saïda



كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème

Analyse phytochimique et caractérisation biologique de l'huile essentielle de la camomille locale (*Matricaria Chamomilla*)

Présenté par :

M^{lle} : Atallah Hayet

M^{lle} : Nehila Zineb

Soutenu Le :

Devant le jury composé de :

Présidente

M^{me}. Basseddik Aida

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saïda

Examineur

Mr.Mbarki Mbarek

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saïda

Rapporteur

Mr. Zeragui Bankaddour

MCB Université Dr.moulay Tahar-Saïda

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Nous remercions Dieu le Tout-Puissant qui nous a accordé la réussite et nous a aidées à réaliser ce travail, en nous donnant la santé, la détermination et la patience nécessaires pour l'achever.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre encadreur, Dr **ZERAGUI Bankaddour**, pour ses précieuses orientations, ses conseils judicieux, son suivi constant et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance :

Dr **Basseddik Aida**, Dr **Mbarki Mbarek** et Dr **HalLa Noureddine** qui nous ont honorées en acceptant d'évaluer ce travail et pour leurs remarques constructives.

Nous remercions également tous les enseignants et les ingénieurs du Laboratoire des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Saïda pour les connaissances et leur soutien technique.

Nous n'oublions pas d'adresser nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation et à l'aboutissement de ce mémoire.

Enfin, nous exprimons nos plus sincères remerciements et notre gratitude à tous ceux qui nous ont apporté leur aide et leur soutien.

Dédicace

Avec tout mon amour et ma reconnaissance, je dédie ce travail

A moi-même, et à ma chère binôme « NEHILA ZINEB »

À notre collaboration, notre courage et notre persévérance tout au long de ce parcours universitaire.

Je nous souhaite un avenir plein de réussite, de bonheur et de succès.

À mes chers parents « Abdelmoumen Atallah et Khadidja Meddahi »

Mon pilier inébranlable et mon refuge éternel. À ceux qui m'ont comblée de leur amour, soutenue par leur présence et portée par leurs prières.

Je dédie le fruit de mes efforts, en priant Dieu de faire de moi, à jamais, la fierté que vous espérez.

À mes chers frères « Mohamed, Ibrahim, Rafik, Mourad » et à ma chère sœur « Fatima el zahraa »

Vous êtes mon soutien après Dieu et les compagnons de mon chemin. Votre amour m'a donné la force dans les moments de faiblesse et l'espoir dans les instants de fatigue. Votre présence dans ma vie est une bénédiction inestimable, et nos souvenirs resteront parmi les plus précieux trésors de mon cœur.

À la première personne qui a tenu ma main lors de mon premier jour d'école, mon cher grand-père « Atallah Mohamed »

À celui qui occupe une place si précieuse dans mon cœur, à qui je porte tout mon amour et toute mon estime, et qui a contribué à ce parcours académique par son soutien et ses encouragements.

À mon cher ange « Atallah Kada »

celui qui m'a entourée de tout son amour, mon frère exemplaire. Que Dieu ait ton âme et t'accueille dans Ses plus hauts jardins. Je porterai ton nom avec fierté dans chaque accomplissement et je me souviendrai de toi dans chaque moment de bonheur.

À mes chères amies

« Djihan Aicha, Hiba Belkis, Hadjer, Houda , Hanan , Asmaa, Fatiha et Asmaa Rabou »

Pour leur soutien, leur sincérité et les beaux moments partagés.

Atallah hayet

Dédicace

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail, accompagné d'une profonde affection :

À ma chère amie **Hayat Atallah**, ma complice dans ce mémoire.

Tu es bien plus qu'une collègue de travail. Tu as été une véritable amie, une source de soutien, de motivation et de confiance tout au long de ce périple. Nous avons partagé des moments de doute et de fatigue, mais aussi des instants de réussite et de joie.

Merci pour ta patience, ton professionnalisme, ton esprit d'équipe et tous les efforts que nous avons fournis ensemble pour mener à bien ce mémoire . Je chérirai les souvenirs de cette expérience, et je suis heureux d'avoir partagé cette étape importante de ma vie avec toi.

À ma mère bien-aimée, **Houbade Mokhtaria**.

À celle qui m'a tout donné sans jamais rien demander.

À celle qui a tout quitté pour moi.

Merci, maman, pour ton amour, ta patience, ta compréhension et d'avoir supporté mes difficultés tout ce temps. N'oublie jamais à quel point je t'aime.

À mon cher père, **Nehila Djillali**.

Quoi que je fasse ou dise, je ne pourrai jamais assez te remercier. Ta présence à mes côtés a toujours été ma force pour faire face à toutes les épreuves. Je t'aime énormément.

À mon cher frère **Cheikh Abdelwahed**, à ma chère sœur **Aya**, ainsi qu'à tous mes autres frères et sœurs.

À ceux avec qui j'ai partagé les plus beaux souvenirs, les moments de joie comme de peine, et qui ont toujours été une source d'amour, de soutien et d'encouragement. Je dédie ce travail modeste avec fierté et gratitude. Merci d'être à mes côtés, pour vos paroles sincères qui m'ont donné la force et la détermination de poursuivre ma route et d'atteindre mes objectifs. Je demande à Dieu de vous protéger tous, de perpétuer l'amour et la complicité entre nous, et de vous accorder la réussite dans vos vies ainsi que la réalisation de tous vos rêves.

À mes collègues **Djihane** et **Hiba**.

Un hommage tout particulier à l'ensemble des familles **Nehila** et **Houbade**.

À celui qui m'a montré le droit chemin, en me rappelant que les autodidactes et les persévérants réussissent toujours dans la vie.

À mes proches, à mes enseignants et à tous ceux qui m'ont aidée. Que Dieu vous récompense infiniment pour toute votre bienveillance.

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

Je dédie ce mes

Nehila zineb

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	I
Liste des abréviations	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Introduction Générale	2
Partie I : Synthèse Bibliographique	
CHAPITRE I : Généralités sur les Huiles Essentielles	
1. Localisation des huiles essentielles dans la plante	6
2. Méthodes d'extraction	6
2.1. Hydrodistillation	7
2.2. Expression à froid	8
2.3. Extraction par solvants	8
3. Propriétés physico-chimiques	9
4. Composition chimique des huiles essentielles	9
4.1. Terpènes et trépénoides	10
4.2. Composés aromatiques	11
5. Analyse phytochimique des huiles essentielles	12
5.1. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)	12
5.2. Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)	12
5.3. Identification des composés chimiques	13
CHAPITRE II : Effets Biologiques, Mécanismes D'action et Toxicité des Huiles Essentielles	
1. Effets biologiques des huiles essentielles	15
1.1. Activité antibactérienne	15
1.2. Activité antifongique	17
1.3. Activité antivirale	17
1.4. Activité antioxydante	18
1.5. Activités pharmacologiques	18
2. Mécanismes d'action des huiles essentielles	19
2.1. Mode d'action antibactérien	19
2.2. Mode d'action antioxydant	20
3. Toxicité des huiles essentielles	21
CHAPITRE III : Propriétés Pharmacologiques DE Matricaria Chamomilla	

1. Présentation sur la plante étudiée (<i>Matricaria chamomilla</i>)	23
1.1. Généralités sur la famille des Astéraceae	23
1.2. Description botanique du <i>Matricaria chamomilla</i>	23
1.3. Étymologie	24
1.4. Classification botanique	25
1.4. Culture de <i>Matricaria chamomilla</i>	25
2. Répartition géographique et habitat	25
3. Utilisations traditionnelles	26
3.1. Usages traditionnels	26
3.2. Domaines thérapeutiques	26
4. Etude pharmacologique	27
5. Précautions d'emploi	28

Partie II : Expérimentale

Matériel et Méthodes

1. Objectif	32
2. Matériels	32
2.1. Matériel végétal	32
2.1.1. Zone de récolte	32
2.1.2. Récolte du matériel végétal	33
2.2. Matériel biologique	33
2.2.1. Microorganismes	33
3. Méthodes	34
3.1. Extraction des huiles essentielles	35
3.2. Détermination et calcul du rendement	35
3.3. Dosage des polyphénols totaux	35
3.4. Évaluation de l'activité antioxydante	36
3.4.1. Piégeage du radical DPPH [•]	37
3.4.2. Pouvoir réducteur du fer	38
3.5. Évaluation de l'activité antimicrobienne	40
3.5.1. Préparation des solutions des huiles essentielles	40
3.5.2. Préparation de l'inoculum	40
3.5.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) par la méthode des micro-dilutions sur milieu liquide	40
3.5.4. Détermination des concentrations minimales bactéricides (CMB)	41
3.6. Étude de l'effet antibactérien de l'huile essentielle	42

3.6.1. Conditions expérimentales générales	42
3.6.2. Préparation des cellules	43
3.6.3. Tests de la viabilité cellulaire	43
3.6.4. Tolérance au sel	43
3.6.5. Activité des lipases	44
<i>Résultats et Discussion</i>	
1. Rendement en huile essentielle de Matricaria chamomilla (M.C.)	46
2. Dosage des polyphénols totaux	47
3. Évaluation de l'activité antioxydante	49
3.1. Piégeage du radical DPPH [•]	49
3.2. Réduction de fer (FRAP)	51
4. Évaluation de l'activité antibactérienne : détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et des concentrations minimales bactéricides (CMB)	53
5. Étude de l'effet antibactérien des huiles essentielles de Matricaria chamomilla	56
5.1. Test de la viabilité cellulaire	57
5.2. Tolérance au sel	58
5.3. Activité des lipases	58
<i>Conclusion Générale</i>	62
<i>Références bibliographiques</i>	63
<i>Annexes</i>	

Abstract :

This study analyzed the essential oil of local chamomile (*Matricaria chamomilla*). Hydrodistillation extraction yielded 1.36% with a total polyphenol content of 4.43 mg GAE/g oil.

The oil exhibited strong antioxidant activity with an IC₅₀ of 0.31 µg/mL (DPPH), outperforming ascorbic acid (0.59), and an EC₅₀ of 12.5 in FRAP assay (vs 1.49).

Antibacterial activity was higher against *Bacillus subtilis* (MIC = 0.7187 µg/mL ; MBC = 1.4374 µg/mL) than *E. coli* (MIC = 46 µg/mL). The oil caused an immediate viability drop (6.4×10^2 to 2.8×10^2 CFU) and, after 60 min in saline medium, a decrease to $6.4 \times 10^{-4}\%$ in colony-forming ability, with no colonies at MIC, indicating severe membrane .

Local chamomile essential oil shows promising antioxidant and antibacterial properties for pharmaceutical, food, and biotechnological applications.

Keywords: *Matricaria chamomilla*; essential oil; total polyphenols; antioxidant activity; antibacterial activity.

Résumé :

Cette étude a analysé l'huile essentielle de camomille locale (*Matricaria chamomilla*).

L'extraction par hydrodistillation a donné un rendement de 1,36% et une teneur en polyphénols totaux de 4,43 mg EAG/g d'huile.

L'huile essentielle a montré une activité antioxydante remarquable avec une IC₅₀ de 0,31 µg/mL (DPPH), supérieure à l'acide ascorbique (0,59), et une EC₅₀ de 12,5 au test FRAP (contre 1,49).

L'activité antibactérienne était plus prononcée sur *Bacillus subtilis* (CMI = 0,7187 µg/mL ; CMB = 1,4374 µg/mL) que sur *E. coli* (CMI = 46 µg/mL). L'huile a induit une baisse immédiate de la viabilité ($6,4 \times 10^2$ à $2,8 \times 10^2$ UFC) et, après 60 min en milieu salin, une chute à $6,4 \times 10^{-40}\%$ de la capacité de croissance, avec absence totale de colonies à la CMI, traduisant une altération membranaire sévère.

L'huile essentielle de camomille locale possède un fort potentiel antioxydant et antibactérien pour des applications pharmaceutiques, agroalimentaires et biotechnologiques

Mots-clés : *Matricaria chamomilla* ; huile essentielle ; polyphénols totaux ; activité antioxydante ; activité antibactérienne.

ملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل الزيت العطري للبابونج المحلي (البابونج الطبي) وتقييم خصائصه البيولوجية. وقد تم استخلاص الزيت بطريقة التقطير المائي، بمردود بلغ 1.36٪، بينما بلغ محتوى البوليفينولات الكلية 4.43 ملليغرام مكافئ حمض الغاليك لكل غرام من الزيت.

أظهر الزيت العطري نشاطاً قوياً مضاداً للأكسدة؛ ففي اختبار الجذر الحر ثنائي فينيل بيكريل هيدرازيل بلغ التركيز اللازم لتنشيط 50٪ من الجذور الحرة 0.31 ميكروغرام لكل مليلتر، متفوقاً على حمض الأسكوربيك الذي بلغ 0.59 ميكروغرام لكل مليلتر. أما في اختبار القدرة الاختزالية للحديد، فقد بلغ التركيز الفعال لتحقيق 50٪ من النشاط 12.5 ميكروغرام لكل مليلتر، مقارنة بـ 1.49 ميكروغرام لكل مليلتر لحمض الأسكوربيك.

وبالنسبة للنشاط المضاد للبكتيريا، كانت بكتيريا العصوية الرقيقة أكثر حساسية، إذ بلغ الحد الأدنى للتركيز المثبط 0.7187 ميكروغرام لكل مليلتر، والحد الأدنى للتركيز القاتل 1.4374 ميكروغرام لكل مليلتر، في حين بلغ الحد الأدنى للتركيز المثبط لبكتيريا الإشريكية القولونية 46 ميكروغراماً لكل مليلتر. كما تسبب الزيت في انخفاض فوري في حيوية الخلايا البكتيرية من 100٪ إلى ما بين $10^2 \times 6.4$ و $10^2 \times 2.8$ وحدة مكوّنة للمستعمرات، وبعد 60 دقيقة من المعاملة في وسط ملحي انخفضت القدرة على تكوين المستعمرات إلى 10×6.4 -4٪، مع غياب تام للمستعمرات عند الحد الأدنى للتركيز المثبط، مما يشير إلى حدوث تلف في الغشاء الخلوي واضطراب في الوظائف الحيوية للبكتيريا.

وتُظهر هذه النتائج أن الزيت العطري للبابونج المحلي يمتلك خصائص واعدة مضادة للأكسدة ومضادة للبكتيريا، مما يجعله مرشحاً للاستخدام في التطبيقات الصيدلانية، والصناعات الغذائية، والتكنولوجيا الحيوية.

الكلمات المفتاحية: البابونج ؛ زيت عطري؛ بوليفينولات كلية؛ نشاط مضاد للأكسدة؛ نشاط مضاد للبكتيريا.

Liste des abréviations

ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
AST	AgarSaltyTween
ATP	Adénosine Triphosphate
B.subtilus	Bacillus subtilus
BN	Bouillon Nutritive
BVDV	Virus de la Diarrhée Virale Bovine
CMB	Concentration Minimale Bactéricide
CMI	Concentration Minimale Inhibitrice
CPG	chromatographie en phase gazeuse
D.O	Densité optique
DMSO	Dimethylsulfoxyde
DPPH	(2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)
E. coli	Escherichia coli
EAG	Équivalent d'acide gallique
FeCl3	chlorure de fer
FID	Détecteur à Ionisation de Flamme
FRAP	Pouvoir réducteur du fer
GN	Gélose Nutritive
GPC-MS	Couplage Chromatographie en Phase Gazeuse/Spectrométrie de Masse
H₂SO₄	D'acide sulfurique
H5N1	Virus de la Grippe Aviaire
HE	Huile Essentielle
HEs	Huiles Essentielles
HSV-1	Virus de l'herpès simplex de type 1
HSV-2	Virus de l'herpès simplex de type 2
K₃Fe(CN) 6	Ferricyanure de potassium
LAPRONA	Laboratoire des Produits Naturels (Université de Tlemcen)

M.C	Matricaria chamomilla
MH	Mueller-Hinton
MHA	Muëller Hinton Agar
MHB	Muëller Hinton Bouillon
Min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimètre
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris)
Mo5+	Molybdène pentavalent
Mo6+	Molybdène hexavalent
MVS	Masse du matériel végétal sec
Na₃PO₄	Phosphate de sodium
NaCl	Chlorure de Sodium
PBS	Solution tampon phosphate
PCL	Photochimiluminescence
PH	Potentiel d'Hydrogène
R	Rendement
RMN	Résonance magnétique nucléaire
RSV	Virus Respiratoire Syncytial
ROS	Espèces Réactives de l'Oxygène
SERM	Stimulation sélective du récepteur estrogénique
SM	Spectrométrie de Masse
TCA	Capacité antioxydante totale
UFC	Unités Formant Colonies
UV	Ultraviolet
°C	Degré Celsius
μ	Microlitre
μg	Microgramme

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification de l'espèce de de <i>Matricaria chamomilla</i> L	25
Tableau 02: Les différentes activités pharmacologiques et les composés bioactifs de la camomille	28
Tableau 03 : Origine et caractéristique du matériel végétal	33
Tableau 04 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien	34
Tableau 05 : Rendements massiques des huiles essentielles	46
Tableau 06 : Teneur en polyphénols totaux de l'huile essentielle de la camomille	48
Tableau 07: CI50 (ug /ml) d'acide ascorbique et de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i>	50
Tableau 08 : CE50 (ug/mL) de l'acide ascorbique et de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i>	53
Tableau 09 : Concentrations minimales inhibitrices (CMI) et concentrations minimales bactéricides (CMB) (mg/mL) de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i>	55
Tableau 10 : Concentrations des huiles essentielles de <i>Matricaria chamomilla</i> utilisées lors des trois expérimentations en ug/ml	57
Tableau 11 : Variation de la capacité de formation des colonies de <i>Bacillus subtilis</i> en fonction des concentrations de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i> sur milieu GN- NaCl	59
Tableau12 : Comparaison de la croissance de <i>Bacillus subtilis</i> en milieu AST avec et sans huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i> (CMI, 60 min)	60

Listes des figures

Figure 01 : Montage d'extraction par la technique d'hydrodistillation	7
Figure 02 : Extraction par expression à froid	8
Figure 03 : Facteurs affectant la stabilité des huiles essentielles	9
Figure 04 : Structures représentatives des terpènes hydrocarbonés et des terpènes oxygénés	10
Figure 05 : Structure des composés aromatiques dérivés de phénylpropane	11
Figure 06 : Sites d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne	16
Figure 07 : Différentes parties du Matricaire camomille	24
Figure 08 : Les propriétés biologiques de <i>Matricaria chamomilla</i>	27
Figure 09 : Carte géographique représente la zone d'étude Ras El Oued, Bordj Bou Arreridj	32
Figure 10 : Plante <i>Matricaria chamomilla</i> séchée et broyée	35
Figure 11 : Hydrodistillation type Cleavenger	35
Figure 12 : Représente les étapes de dosage des polyphénols totaux	36
Figure 13 : Mécanisme de réaction de la méthode DPPH	37
Figure 14 : Mécanisme de réaction de la méthode FRAP	39
Figure 15 : Utilisation de la microplaque (la méthode des micro-dilutions sur milieu liquide)	42
Figure 16 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique utilisée pour le dosage des polyphénols Totaux	47
Figure 17 : Les pourcentages d'inhibitions en fonctions des concentrations de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i>	49
Figure 18 : Les pourcentages d'inhibitions en fonctions des concentrations d'acide ascorbique	50
Figure 19 : Évolution du pouvoir réducteur du fer en fonction des différentes concentrations de l'antioxydant de synthèse et de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i>	52
Figure 20 : Pouvoir réducteur du fer de l'acide ascorbique à différentes concentrations	53
Figure 21 : présente les résultats des CMI et des CMB de l'huile essentielle de <i>Matricaria chamomilla</i> vis-à-vis des souches bactériennes	54
Figure 22 : Évaluation de la viabilité cellulaire	58

Introduction

Face à l'émergence croissante des résistances aux antibiotiques et à la nécessité de développer des alternatives thérapeutiques plus sûres et respectueuses de l'environnement, les plantes médicinales suscitent un intérêt scientifique considérable. Depuis des siècles, elles occupent une place essentielle dans les systèmes de médecine traditionnelle et constituent encore aujourd'hui la principale source de soins pour près de 80 % de la population des pays en développement **(Magalhães et al., 2022)**. Cette importance est principalement liée à leur richesse en métabolites secondaires, notamment les polyphénols, flavonoïdes, tanins, alcaloïdes et huiles essentielles, reconnus pour leurs nombreuses activités biologiques et pharmacologiques.

Parmi les espèces médicinales les plus étudiées figure la matricaire camomille (*Matricaria chamomilla* L.), appartenant à la famille des Astéracées. Surnommée « l'étoile des plantes médicinales », cette espèce est utilisée depuis l'Antiquité pour le traitement de diverses affections, notamment les troubles digestifs, les inflammations, les infections cutanées ainsi que certains troubles nerveux **(Chen et al., 2024 ; El Mihyaoui et al., 2025)**. Son intérêt thérapeutique est attribué à la présence de nombreux composés bioactifs, tels que les flavonoïdes (apigénine, lutéoline, quercétine), les sesquiterpènes (α -bisabolol, chamazulène), les coumarines et d'autres composés phénoliques qui lui confèrent d'importantes propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et sédatives **(El Mihyaoui et al., 2025 ; Kherraz et al., 2023)**.

Les recherches récentes ont mis en évidence le potentiel pharmacologique remarquable de cette plante. Des études *in silico* ont montré que certains de ses constituants majeurs interagissent avec les récepteurs GABAA, ce qui pourrait expliquer ses effets anxiolytiques et sédatifs **(Magalhães et al., 2022)**. D'autres travaux ont démontré l'activité cytotoxique de certains extraits de camomille contre des lignées cellulaires cancéreuses, notamment celles du cancer du sein (MCF-7) et de la prostate (PC-3), tout en présentant une faible toxicité vis-à-vis des cellules saines **(El Mihyaoui et al., 2025)**. Par ailleurs, plusieurs études ont confirmé son activité antioxydante et antimicrobienne, renforçant ainsi son intérêt dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et cosmétique.

L'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* constitue l'une des fractions les plus valorisées de cette plante. Toutefois, sa composition chimique ainsi que ses propriétés biologiques peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions climatiques, la période de récolte et les techniques d'extraction

utilisées (Kherraz et al., 2023 ; Chen et al., 2024). Dans ce contexte, l'étude des huiles essentielles issues de populations locales représente une étape essentielle pour la valorisation des ressources végétales nationales.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif est d'étudier les propriétés biochimiques et biologiques de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* récoltée dans la région de Ras El Oued (Bordj Bou Arreridj, Algérie). Dans un premier temps, l'huile essentielle a été caractérisée et sa teneur en polyphénols totaux a été déterminée afin d'évaluer sa richesse en composés bioactifs. Dans un second temps, son activité antioxydante a été étudiée à l'aide du test de piégeage du radical libre DPPH• et de la mesure du pouvoir réducteur du fer. L'activité antibactérienne a ensuite été évaluée par la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et des concentrations minimales bactéricides (CMB) vis-à-vis de deux souches bactériennes de référence : *Escherichia coli* et *Bacillus subtilis*. Enfin, l'effet de cette huile essentielle sur différents paramètres physiologiques de *Bacillus subtilis*, notamment la viabilité cellulaire, la tolérance au sel et l'activité des lipases, a été examiné.

Ce mémoire est structuré en trois parties. La première partie présente une synthèse bibliographique portant sur les plantes médicinales, les métabolites secondaires, les huiles essentielles ainsi que les propriétés pharmacologiques de *Matricaria chamomilla*. La deuxième partie décrit le matériel biologique et les méthodes expérimentales utilisées. Enfin, la troisième partie est consacrée à la présentation, à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus à la lumière des données rapportées dans la littérature scientifique.

Partie I : Synthèse Bibliographique

*Chapitre I : Huiles essentielles : généralités, composition chimique et
méthodes d'extraction*

Les huiles essentielles sont des extraits purs et naturels obtenus à partir de plantes aromatiques. Ce sont des huiles volatiles à forte concentration en composés actifs, qui représentent l'essence même de la plante.

Une huile essentielle est définie comme un mélange chimique complexe, liquide à température ambiante. La volatilité de ses composants lui confère un parfum aromatique puissant et caractéristique. Elle se distingue des huiles grasses par ses propriétés physiques et sa composition chimique : elle s'évapore à la chaleur, ne laissant qu'une légère tache sur le papier, sans aucun résidu permanent. **(Sahnoune et Hafsi, 2024)**.

Les huiles essentielles ont acquis une importance considérable dans de nombreux domaines, tels que la parfumerie, l'agroalimentaire et la médecine.

L'Association française de Normalisation **(AFNOR)** donne la définition précise et officielle d'une huile essentielle : « Produit extrait d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par distillation à la vapeur, soit par procédés mécaniques à partir d'écorces d'agrumes, soit par distillation sèche, après séparation de toutes les phases aqueuses par des procédés physiques qui n'en altèrent pas significativement la composition ». **(Kfoury et Fourmentin, 2024)**.

Ce chapitre vise à présenter les notions générales relatives aux huiles essentielles, leurs sources végétales, leurs principales méthodes d'extraction, leurs propriétés physico-chimiques ainsi que leur composition chimique, afin de poser les bases nécessaires à leur étude approfondie.

1. Localisation des huiles essentielles dans la plante

Les huiles essentielles sont largement répandues dans le règne végétal, et certaines familles de plantes en sont particulièrement riches, comme les conifères, les myrtacées, les ombellifères, labiées et composées **(Sauvage, 1974)**. Ces huiles sont produites par des organes sécréteurs présents dans différentes parties des plantes. Ces organes peuvent être des cellules micro-épidermiques dans les pétales de rose, des poils sécréteurs à la périphérie des calices, des feuilles et des tiges, comme chez les Lamiacées, ou encore de grandes cellules au sein des tissus des tiges, du phloème, des racines, des feuilles et des graines **(Ariba et al., 2020)**.

2. Méthodes d'extraction

Les huiles essentielles sont extraites en très petites quantités, ce qui en fait des substances fragiles et rares. Le choix de la méthode d'extraction dépend de la matière végétale, des propriétés physico-chimiques de l'huile, de l'usage prévu et du parfum **(Samate., 2001)**. Par

conséquent, plusieurs méthodes ont été mises au point pour extraire les composés aromatiques de leur matière première, notamment Hydrodistillation la plus ancienne, la pression à froid et l'extraction par solvant. Ces méthodes figurent parmi les plus importantes pour la production d'huiles aromatiques conformes à la Pharmacopée européenne, car elles permettent l'extraction de nombreux composants et composés aromatiques essentiels (Mnayer., 2014).

2.1. Hydrodistillation

L'hydrodistillation est la méthode la plus simple d'extraction des huiles essentielles. La figure 01 représente Le montage d'extraction par la technique d'hydrodistillation. Ce procédé consiste à immerger la matière végétale dans un bain-marie et à faire bouillir le mélange sous pression atmosphérique. La chaleur provoque la rupture des cellules végétales, libérant ainsi les composés aromatiques, tandis que l'eau pénètre dans les tissus végétaux et dissout une partie de l'huile essentielle. (Bokatem et al., 2019). Puis, ce mélange riche en composés volatils remonte à la surface en s'associant à la vapeur d'eau, laquelle est dirigée vers un condenseur parcouru par de l'eau froide, où il se liquéfie en un mélange d'eau et d'huile essentielle. Ce dernier est ensuite recueilli dans un essencier, où il se sépare en deux phases non miscibles : une phase aqueuse et une phase huileuse (Bessoumbes., 2008). Bien que la distillation, qu'elle soit par hydrodistillation ou par entraînement à la vapeur, soit considérée comme la méthode de référence pour l'extraction des huiles essentielles, l'exposition prolongée à la chaleur peut induire des altérations chimiques ainsi qu'une dégradation des composés thermolabiles. Par conséquent, la composition de l'huile essentielle obtenue peut différer de celle de l'huile native, en particulier lorsque la durée de distillation est étendue (environ 3 heures).

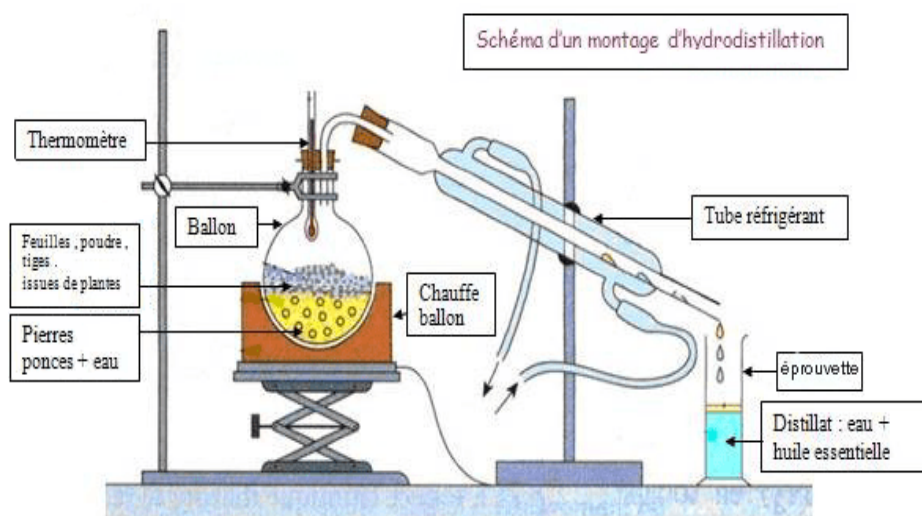


Figure 01 : Montage d'extraction par la technique d'hydrodistillation
(Jouault et al,2012).

2.2. Expression à froid

Le pressage à froid est considéré comme l'une des méthodes d'extraction les plus efficaces pour préserver les propriétés du produit extrait, comme illustré à la **figure 02**, car il ne nécessite pas de chaleur. Il est notamment utilisé pour extraire les huiles essentielles volatiles des zestes d'agrumes par broyage mécanique. Ce procédé consiste à ouvrir les zestes des fruits, riches en cellules sécrétrices, afin de recueillir l'huile essentielle extraite à l'aide d'un filet d'eau. Ce procédé produit tous les sous-produits habituels de la distillation à la vapeur, d'où l'appellation « huile essentielle » **(Martini et Seiler., 1999)**. Cette technique est la plus simple pour la collecte des huiles essentielles, mais aussi la plus limitée.

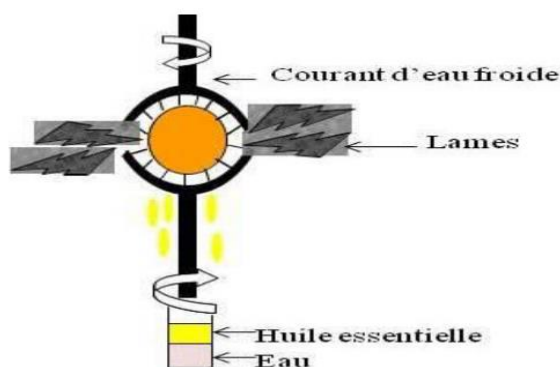


Figure 02 : Extraction par expression à froid **(Mnayer., 2014)**.

2.3. Extraction par solvants

La technique d'extraction par solvants est une méthode classique qui repose sur la macération de la matière végétale dans un solvant organique volatil, non polaire tel que le pentane ou l'hexane, ou semi-polaire comme l'éthanol. Ces solvants permettent d'extraire les composés aromatiques à travers des opérations de lavage successives, conduisant à leur saturation en ces molécules. Le solvant est ensuite éliminé par distillation sous pression réduite afin d'obtenir l'extract. Cependant, en raison du coût élevé de certains solvants, ainsi que des préoccupations liées à la sécurité, à la toxicité et aux réglementations environnementales, l'extraction par solvants reste limitée, malgré des rendements généralement plus élevés. **(Hernandez Ochoa .,2005)**.

3. Propriétés physico-chimiques

Les huiles essentielles sont généralement incolores ou légèrement jaunâtres, mais leur couleur peut varier selon leur composition chimique. Cette composition est constituée de composés volatils qui les rendent très sensibles à la chaleur et à la lumière, comme représentant dans **la figure 03**. Elles sont également inflammables, oxydables et facilement décomposables (**Jack et Paltz., 1997**). Ces huiles se caractérisent par leur faible polarité, leur insolubilité dans l'eau et leur forte solubilité dans les graisses et les alcools (**Meyerheinrich et al., 2005**). Il est donc essentiel de conserver les huiles essentielles dans des flacons opaques, à l'abri de l'air et de la lumière, à basse température (4 °C).

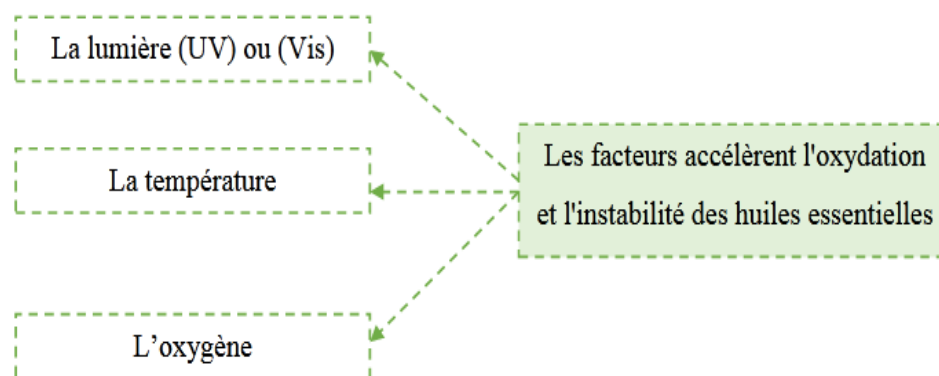


Figure 03 : Facteurs affectant la stabilité des huiles essentielles (**Seghiri et Hacı .,2023**).

4. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges extrêmement complexes, composés généralement d'environ 20 à 60 constituants à des concentrations variables. Parmi eux deux ou trois constituants principaux sont présents à des proportions de (20 à 70 %) par rapport aux autres composants, qui se trouvent le plus souvent en quantités faibles. Ces constituants sont représentés par les terpènes et les terpénoïdes dérivés des terpènes, ainsi que par des composés aromatiques de faible poids moléculaire (**Chouhan et al., 2017**)

4.1. Terpènes et terpénoïdes

Les terpènes sont des hydrocarbures constitués par l'union d'unités isopréniques (C_5H_8) et les molécules de ce groupe sont classées selon le nombre d'atomes de carbone. Ils constituent l'une des plus grandes familles les plus diversifiées sur le plan structural. Ils comprennent une

catégorie de composés appelée terpénoïdes « isoprénoïdes » représentée sur **la figure 04**, qui est une catégorie modifiée des terpènes et plus nombreuse que ceux-ci, en fonction du nombre de carbones présents ainsi que de la nature des liaisons (saturées ou insaturées) et de la nature du groupe fonctionnel (**Damião et al., 2023**). Ces groupes fonctionnels sont :

- Phénol: C₆H₅-OH (thymol),
- Alcool: R-OH (menthol),
- Aldéhyde: R-COH (citronellal),
- Cétone: R₁-CO-R₂ (carvone),
- Ester: R₁-COO-R₂ (acetate de linalyle),
- Ether: R₁-O-R₂ (eucalyptol),
- Peroxide: R₁-O-O-R₂ (ascaridol).

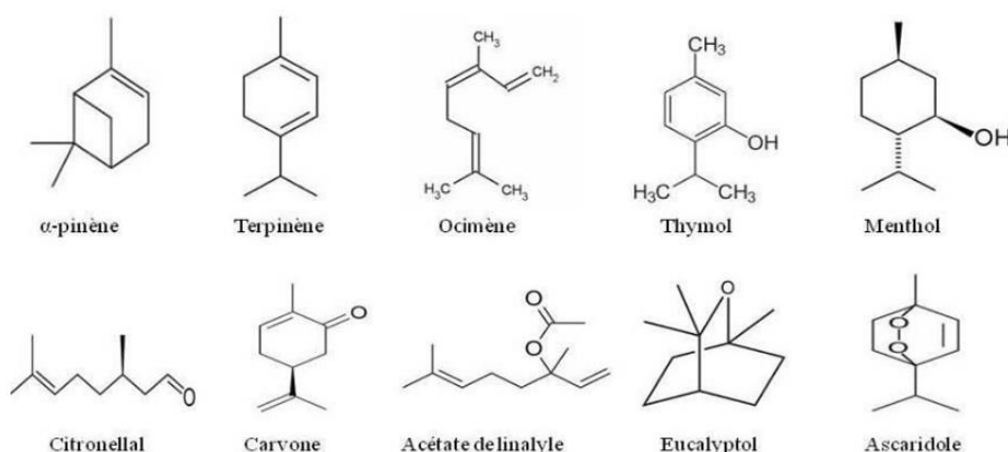


Figure 04 : Structures représentatives des terpènes hydrocarbonés et des terpènes oxygénés (**Fillatre., 2011**).

4.2. Composés aromatiques

Les composés aromatiques sont constitués de dérivés du phénylpropane (**C₆-C₃**). Comme le montre et comprennent des phénols tels que (eugénol), des aldéhydes (Cinnamaldehyde) et (Alcool: cinnamic alcohol), ainsi que des dérivés méthoxylés (anéthol et estragole) ou des dérivés méthylènedioxy (le safrole). (**Bakkali., 2007**), Ils sont moins fréquents que les

composés terpéniques, mais jouent également un rôle important dans les propriétés sensorielles et olfactives aux côtés des terpènes et des terpénoïdes. **Figure05**

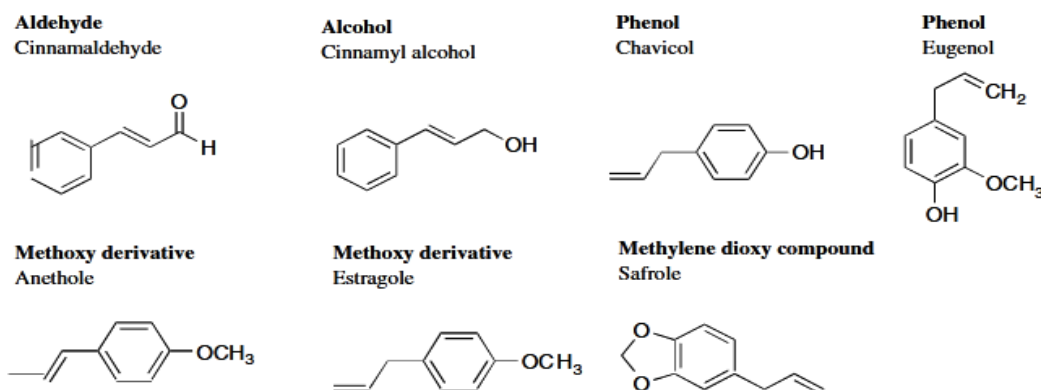


Figure 05 : Structure des composés aromatiques dérivés de phénylpropane (Bakkali ., 2007).

La composition chimique des huiles essentielles varie en termes de qualité, de quantité et les constituants , en raison de l'influence de plusieurs facteurs externes (climat, sol, environnement), de facteurs internes (la constitution génétique qui joue un rôle déterminant dans la composition chimique des huiles essentielles en raison de mutations ou d'hybridations entre différentes espèces de plantes aromatiques), ainsi que de facteurs techniques (type de culture, méthode de récolte), en plus des méthodes d'extraction(**Benhamidat. L., 2018**).

Par conséquent, pour obtenir des huiles essentielles à la composition stable, elles doivent être extraites dans les mêmes conditions à partir du même organe végétal, ayant poussé dans le même sol et sous le même climat, et récolté à la même saison.

5. Analyse phytochimique des huiles essentielles

L'analyse chimique des huiles essentielles permet d'identifier et de quantifier ses composants. Les progrès des méthodes analytiques permettent d'identifier rapidement un très grand nombre de composés. En effet, la chromatographie en phase gazeuse (**CPG**), notamment lorsqu'elle est couplée à la spectrométrie de masse (**GC-MS**), constitue la méthode de référence pour l'analyse des huiles essentielles. Cette technique permet l'identification et la quantification des différents constituants, même dans des mélanges très complexes et présentant une grande diversité de volatilité. Grâce à la spectrométrie de masse, les composés

séparés par la **CPG** peuvent être caractérisés avec une grande précision à partir de leurs spectres de masse (**Bouras ., 2018**).

5.1. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

CPG est une technique analytique reposant sur la séparation de composés se trouvant à l'état gazeux ou pouvant être transformés en vapeur par chauffage sans subir de dégradation. Elle constitue la méthode de séparation la plus courante pour étudier la composition chimique des huiles essentielles, car elle permet d'isoler les différents constituants à partir de très faibles volumes d'échantillon, de l'ordre du millilitre, voire du microlitre.

Les avancées technologiques concernant les colonnes capillaires, les phases stationnaires ainsi que les détecteurs à ionisation de flamme (**FID**) ont rendu la **CPG** indispensable dans l'analyse des huiles essentielles (**Paolini J., 2005**).

Chaque composé est identifié grâce à un indice déterminé à partir d'une série d'alcane – ou plus exceptionnellement d'esters méthyliques linéaires – dans des conditions d'analyse identiques à celles des échantillons. Il s'agit de l'indice de Kováts (**Kováts., 1965**) ou, lorsque la température est programmée, d'indices de rétention.

Bien que spécifiques à chaque substance, les temps de rétention peuvent varier d'une analyse à l'autre, notamment en raison du vieillissement des colonnes (**Paolini J., 2005**).

5.2. Chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)

La diffusion large de la technique **CPG/SM** dans les laboratoires d'analyse des arômes et des composés odorants s'explique par plusieurs facteurs : la facilité de couplage entre les deux instruments, les améliorations apportées au traitement du signal en temps réel, la disponibilité de bibliothèques de spectres de masse, ainsi que la mise au point d'algorithmes performants permettant de comparer le spectre d'un composé inconnu à ceux enregistrés dans ces bases de données. L'utilisation d'une colonne capillaire en **CPG** constitue un excellent moyen d'introduire l'échantillon dans le spectromètre de masse. À cet effet, la colonne capillaire est reliée directement à la source d'ions, où l'ionisation est réalisée par impact électronique (**Bouras ., 2018**).

5.3. Identification des composés chimique

L'identification des composés chimiques constitue une étape essentielle dans l'étude des huiles essentielles, car elle permet de déterminer leur composition et de mieux comprendre leurs propriétés biologiques et aromatiques. Autrefois, cette identification reposait principalement sur des paramètres physicochimiques tels que l'indice de réfraction, la densité,

le pouvoir rotatoire et certains indices chimiques. Avec le développement des techniques analytiques modernes, la chromatographie en phase gazeuse (CPG ou GC) est devenue la méthode la plus utilisée pour l'analyse des composés volatils des huiles essentielles. Elle est souvent couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), permettant une identification précise et fiable des constituants grâce à la comparaison des temps de rétention, des indices de rétention et des spectres de masse avec les données de référence. D'autres techniques, comme la résonance magnétique nucléaire (RMN), peuvent également être utilisées pour compléter l'identification des composés **(Gilles., 2007)**.

En définitive, les huiles essentielles représentent des substances naturelles à forte valeur ajoutée, dont la compréhension des propriétés physico-chimiques et de la composition chimique constitue une étape fondamentale pour leur utilisation optimale dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et industriel.

Chapitre II

Résultats et Discussion

Depuis plusieurs décennies, de nombreuses études ont mis en évidence leurs activités antibactériennes, antifongiques, antivirales, antioxydantes et anti-inflammatoires. Ces propriétés sont principalement liées à leur composition chimique et à la capacité de leurs constituants à interagir avec les membranes cellulaires, les systèmes enzymatiques et les mécanismes de défense des organismes vivants. De plus, certaines huiles essentielles présentent des effets pharmacologiques prometteurs, notamment dans la prévention du stress oxydatif et le traitement de diverses pathologies.

Toutefois, malgré leurs nombreux bénéfices, les huiles essentielles ne sont pas exemptes de risques. Leur utilisation nécessite une bonne connaissance de leurs mécanismes d'action ainsi que de leur potentiel toxique afin d'assurer un emploi sûr et efficace.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les principaux effets biologiques des huiles essentielles, leurs mécanismes d'action et les aspects liés à leur toxicité, afin de mieux comprendre leur importance dans les applications thérapeutiques et industrielles.

1. Effets biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles exercent divers effets biologiques, allant des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes aux actions cytotoxiques et anti-inflammatoires, en fonction de leur composition chimique et de la concentration utilisée. Ces effets sont étudiés scientifiquement depuis des décennies, avec des applications en santé, alimentation et cosmétique (**Edris.,2007 ; Pezantes-Orellana et al., 2024**).

1.1. Activité antibactérienne

Un agent antimicrobien est une substance d'origine synthétique ou naturelle, utilisée pour la destruction ou l'inhibition de la croissance de micro-organismes, notamment des bactéries (**Courvalin et al., 1990**). Beaucoup de plantes aromatiques et leurs huiles essentielles montrent une activité antimicrobienne qui pourrait empêcher la croissance des microorganismes d'altération et pathogènes, améliorant de ce fait la sécurité alimentaire (**Sacchetti et al ., 2005 ; Souza et al., 2006**).

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est principalement liée à leur composition chimique, en particulier de leurs composés volatils majeurs. Jusqu'à présent, il n'existe pas d'étude pouvant nous donner une idée claire et précise sur le mode d'action des HEs. Étant donné la complexité de leur composition chimique, tout laisse à penser que ce mode d'action est assez complexe et difficile à cerner du point de vue moléculaire (**Guinoiseau ., 2010**).

Les caractéristiques des huiles essentielles sont attribuées aux dérivés terpénoides et phénylpropanoïdes dont elles sont constituées. L'activité de ces molécules bioactives dépend, à la fois, du caractère lipophile de leur squelette hydrocarboné et du caractère hydrophile de leurs groupements fonctionnels. Les molécules oxygénées sont généralement plus actives que les molécules hydrocarbonées (**Guinoiseau, 2010 ; Wendakoon et Sakaguchi ., 1995**). **Figure 06**

Les terpènes ainsi que les flavonoïdes peuvent pénétrer dans la double couche phospholipidique de la membrane de la cellule bactérienne et induire sa rupture. Le contenu cytoplasmique est déchargé à l'extérieur de la cellule impliquant sa destruction (**Wendakoon & Sakaguchi., 1995 ; Tsuchiya et al., 1996**). Également, une perturbation chémo-osmotique et une fuite de potassium intracytoplasmique peuvent subvenir, suivi de la libération d'acides nucléiques, de l'ATP, et du phosphate inorganique (**Tsuchiya et al., 1996 ; Ultee et al., 1999**).

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

- Attaque de la paroi bactérienne par l'huile essentielle, provoquant une augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaires,
- Acidification de l'intérieur de la cellule, bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure,
- Destruction du matériel génétique, conduisant à la mort de la bactérie (**Daroui ,M., 2011**).

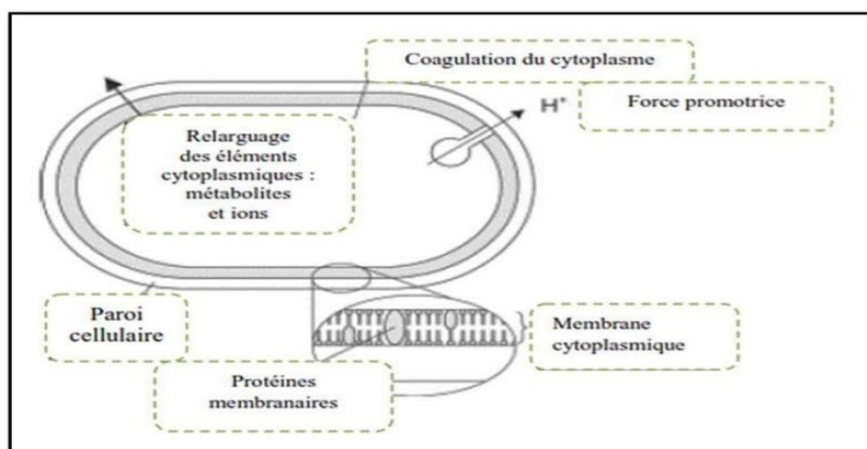


Figure 06 : Sites d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne (**Burt., 2004**).

1.2. Activité antifongique

Les huiles essentielles et leurs constituants actifs représentent des alternatives prometteuses pour lutter contre les champignons phytopathogènes dans l'agriculture et les microorganismes contaminant les produits alimentaires (**Lis-Balchin, 2003**). Elles exercent un effet large spectre

contre les moisissures et les levures en bloquant la croissance des levures, la germination des spores fongiques, le développement du mycélium, la formation de spores et la synthèse de mycotoxines (**Karaman et al. ,2001 ; Duarte et al., 2005**).

De nombreuses études ont exploré les propriétés fongicides et fongistatiques des huiles essentielles face aux champignons pathogènes (**Karaman et al., 2001 ; Duarte et al. , 2005**). Tout comme pour leur action antibactérienne, leur efficacité antifongique repose sur la nature chimique de leurs composants. Ces composés provoquent une augmentation de la perméabilité membranaire chez les levures, suivie d'une dégradation de la membrane et d'une fuite du cytoplasme, aboutissant à la lyse cellulaire (**Cox et al., 2000**). Plus précisément, les terpènes contenus dans les huiles essentielles, notamment les phénols et aldéhydes, interagissent avec les enzymes membranaires des levures, entraînant la destruction de leur membrane plasmique (**Knobloch et al., 1989**). Ces travaux ont également mis en évidence l'activité antifongique des alcools et des lactones sesquiterpéniques (**Knobloch et al., 1989**)

1.3. Activité antivirale

Les huiles essentielles manifestent des propriétés antivirales prometteuses contre une large gamme de virus, notamment ceux à enveloppe comme l'herpès (HSV-1 et HSV-2), l'influenza, et les virus respiratoires syncytiaux (RSV) (**Reichling et al.,2020**). Ces composés naturels agissent par trois mécanismes principaux : destruction directe des particules virales (activité virucide), inhibition de l'attachement des virus aux cellules hôtes (anti-adsorption), et blocage de leur réplication intracellulaire (**Astani et al., 2010**). Plusieurs huiles se distinguent par leur efficacité : l'huile essentielle d'origan (*Origanum compactum*), riche en carvacrol, neutralise efficacement les virus Cocksackie, rotavirus et norovirus, y compris les formes non enveloppées (**Reichling et al.,2020**). L'eucalyptus globulus et le tea tree (*Melaleuca alternifolia*) inhibent jusqu'à 96% de la réplication du virus herpétique HSV-1, même contre les souches résistantes à l'acyclovir (**Astani et al., 2009**). Les terpènes et phénols des huiles essentielles, comme le carvacrol, l'eugénol et le 1,8-cinéole, perturbent l'enveloppe lipidique virale et les protéines de surface nécessaires à l'infection cellulaire (**Reichling et al., 2020**). Ces effets ont été confirmés in vitro sur des virus de l'hépatite bovine (BVDV), de la grippe aviaire (H5N1) et des coronavirus, positionnant les huiles essentielles comme alternatives naturelles aux traitements antiviraux classiques (**Astani et al., 2010**).

1.4. Activité antioxydant

Le déséquilibre entre les systèmes oxydants et antioxydants, provoqué par une production excessive de radicaux libres, engendre un stress oxydatif responsable du vieillissement cellulaire et de nombreuses pathologies humaines telles que cancers, diabète, maladies neurodégénératives, athérosclérose et ischémie cérébrale. Les antioxydants sont des molécules capables d'inhiber ou de

retarder significativement les réactions d'oxydation causant des dommages aux constituants cellulaires **(Lee et al., 2020)**.

L'évaluation des propriétés anti oxydantes in vitro des huiles essentielles de plantes médicinales a été réalisée par le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), révélant une activité élevée avec des valeurs IC50 comprises entre 8,24 et 12,42 µg/mL **(Keyvan et al., 2016)**. Le test de photochimiluminescence (PCL), mesurant l'activité antioxydante face au radical superoxyde anion (O_2^-), une espèce réactive de l'oxygène (ROS) produite in vivo, a confirmé l'effet antioxydant puissant de ces huiles essentielles **(Rezgui et al., 2020)**.

1.5. Activités pharmacologiques

Récemment, les recherches ont mis en lumière les remarquables propriétés antioxydantes des huiles essentielles. Le stress oxydatif, résultant d'un déséquilibre entre la génération de radicaux libres et les défenses enzymatiques antioxydantes, joue un rôle clé dans l'émergence de pathologies sévères comme la maladie d'Alzheimer **(Butterfield et Lauderback., 2002)**, l'artériosclérose et les cancers **(Gardner., 1997)**. Pour combattre ces dommages cellulaires, une stratégie consiste à enrichir l'alimentation en antioxydants exogènes, tels que la vitamine C, l' α -tocophérol ou le BHT **(Béliveau et Gingras., 2005)**. Parmi les huiles essentielles riches en composés antioxydants puissants figurent celles de cannelle, muscade, clou de girofle, basilic, persil, origan et thym **(Edris., 2007)**. Le thymol et le carvacrol se révèlent particulièrement efficaces grâce à leur structure phénolique, qui leur confère des capacités oxydoréductrices favorisant la neutralisation des radicaux libres et la dégradation des peroxydes **(Braga et al., 2006)**. D'autres constituants monoterpéniques, comme les alcools (linalol, α -terpinéol), éthers (1,8-cinéole), cétones (menthone, isomenthone) et aldéhydes (géraniol/néral, citronellal), ainsi que certains monoterpènes (α -terpinène, γ -terpinène), renforcent également cette activité antioxydante **(Edris, 2007)**.

Les huiles essentielles trouvent aussi une application clinique dans le traitement des troubles inflammatoires, tels que les rhumatismes, allergies et arthrites **(Maruyama et al., 2005)**. Par exemple, l'huile essentielle de *Melaleuca alternifolia* et son principal composant, l' α -terpinéol, inhibent l'inflammation en limitant la libération d'histamine et la production de médiateurs pro-inflammatoires **(Koh et al., 2002 ; Hart et al., 2000)**. De même, l'huile de géranium, le linalol et son acétate réduisent les œdèmes induits par le carraghénane chez la souris **(Maruyama et al., 2005 ; Peana et al., 2002)**. Ces propriétés ouvrent des voies prometteuses pour gérer les maladies inflammatoires.

Par ailleurs, la multifonctionnalité thérapeutique des huiles essentielles attire l'attention pour leur rôle potentiel en chimiothérapie anticancéreuse. Elles agissent tant en prévention qu'en inhibition tumorale (**Edris ., 2007**). Certains aliments comme l'ail ou le curcuma contiennent des composés anticancéreux validés, dont des volatils chimiopréventifs (**Béliveau et Gingras, 2005**). L'huile d'ail, par ses composés soufrés tels que le disulfure et trisulfure de diallyle, active des enzymes protectrices chez le rat (**Pyun & Shin, 2006 ; Milner, 2001 ; Milner, 2006**).

2. Mécanismes d'action des huiles essentielles

Les mécanismes d'action des huiles essentielles désignent les processus biochimiques et physiologiques par lesquels leurs composés volatils (comme les terpènes, phénols ou aldéhydes) interagissent avec les cellules cibles, perturbant les membranes, inhibant les enzymes ou modulant les voies métaboliques (**Boukhatem et al., 2020**). Ces substances agissent souvent de manière multifactorielle, avec des effets antimicrobiens, antioxydant selon la composition chimique.

2.1. Mode d'action antibactérien

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est principalement liée à leur caractère hydrophobe, qui leur permet de pénétrer dans les membranes cellulaires des microorganismes et d'en perturber le fonctionnement (**Dorman et Deans, 2000**).

Les principaux mécanismes sont :

a. Altération de la membrane cellulaire

Les huiles essentielles s'intègrent dans la membrane cytoplasmique, augmentant sa perméabilité et provoquant une fuite des constituants cellulaires essentiels (ions, sucres et acides aminés) (**Hulin et al., 1998**).

b. Perturbation des systèmes enzymatiques

Elles inhibent plusieurs enzymes impliquées dans la production d'énergie (ATP) et la synthèse des constituants cellulaires indispensables à la croissance microbienne.

c. Inactivation du matériel génétique

Certains composés peuvent altérer l'ADN et empêcher la réplication ainsi que la transcription des cellules microbiennes.

d. Rôle des terpènes et composés phénoliques

Les terpènes provoquent une désorganisation de la membrane bactérienne, tandis que les composés phénoliques tels que le thymol et le carvacrol augmentent fortement sa perméabilité, entraînant la mort cellulaire **(Pina-Vaz et al., 2004)**.

e. Action des aldéhydes

Les aldéhydes conjugués inhibent la croissance bactérienne en perturbant les transferts d'électrons et en coagulant les protéines et les acides nucléiques **(Rai et al., 2003)**.

f. Relation composition chimique – activité antimicrobienne

L'efficacité antimicrobienne dépend de la nature des composés présents. Les huiles riches en molécules oxygénées présentent généralement une activité plus importante que celles dominées par les hydrocarbures **(Rasooli et al., 2005)**.

2.2. Mode d'action antioxydant

L'activité antioxydante des huiles essentielles résulte de l'action synergique de leurs constituants, principalement les composés phénoliques et certains terpènes **(Ruberto et**

Baratta ., 2000).

Les huiles essentielles agissent en :

- Neutralisant les radicaux libres responsables du stress oxydatif ;
- Interrompant les réactions de peroxydation lipidique ;
- Donnant des atomes d'hydrogène ou des électrons aux espèces réactives de l'oxygène ;
- Protégeant les membranes cellulaires contre les dommages oxydatifs.

Les composés phénoliques tels que le thymol et le carvacrol sont considérés parmi les principaux responsables de cette activité antioxydante **(Amorati & Valgimigli., 2018)**.

3. Toxicité des huiles essentielles

Malgré leur origine naturelle, les huiles essentielles présentent des risques significatifs d'usage : "ce n'est pas parce que c'est naturel que c'est sans danger pour l'organisme" **(Piochon.,2008)**. Les huiles phénolées (thym, cannelle, clou de girofle) nécessitent une prudence particulière en raison de leur potentiel irritant. Une utilisation prolongée à forte dose peut provoquer une hépatotoxicité, notamment par les cétones de l'armoise **(Himed.,2011)**. Leur toxicité aiguë orale reste

généralement faible (DL_{50} : 2 – 5 g / kg pour eucalyptus/ girofle; > 5 g / kg pour camomille/citronnelle/lavande), bien que certaines atteignent < 1 g / kg , tandis que la toxicité chronique demeure mal documentée (**Bouguerra.,2012**). Les intoxications aiguës entraînent agitation, tremblements, coma, néphrite, convulsions, hallucinations et dépression sympathique, pouvant nécessiter une hospitalisation en cas de neurotoxicité grave. Enfin, certains allyl/propénylphénols montrent un potentiel cancérigène (**Benzeggouta., 2005**).

Les huiles essentielles représentent une source naturelle importante de composés bioactifs possédant un large éventail d'activités biologiques. Les études scientifiques ont démontré leur efficacité contre de nombreux microorganismes pathogènes grâce à leurs propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales. Elles possèdent également une activité antioxydante significative qui contribue à la protection des cellules contre les dommages induits par le stress oxydatif.

Ainsi, la connaissance approfondie de leurs activités biologiques, de leurs mécanismes d'action et de leur toxicité est essentielle pour une valorisation rationnelle et sécurisée de ces substances naturelles dans les différentes applications thérapeutiques, alimentaires et industrielles.

Chapitre III

La plante (*Matricaria chamomilla*) est considérée comme l'une des plantes médicinales, ce qui lui confère une grande importance aussi bien en médecine traditionnelle qu'en médecine moderne, en raison de la présence de constituants possédant diverses propriétés et effets thérapeutiques, pharmaceutiques et chimiques et en pluproducts du métabolisme secondaire, tels que les flavonoïdes et les acides organiques, Ce chapitre vise à présenter les propriétés pharmacobiologiques de la camomille, à travers l'analyse de sa composition chimique, l'évaluation de son activité biologique, et la compréhension des mécanismes par lesquels elle exerce ses effets

1. Présentation sur la plantes étudiée (*Matricaria chamomilla*)

1.1 .Généralités sur la famille des Astéraceae

Le terme « aster » dérive du mot grec signifiant « étoile », en référence à la forme de leurs fleurs. La famille des Astéracées se caractérise également par une grande diversité, puisqu'elle comprend plus de 13 tribus, 1500 genres et environ 23000 espèces (**Gaussen & Leroy ., 1982**) Selon(**Quezel & Santa .,1963**), on compte en Algérie 109 genres et 408 espèces.

Les plantes médicinales tirent profit d'un large éventail de plantes appartenant à la famille des Astéracées, connues pour leurs propriétés antibactériennes, antifongiques, antivirales et anti-inflammatoires, telles que la camomille (*Anthemis nobilis* L, *Matricaria chamomilla* L.) et d'autres Astéracées utilisées en médecine traditionnelle en raison de leur richesse en composés naturels variés (**Betoui.k ., 2025**).

1.2. Description botanique du *Matricaria chamomilla*

Matricaria chamomilla L est une plante herbacée odorante à l'arôme caractéristique, appartenant à la famille des Astéracées. Elle pousse dans les champs et les clairières, atteignant une hauteur de 15 à 80 cm. Elle possède une tige unique et ramifiée et une racine pivotante fine. Ses feuilles inférieures forment une rosette, tandis que les feuilles supérieures sont alternes sur les tiges. Les feuilles sont finement découpées, dichotomiques ou trichotomiques, épaisses et vert foncé. Leurs segments sont longs et larges. Elle se compose de nombreux capitules (fleurons) à réceptacle creux et sans bordure. Ces capitules portent au centre de petites fleurs tubulaires jaunes et à la périphérie des fleurs blanches ligulées. Le périanthe, situé à la base du capitule, est constitué de bractées membraneuses vert pâle (**myrtea., 2020**). **Figure 07**

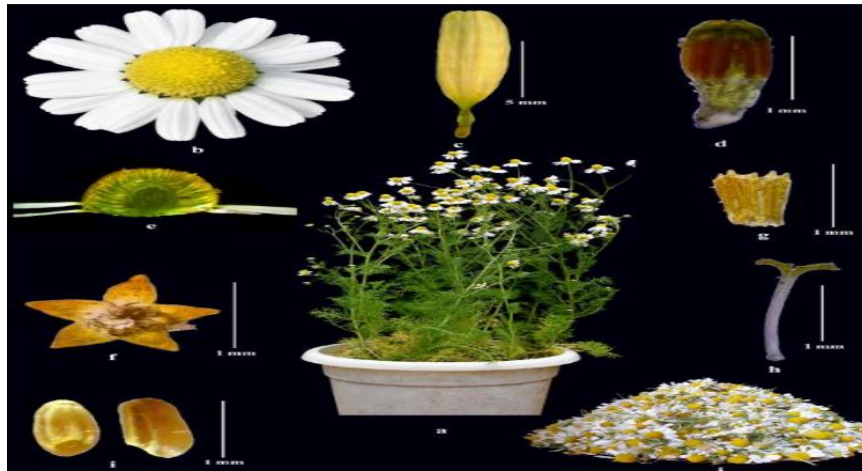


Figure 07: Différentes parties du Matricaire camomille (Chauhan et al., 2021).

1.3. Etymologie

La camomille allemande est généralement considérée comme l'espèce de référence parmi les camomilles. Son appellation anglaise « chamomile » dérive de deux termes grecs, « Chamos » et « Melos », signifiant respectivement « au sol » et « pomme ». Cette dénomination ferait allusion à l'odeur caractéristique de pomme que dégagent ses fleurs (Moghaddasi ., 2011). Cette espèce possède plusieurs synonymes et dénominations, présentés comme suit :

- **Nom en commun** : Camomille sauvage
- **Nom botanique** : *Matricaria chamomilla*
- **Nom Français** : Matricaire, Petite camomille, Camomille allemande, Camomille vraie
- **Nom Arabe** : Baboundj

1.5. Classification botanique

La classification de l'espèce *Matricaria chamomilla* est décrite dans le **tableau 01**.

Tableau 01 : Classification de l'espèce de de *Matricaria chamomilla* L

Taxonomie	Description
Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Asterales
Famille	Asteraceae
Genre	<i>Matricaria</i>
Espèce	<i>Chamomilla</i> .L

1.5. Culture de *Matricaria chamomilla*

La camomille pousse dans les sols sableux bien drainés et tolère également les sols calcaires grâce à sa relative tolérance à l'alcalinité. Elle se développe de préférence sous les climats tempérés à froids plutôt que chauds et préfère des températures comprises entre 7 et 27 degrés Celsius. Relativement résistante au froid, elle présente une croissance optimale en plein soleil, ce qui favorise un bon développement et une floraison abondante (**Betoui. k., 2025**).

2. Répartition géographique et habitat

L'aire d'origine de *Matricaria chamomilla* couvre l'Europe orientale et le Moyen-Orient. De nos jours, cette espèce est largement naturalisée sur l'ensemble du continent européen, ainsi qu'en Inde, en Amérique du Nord et en Australie. Des populations abondantes sont notamment signalées en Hongrie, en Croatie, dans les régions septentrionales et orientales de l'Afrique, et plus particulièrement en Algérie (**Chauhan et al., 2022**). Sur le plan édaphique et climatique, la camomille allemande se développe favorablement sur des substrats siliceux, fertiles, légers et bien drainés. Elle supporte des valeurs de pH comprises entre 4,5 et 7,5 et requiert une exposition ensoleillée (**El mihyaoui et al ., 2022**). La période de floraison s'étend de mai à septembre. L'espèce colonise volontiers les sols perturbés, les abords des routes et des voies ferrées, les prés salins, les zones steppiques, les potagers, ainsi que les communautés adventices des cultures (**Bussmann et al. , 2019**).

3. Utilisations traditionnelles

3.1. Usages traditionnels

Les capitules floraux de la Matricaire sont employés traditionnellement sous forme d'infusion ou de poudre. Ils présentent des propriétés amères et apéritives, et sont réputés pour leurs effets bénéfiques sur le système digestif : stimulant digestif, carminatif et antiasthmatique. La plante est également indiquée en cas de troubles gastro-intestinaux, de diarrhées, de tension nerveuse et d'irritabilité. En usage externe, elle est utilisée pour traiter les plaies à cicatrisation difficile ainsi que l'eczéma (**Bellakhdar .,1997 ; Bezanger-B et al.,1990 ; Fournier.,1948**).

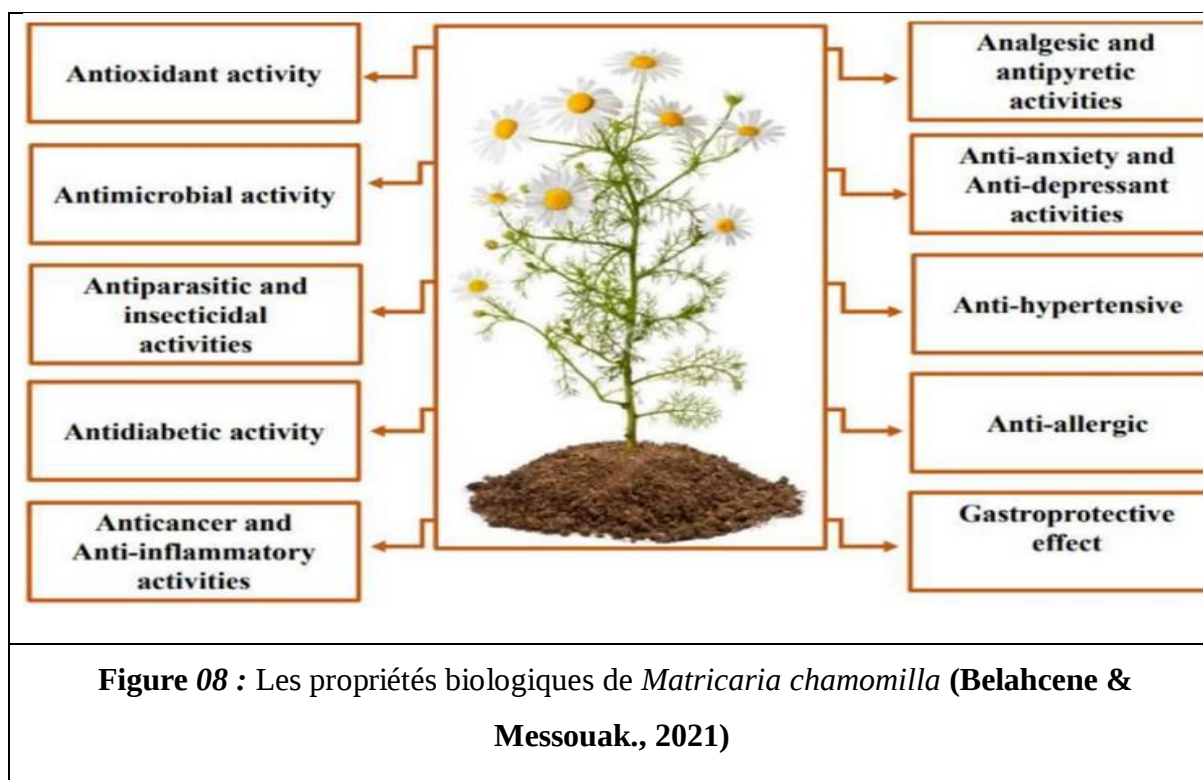
3.2. Domaines thérapeutiques

Les capitules floraux de la Matricaire sont administrés par voie orale en raison de leurs propriétés anti-inflammatoires. Ils participent au traitement symptomatique de divers désordres digestifs, notamment les ballonnements épigastriques, la lenteur de la digestion, les éructations et les flatulences, tout en favorisant la stimulation de l'appétit. En application cutanée, cette plante entre dans la formulation de préparations destinées aux soins d'appoint des affections dermatologiques, où elle exerce des effets adoucissants et antiprurigineux. Elle est également considérée comme un agent trophique protecteur contre les crevasses, les

écorchures, les gerçures et les piqûres d'insectes. Les mêmes préparations sont employées comme antalgiques pour traiter les affections de la cavité buccale et de l'oropharynx, ainsi que les irritations ou gênes oculaires d'origines variées : fatigue visuelle prolongée, exposition à l'eau de mer ou de piscine, atmosphère enfumée, etc. Dans le domaine cosmétique, la Matricaire est intégrée à des shampooings destinés à éclaircir les cheveux ainsi qu'à des écrans solaires. Enfin, son huile essentielle est exploitée en parfumerie et en savonnerie (Bruneton.,1993 ; Cornillot et al., 1993).

4. Etude pharmacologique

La camomille possède de multiples propriétés pharmacologiques, notamment anti-inflammatoires, antiseptiques, antispasmodiques, sédatives et hypoglycémiantes comme la **figure 08** représente. L'huile essentielle a montré une activité antioxydante remarquable, ainsi que de puissants effets antibactériens, particulièrement contre la bactérie *Escherichia coli*. Son mécanisme d'action a révélé une forte affinité entre les principaux composés de l'huile essentielle et les protéines cibles, ce qui explique les activités biologiques observées, tant antioxydantes qu'antimicrobiennes. Ces résultats suggèrent la possibilité d'utiliser l'huile essentielle comme conservateur naturel et comme agent antimicrobien d'origine végétale (Al-asri et al., 2025).



- **Le tableau 02** les différentes activités pharmacologiques et les composés bioactifs de la camomille, en soulignant leurs différents mécanismes d'action, leurs principaux constituants et les références pertinentes. Il offre ainsi un aperçu complet et comparatif des propriétés biologiques de cette plante médicinale

Tableau 02: Les différentes activités pharmacologiques et les composés bioactifs de la camomille

Domaine d'activité	Mode d'activité	Principes actifs	Références
Anti spasmodique	➤ Effet carminatif ➤ Effet gastrique et intestinal ➤ Effet sur les spasmes utérins ➤ Anti diarrhéique	➤ Flavonoïdes, apigénine, ➤ α-bisabolol, spiroéthers	➤ Anderson et al., 2000 ➤ Forster et al.,1980 ➤ Becker, 2006 ➤ Crotteau, 2006
Anti inflammatoire	➤ Inhibition de la libération d'acide arachidonique ➤ Inhibition de la production d'IL-12 dans des macrophages murins	➤ parthénolide	➤ Nelson, 1997 ➤ Jahangir et Sultanaa, 2007
Sédative	➤ Effet anxiolytique et antiépileptique ➤ Effet hypnotique léger ➤ Effet antalgique	➤ Flavones , Apigénine	➤ Avallone et al.,2000 ➤ Gomaa et al.,2003 ➤ Masago et al.,2000
Anti microbienne	➤ Fongicide (et antiseptique) ➤ Bactéricide	➤ α-bisabolol, tpspiroéthers ➤ Coumarines ➤ Extrait aqueux	➤ Cinco et al., 1983 ➤ Habersang et al.,1979
Effet sur la muqueuse digestive	➤ Effet anti ulcérogène	➤ α-bisabolol	➤ Schilcher,1987
Effet hormonal estrogénique	➤ Stimulation sélective du récepteur estrogénique (SERM)	/	➤ Kass et al ., 2004 ➤ Mahady et al., 2003 ➤ Rosenberg Zand,2001
Action protectrice du foie	Production intrahépatique de lipides ainsi que la correction du pool des sphingolipides	Flavonoïdes de <i>Matricaria chamomilla</i>	Babenko et Shakhova, 2006

5. Précautions d'emploi

Les personnes présentant une hypersensibilité connue à la camomille doivent être vigilantes, car la consommation d'infusions à base de cette plante risque d'aggraver leurs manifestations allergiques. Par ailleurs, plusieurs cas de conjonctivite d'origine allergique ont été associés à

l'exposition à la camomille. Concernant la grossesse, il est déconseillé aux femmes enceintes d'utiliser *Matricaria chamomilla* pendant cette période. Bien qu'aucun effet toxique n'ait été documenté à ce jour, il est recommandé aux sujets ayant des antécédents allergiques, notamment ceux liés aux fleurs, de faire preuve de vigilance lors de la consommation de camomille (Hajjaj., 2017).

les études pharmacologiques et biochimiques de la camomille (*Matricaria chamomilla*) ont révélé qu'il s'agit d'une plante riche en composés bioactifs, notamment en flavonoïdes, terpènes et coumarines, responsables de ses divers effets thérapeutiques. Ces composés ont démontré des activités significatives, incluant des effets anti-inflammatoires, antioxydants, antimicrobiens et sédatifs, s'appuyant sur différents mécanismes d'action, tels que l'inhibition des médiateurs de l'inflammation et la neutralisation des radicaux libres. De plus, la corrélation entre sa composition chimique et ses activités biologiques confirme le potentiel de la camomille comme source naturelle d'agents pharmacologiquement actifs. Par conséquent, cette plante

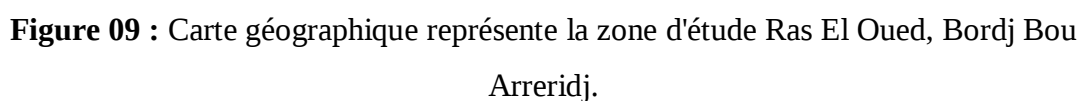
représente une alternative prometteuse pour le développement de nouvelles approches thérapeutiques et de produits d'origine naturelle.

Partie II Matériels et Méthodes

2. Matériels

2.1.1. Zone de récolte

A map of the state of Rio de Janeiro, Brazil, showing its various municipalities. The municipality of São José do Bonfim is highlighted in red, located in the northern part of the state, near the border with the state of Paraíba.



2.1.2. Récolte du matériel végétal

La plante étudiée, *Matricaria chamomilla*, a été récoltée dans la région rurale de **Ras El Oued**, dans la wilaya de **Bordj Bou Arreridj**, en **avril 2025**. La récolte a concerné les parties aériennes de la plante, à savoir les tiges et les feuilles **Tableau 03**. Pour la réalisation des coupes histologiques, des échantillons frais ont été utilisés immédiatement après la récolte afin de préserver au mieux l'intégrité structurale des tissus et d'assurer la fiabilité des observations microscopiques.

Tableau 03 : Origine et caractéristique du matériel végétal.

Quantité du matériel végétal traité	1250g
Lieu de récolte	Ras El Oued ,Bordj Bou Arreridj
L'origine de la plante	Ras El Oued ,Bordj Bou Arreridj
Durée de séchage	15jours
Partie utilisée	les parties aériennes
Etat	sec
Datede récolte	avril 2025

2.2. Matériel biologique

2.2.1. Microorganismes

Deux souches bactériennes de référence ont été utilisées pour déterminer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de plante étudiée. Ces souches sont répertoriées dans **le tableau 04**

Ces souches ont été maintenues par repiquages successifs sur gélose nutritive (pour les bactéries), et conservées à 4 °C. Elles ont été fournies par Laboratoire Antibiotiques, Antifongiques : physico-chimie, synthèse et activité biologique ; Département De Biologie ; Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie; Université de docteur Molay Tahar de Saida.

Tableau 04 : Origines des souches utilisées pour l'étude du pouvoir antimicrobien.

Microorganismes	Gram	Code	Origine
<i>Escherichia coli</i>	Négatif	ATCC 8739	MNHN
<i>Bacillus subtilis</i>	Positif	ATCC 6633	LAPRONA

3. Méthodes

3.1. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont été extraites des parties aériennes de *Matricaria chamomilla* par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de Clevenger, une méthode standard d'extraction des huiles essentielles à partir de plantes séchées.

Une quantité de plante séchée a été pesée **Figure 10**, puis l'échantillon a été placé dans un ballon de distillation d'un litre. Ensuite, 800 mL d'eau distillée ont été ajoutés afin de bien immerger l'échantillon.

Le mélange a été chauffé jusqu'à ébullition, et la distillation a été maintenue pendant trois heures. Durant ce processus, les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau puis condensés à l'aide d'un réfrigérant à eau. **Figure 11**

Après condensation, le distillat est recueilli dans un tube gradué, où une séparation spontanée s'effectue entre la phase aqueuse et l'huile essentielle, en raison de la différence de densité.

Enfin, l'huile essentielle obtenue a été récupérée et conservée dans des flacons en verre brun hermétiquement fermés, à 4 °C et à l'abri de la lumière, afin de préserver sa stabilité chimique jusqu'aux analyses.

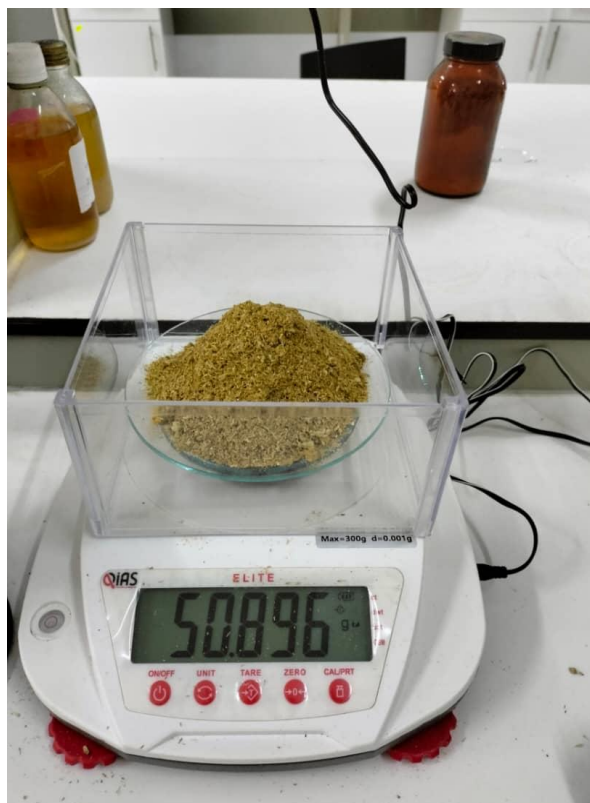


Figure 10 : Plante *Matricaria chamomilla* séchée et broyée



Figure 11 : Hydrodistillation type Cleavenger.

3.2 Détermination et calcul du rendement

Selon les normes (AFNOR.,1982), Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal traité.

Ainsi, On a calculé le rendement en utilisant la relation suivante :

$$R (\%) = \text{Masse (HE)} / \text{Masse (M V S)} \times 100$$

- **R (%)** : Rendement en huile essentielle.
- **Masse (HE)** : masse de l'huile essentielle.
- **Masse (MVF)** : masse du matériel végétal sec.

3.3. Dosage des polyphénols totaux

La réaction est basée sur la réduction de l'acide phosphomolybdique du réactif Folin- ciocalteu (un acide de couleur jaune, constitué de polyhétérocycles acides contenant du molybdène et tungstène) par les polyphénols en milieu alcalin (Catalano .,1999). Elle se traduit par le développement d'une coloration bleu foncé due à la formation d'un complexe molybdène tungstène mesuré au spectrophotomètre. Le dosage des polyphénols est effectué par la

méthode de (Singleton & Rosi.,1965 ; Dogyan et al., 2005). La teneur en polyphénols totaux est déterminée à partir d'une équation de la régression linéaire déduite de la courbe d'étalonnage et exprimée en mg équivalent de pyrocatéchol par de matière sèche.

Absorbance = $0.0828 \times C$, $R^2 = 0.9993$ Où C'est la concentration en mg/L (**Figure. 12**)



Figure 12 : Dosage des polyphénols totaux

3.4. Evaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante est une propriété biologique essentielle. Les antioxydants sont définis comme des molécules qui, même à de faibles concentrations par rapport aux substrats oxydables, retardent ou arrêtent le processus d'oxydation, limitant ainsi les dommages oxydatifs aux molécules cibles (Halliwell., 1999 ; Gutteridge & Mitchell., 1999).

Ces molécules agissent par deux mécanismes principaux : le transfert d'atome d'hydrogène ou le transfert d'électron. Elles se caractérisent également par leur facilité d'absorption, leur capacité à éliminer les radicaux libres et à chélater les métaux oxydants et réducteurs à des niveaux physiologiques appropriés (Rahman., 2007).

L'efficacité des antioxydants peut être évaluée soit *in vivo*, soit *in vitro* à l'aide de tests qui simulent le phénomène physiologique. Plusieurs méthodes de laboratoire ont été développées, reposant sur le mélange d'espèces oxydantes, telles que les radicaux libres ou les métaux oxydants, avec un échantillon contenant des antioxydants. En raison de la diversité des propriétés physico-chimiques des molécules, il est recommandé d'utiliser plusieurs tests pour confirmer l'activité antioxydante (Prior et al., 2005) . Ainsi, deux tests chimiques ont été choisis : le pouvoir réducteur du fer et l'inhibition du radical DPPH. Il existe également des systèmes de défense antioxydants endogènes et exogènes, enzymatiques et non enzymatiques.

3.4.1 Piégeage du radical DPPH[•]

La méthode mise au point par Blois pour évaluer le pouvoir antioxydant du DPPH (2,2-diphényl-1-bécrylhydrazyle) repose sur le principe de la réduction du radical synthétique

violet DPPH• par un antioxydant (AH). L'AH peut céder un atome d'hydrogène ou un électron au radical DPPH•, ce qui entraîne sa stabilisation et sa conversion en une forme réduite (DPPH ou DPPH-H) de couleur jaune **Figure 13**. Ce changement d'absorption est mesurable à une longueur d'onde de 517 nm. (**Fioroni., 2023**).

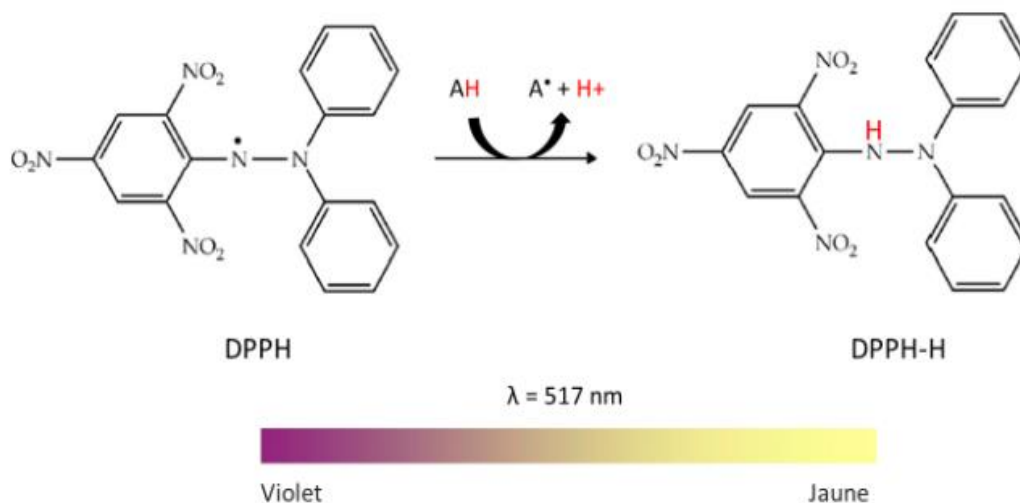


Figure 13 : Mécanisme de réaction de la méthode DPPH.

✧ Préparation des solutions

Une solution mère de DPPH a été préparée en dissolvant 0,0019 g de DPPH dans 50 mL de méthanol, permettant d'obtenir une concentration de 0,1 mL. Une solution mère d'acide ascorbique, utilisé comme antioxydant de référence, a été préparée en dissolvant 0,1 g d'acide ascorbique dans 10 mL de méthanol. Des dilutions en série ont été réalisées à partir de ces solutions mères pour obtenir différentes concentrations.

✧ Mode opératoire

Pour chaque concentration testée, 0,1 mL de la solution de DPPH a été mélangé avec 1 mL de l'huile essentielle diluée. Pour le contrôle positif, 0,1 mL de DPPH a été mélangé avec 1 mL de la solution d'acide ascorbique. Un témoin négatif a été préparé en mélangeant 0,1 mL de DPPH avec 800 µL de méthanol. Les mélanges ont été incubés pendant 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante pour permettre la réaction. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.

✧ Calcul des résultats

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH a été calculé selon la formule suivante :

$$\%D' INIHIBITION \approx \frac{DO_{\text{contrôle}} - DO_{\text{échantillon}}}{DO_{\text{contrôle}}} \times 100$$

OU :

- DO_{contrôle} : absorbance du témoin négatif (DPPH sans antioxydant).
- DO_{échantillon} : absorbance de l'échantillon (huile essentielle ou acide ascorbique).
- après 30 minutes d'incubation : La concentration inhibitrice 50 % (IC₅₀), correspondant à la concentration d'huile essentielle nécessaire pour inhiber 50 % du radical DPPH, a été déterminée à partir de la courbe de régression linéaire représentant le pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration. Une faible valeur d'IC₅₀ indique une activité antioxydante élevée.

3.4.2 Pouvoir réducteur du fer

Cette méthode développée par (Benzie & Strain., 1999) est basée sur la capacité des antioxydants (AH) à réduire le complexe ferrique-tripyridyltriazine incolore (Fe³⁺-TPTZ) en un cation ferreux tripyridyltriazine (Fe²⁺-TPTZ) de couleur bleue par transfert d'électrons **Figure 14** mesurable à 593 nm.(Fioroni., 2023) .

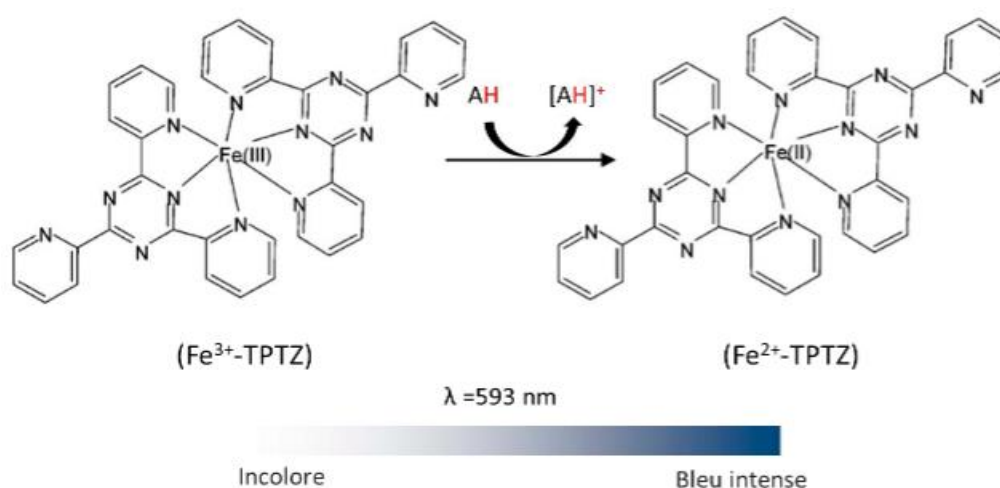


Figure 14 : Mécanisme de réaction de la méthode FRAP.

- L'évaluation du potentiel antioxydant de l'extrait a été réalisée selon un protocole spectrophotométrique inspiré des méthodes standardisées de réduction du ferricyanure. Dans notre mise en œuvre, chaque essai a été préparé en mélangeant 1,25 mL de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) avec 1,25 mL d'une solution de ferricyanure de potassium ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) à 1 % (m/v). Après ajout de l'extrait à différentes concentrations, le mélange a été incubé 20 minutes à 50 °C. La réaction a été stoppée par addition de 1,25 mL d'acide trichloracétique à 10 %, suivie d'une centrifugation à 3000 tours pendant 10 minutes à température ambiante. Le surnageant (0,2 mL) a ensuite été additionné de 1,25 mL d'eau distillée et de 1.25 mL de chlorure de fer

(FeCl₃) à 0,1 %. L'absorbance a été mesurée à 700 nm contre un blanc dans lequel l'extrait a été remplacé par le tampon d'extraction. Cette procédure, adaptée des travaux de référence sur le pouvoir réducteur, a permis de tracer une courbe de régression (linéaire ou logarithmique) reliant l'absorbance à la concentration de l'extrait. La concentration efficace (CE50), définie comme la concentration d'extrait produisant une absorbance de 0,5, a ainsi été déterminée.

3.5. Evaluation de l'activité antimicrobienne

3.5.1. Préparation des solutions des huiles essentielles

Une solution mère d'un volume final de 1500 µL a été préparée dans un tube stérile de 15 ML, en incorporant 150 µL d'huile essentielle (HE) et 15 µL de diméthylsulfoxyde (DMSO) comme agent solubilisant. Le volume a ensuite été ajusté à 1500 µL à l'aide de Bouillon nutritif (BN). La concentration de l'huile essentielle a été exprimée en mg/ML après détermination de sa masse. Le mélange a été homogénéisé manuellement, puis stérilisé par filtration aseptique à l'aide d'un filtre stérile approprié.

3.5.2. Préparation de l'inoculum

a. Préparation de pré-culture

Les tests d'activité antimicrobienne ont été réalisés à partir de cultures jeunes, âgées de 18 à 24 heures, correspondant à la phase exponentielle de croissance. Les souches microbiennes ont été préalablement réactivées en milieu liquide (bouillon nutritif), puis incubées pendant 24 heures à 37 °C pour les bactéries. Après incubation, un second repiquage a été effectué sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN) afin d'obtenir des cultures pures et actives destinées aux essais.

b. Préparation de la suspension bactérienne

À partir des cultures jeunes obtenues sur gélose nutritive, cinq (05) colonies bien isolées et morphologiquement identiques ont été prélevées et mises en suspension dans 5 mL d'eau physiologique stérile. La suspension a été homogénéisée par agitation manuelle pendant quelques secondes.

La densité bactérienne a ensuite été ajustée à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 625 nm. Selon l'échelle de McFarland, une densité optique (DO) comprise entre 0,08 et 0,10 correspond à une concentration d'environ 10⁸ UFC/mL.

La suspension bactérienne ainsi obtenue a été diluée au 1/100 dans le milieu de culture afin d'atteindre une concentration finale de 10^6 UFC/mL, utilisée comme inoculum pour les essais.

3.5.3. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) par la méthode des micro-dilutions sur milieu liquide

a. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des huiles essentielles a été évaluée par la méthode de micro-dilution en milieu liquide, en vue de la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI), conformément aux recommandations du (CLSI, 2006). Cette méthode repose sur l'observation de la capacité des micro-organismes à se développer visiblement dans une série de dilutions de l'agent antimicrobien.

Le bouillon nutritif (BN), ajusté à un pH compris entre (6,8 et 7,2), a été utilisé comme milieu de culture. Il constitue un milieu standard de référence pour ce type d'essai, en raison de sa capacité à favoriser la croissance de la majorité des bactéries pathogènes non exigeantes et de son faible effet antagoniste vis-à-vis des agents antimicrobiens.

À partir d'une pré-culture bactérienne obtenue sur gélose nutritive après 24 heures d'incubation à 37 °C, quelques colonies ont été prélevées à l'aide d'une anse stérile et mises en suspension dans du bouillon nutritif. La concentration cellulaire a été ajustée à environ 10^8 cellules/mL, puis une dilution au 1/100 a été réalisée afin d'obtenir un inoculum final de 10^6 cellules/mL.

Dans une microplaque stérile à 96 puits, 50 µL de l'inoculum ont été distribués dans les puits, à l'exception du puits n°12, utilisé comme témoin de stérilité (contenant uniquement 100 µL de bouillon nutritif). Ensuite, 50 µL des différentes dilutions de l'huile essentielle ont été ajoutés dans les puits correspondants, à l'exception des puits n°11 et n°12. Le puits n°11 a servi de témoin de croissance (inoculum sans huile essentielle).

Les microplaques ont été scellées puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. La lecture des résultats a été effectuée à l'œil nu, à l'aide d'une source lumineuse, en observant la présence ou l'absence de turbidité indiquant la croissance bactérienne. La CMI a été définie comme la plus faible concentration d'huile essentielle ne présentant aucune croissance visible. Les résultats ont été confirmés par repiquage sur milieu solide afin de vérifier l'absence de viabilité bactérienne.

3.5.4. Détermination des concentrations minimales bactéricide (CMB)

La concentration minimale bactéricide (CMB) est définie comme la plus faible concentration d'un agent antibactérien capable de détruire 99,9 % de la population bactérienne initiale. Après la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI), réalisée après 24 heures d'incubation à 37 °C, les puits ne présentant aucune croissance visible et contenant des concentrations strictement supérieures à la CMI sont sélectionnés pour la détermination de la CMB. À partir de ces puits, un volume de 10 µL est prélevé puis ensemencé sur des boîtes de Pétri contenant de la gélose nutritive. Les boîtes sont ensuite incubées à 37 °C pendant 24 heures. Cette étape permet de vérifier la viabilité et la capacité de multiplication des cellules bactériennes. La CMB correspond à la plus faible concentration pour laquelle le nombre de colonies observées après incubation est inférieur à trois, traduisant une destruction quasi totale de la population bactérienne. **Figure 15**

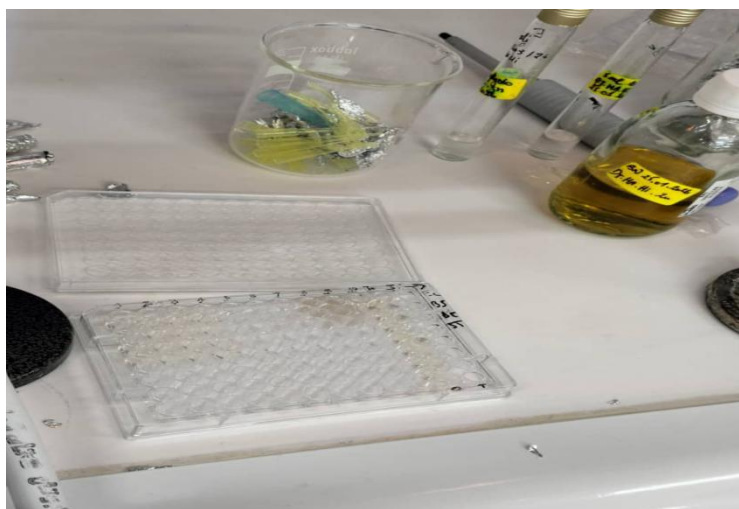


Figure 15 : Utilisation de la microplaque (la méthode des micro-dilutions sur milieu liquide).

3.6. Etude de l'effet antibactérien de l'huile essentielle

3.6.1. Conditions expérimentales générales

Les concentrations des huiles essentielles utilisées dans cette étude ont été sélectionnées sur la base des valeurs de concentration minimale inhibitrice (CMI) déterminées préalablement. Ces concentrations comprenaient trois niveaux : la moitié de la CMI ($\frac{1}{2}$ CMI), la CMI elle-même, et le double de la CMI ($2 \times$ CMI). La solution utilisée pour réaliser ces tests était une solution tampon phosphate (PBS), qui offre des conditions appropriées pour maintenir la stabilité de l'échantillon pendant l'expérience.

3.6.2. Préparation des cellules

Bactéries: La suspension bactérienne, correspondant à la phase exponentielle de croissance, a été obtenue en inoculant cinq colonies issues d'une culture récente dans 50 ml de bouillon Mueller-Hinton. Le mélange a ensuite été incubé à 37 °C pendant 4 à 5 heures sous agitation. À l'issue de cette incubation, les cellules bactériennes ont été récupérées par centrifugation à 5000 tr/min pendant 20 minutes à 4 °C. Le culot obtenu a été lavé à deux reprises à l'aide d'une solution tampon PBS (pH 7,4).

3.6.3. Tests de la viabilité cellulaire

La viabilité cellulaire a été évaluée par comptage des cellules vivantes sur milieu solide. À cette fin, un échantillon de 0,05 µL des solutions finales (C1, C2, C3) a été dilué dans de l'eau peptonée stérile (1 g/100 mL). Les échantillons ont ensuite été mis en culture dans des boîtes de Petri contenant un milieu neutralisant stérile et répartis uniformément à leur surface.

Après 24 heures d'incubation à 37 °C, le nombre de colonies formées a été compté. Les résultats ont été exprimés en unités formant colonies par millilitre (UFC/mL) puis convertis en log UFC/mL. Des échantillons témoins sans huile essentielle ont été traités dans les mêmes conditions expérimentales afin de servir de référence.

3.6.4. Tolérance au sel

La capacité des cellules de *Bacillus subtilis* traitées par l'huile essentielle à se développer sur un milieu de culture solide enrichi en NaCl a été évaluée. À cet effet, un volume de 100 µL des cultures a été prélevé, dilué dans de l'eau peptonée stérile, puisensemencé par étalement à la surface de boîtes de gélose MH-NaCl, conformément à la méthode décrite par (Carson et al., 2002).

Des échantillons témoins, sans ajout d'huile essentielle, ont été traités dans les mêmes conditions expérimentales. Après une incubation de 24 heures, les colonies ont été dénombrées. Les valeurs d'UFC/mL obtenues sur les milieux MH-NaCl ont été comparées à celles des témoins. Les résultats ont été exprimés en pourcentage de cellules capables de former des colonies.

3.6.5. Activité des lipases

L'activité lipasique a été déterminée sur un milieu solide de type Agar Salty Tween 80 (AST), ajusté à pH 7,2, selon la méthode décrite par (Nostro et al., 2001). Des suspensions cellulaires, préalablement diluées dans de l'eau peptonée stérile, ont été ensemencées par étalement à la surface du milieu AST, puis incubées à 37 °C pendant 24 heures. À l'issue de l'incubation, les colonies présentant une activité lipasique positive ont été dénombrées, et les résultats ont été exprimés en unités formant colonies par millilitre (UFC/mL). Le pourcentage

de cellules capables de former des colonies a ensuite été calculé, conformément à la méthode de De (**Barros et al.,2009**).

Résultats et Discussions

Dans un premier temps, les huiles essentielles de *Matricaria chamomilla* ont été caractérisées et leur teneur en polyphénols totaux a été déterminée afin d'évaluer leur richesse en composés bioactifs.

Dans un second temps, plusieurs activités biologiques ont été étudiées. L'activité antioxydante a été évaluée à travers deux méthodes complémentaires : le test de piégeage du radical libre DPPH• et la mesure du pouvoir réducteur du fer. Les résultats obtenus permettront d'apprécier le potentiel antibactérien et antioxydant de ces huiles essentielles ainsi que leurs perspectives d'application dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et biotechnologique.

Enfin, L'activité antibactérienne a été évaluée par la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) à l'aide de la méthode de microdilution en milieu liquide, ainsi que des concentrations minimales bactéricides (CMB) vis-à-vis de deux souches bactériennes de référence (*Escherichia coli* et *Bacillus subtilis*). Par ailleurs, l'effet des huiles essentielles sur la souche bactérienne *Bacillus subtilis* a été examiné en analysant différents paramètres physiologiques, notamment la viabilité cellulaire, la tolérance au sel et l'activité des lipases.

Les résultats obtenus sont présentés comme suit :

1. Rendement en huile essentielle de *Matricaria chamomilla* (M.C.)

Le rendement en huile essentielle a été déterminé en calculant le rapport entre la masse de l'huile obtenue après extraction et la masse initiale du matériel végétal utilisé **Tableau 05** . Le rendement (R) est exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante :

$$R = \frac{\text{la masse de l'huile (g)}}{\text{la masse du matériel végétal initial (g)}} \times 100$$

Tableau 05 : Rendements massiques des huiles essentielles

Espèces	Parties utilisées	Rdt(%)
<i>Matricaria chamomilla</i>	Parties aériennes	1,36 %

Le rendement en huile essentielle de *Matricaria chamomilla* obtenu est de **1,36 %**, ce qui traduit une quantité satisfaisante d'extrait par rapport à la matière végétale utilisée. Ce résultat est cohérent avec les données de la littérature, où les rendements varient généralement entre

0,3 % et 2 % selon les conditions de culture, la partie de la plante, le stade de développement et la méthode d'extraction. Plusieurs études (Singh et al., 2011 ; Salamon, 1992 ; Mckay & Blumberg ,2006). confirment cette variabilité. Ainsi, la valeur obtenue se situe dans la **fourchette haute des rendements moyens**, ce qui indique une bonne efficacité d'extraction et confirme l'intérêt de cette espèce comme source d'huiles essentielles à potentiel pharmaceutique, alimentaire et biotechnologique.

2. Dosage des polyphénols totaux

Les analyses quantitatives des polyphénols totaux ont été réalisées par spectrophotométrie en utilisant les équations de régression linéaire obtenues à partir des courbes d'étalonnage. Pour le dosage des polyphénols totaux, l'acide gallique a été utilisé comme standard de référence. La courbe d'étalonnage a été établie à partir de différentes concentrations d'acide gallique. L'équation de la droite de régression obtenue est : $y = 0,0001x + 0,1034$ avec un coefficient de détermination : $R^2 = 0,9973$

Cette valeur élevée du coefficient de détermination indique une excellente corrélation entre l'absorbance et la concentration en acide gallique (**Figure 16**).

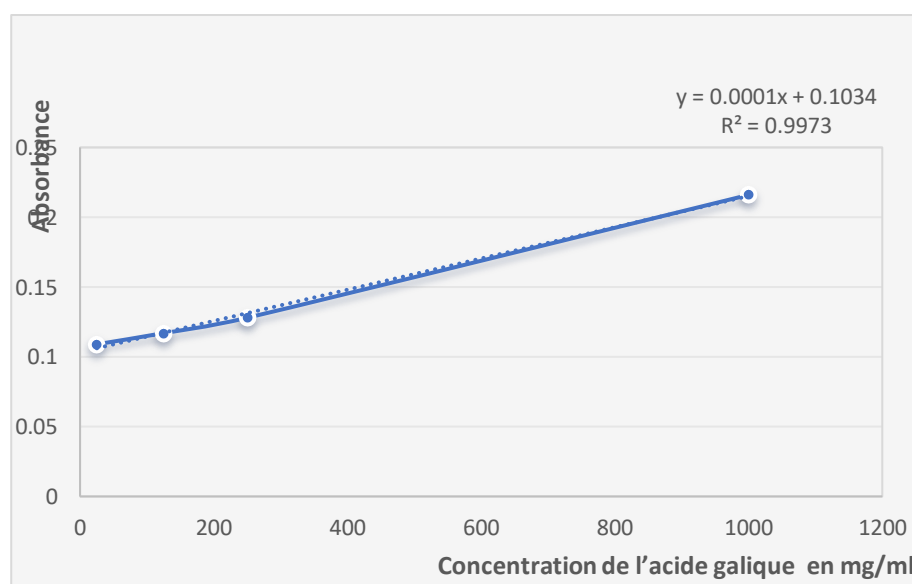


Figure 16: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique utilisée pour le dosage des polyphénols totaux.

L'estimation de la teneur en polyphénols totaux de **l'huile essentielle de la camomille** a été réalisée selon la méthode de Folin-Ciocalteu. Les résultats obtenus sont exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme d'huile essentielle (**mg EAG/g HE**). Les valeurs déterminées sont présentées dans **le tableau 06**.

Tableau 06 : Teneur en polyphénols totaux de l'huile essentielle de la camomille

Échantillon	Polyphénols totaux (mg EAG/g HE)
HE	04,43

HE : Huile essentielle ; **EAG** : Équivalent d'acide gallique.

Dans la présente étude, la teneur en composés phénoliques totaux du **huile essentielle de *Matricaria chamomilla*** a été estimée à **4.43 mg équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g)**.

Cette valeur reste globalement **faible à modérée** comparativement aux résultats rapportés dans la littérature pour les extraits de camomille. En effet, (**Catani et al.,2021**) ont montré que les extraits de fleurs de *M. chamomilla* peuvent présenter des teneurs en polyphénols allant d'environ **35 à 46 mg GAE/g d'extrait sec**, selon la variété et les conditions d'extraction . De même, d'autres travaux ont rapporté des valeurs encore plus élevées atteignant **jusqu'à 78 mg GAE/g** dans des extraits hydroalcooliques .

En revanche, il est important de noter que ces valeurs concernent principalement des **extraits polaires (méthanol, éthanol, eau)**, tandis que les huiles essentielles sont constituées majoritairement de composés **lipophiles et volatils (terpènes et sesquiterpènes)**, et contiennent généralement de faibles quantités de composés phénoliques. Ainsi, la valeur obtenue dans cette étude (4.43 mg EAG/g) est cohérente avec la nature chimique des huiles essentielles de camomille, qui sont naturellement pauvres en polyphénols par rapport aux extraits végétaux classiques.

Par ailleurs, des études sur les huiles essentielles de *M. chamomilla* confirment que leur composition est dominée par des terpènes tels que le β -farnesène, le chamazulène et le bisabolol, tandis que les composés phénoliques restent minoritaires.

3. Evaluation de l'activité antioxydante

3.1 Piégeage du radical DPPH

Le radical libre DPPH permet l'estimation du pouvoir antioxydant de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*. C'est un radical synthétique de couleur violette qui vire vers le jaune lorsqu'il est capté. L'intensité de la couleur jaune reflète la capacité anti-radicalaire de cette huile essentielle. Ce test est déterminé par la diminution de l'absorbance d'une solution alcoolique de DPPH à 517 nm, réduite par l'huile essentielle de notre plante, pendant 30 minutes à l'obscurité. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe du pourcentage (%) d'inhibition en fonction des concentrations d'acide ascorbique et de l'huile essentielle (**Figure 17**) et (**Figure 18**)

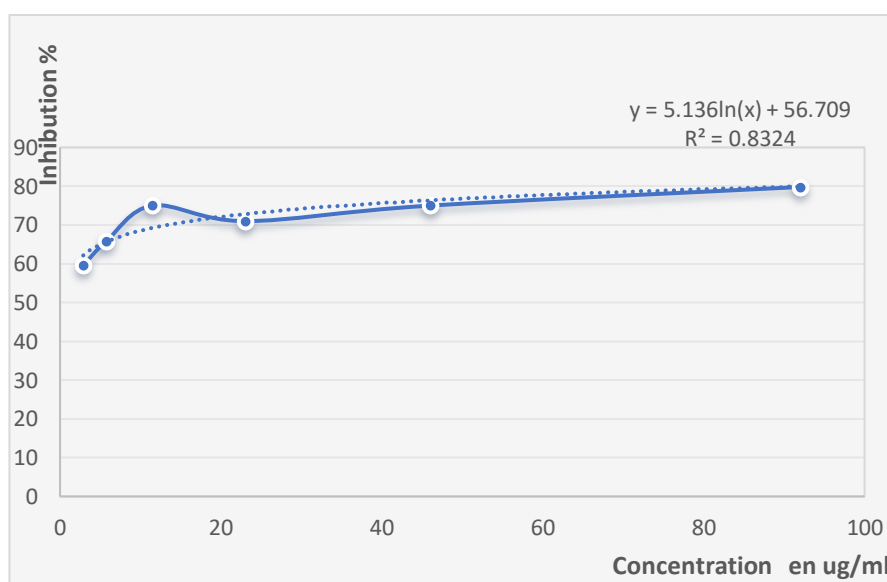


Figure 17: Les pourcentages d'inhibitions en fonctions des concentrations de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*.

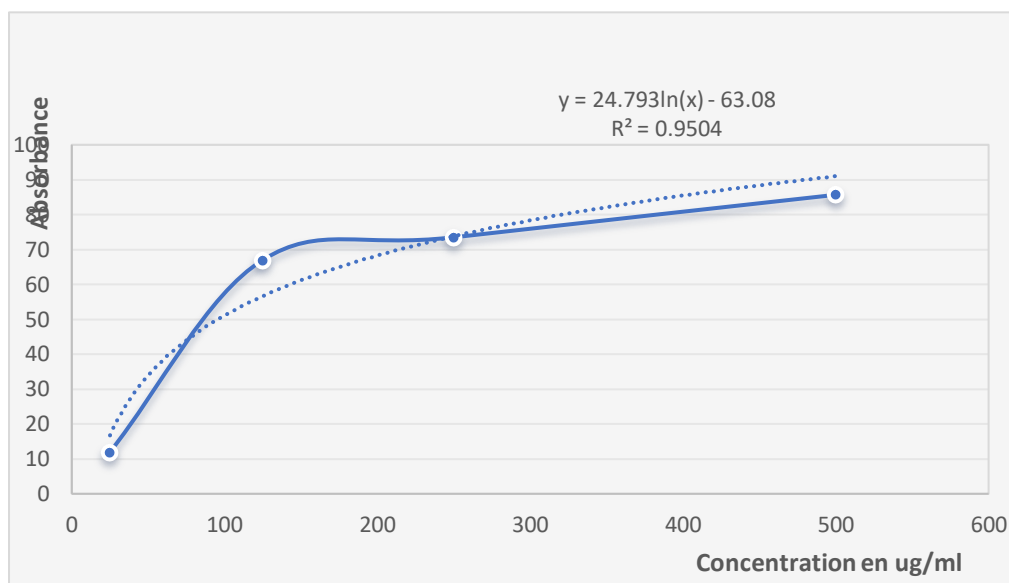


Figure 18 : Les pourcentages d'inhibitions en fonctions des concentrations d'acide ascorbique

L'augmentation simultanée du pourcentage d'inhibition des radicaux libres DPPH par l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* met en évidence son activité antioxydante.

Les valeurs de la CI_{50} obtenues pour l'acide ascorbique et l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* sont présentées dans **le tableau 07**.

Tableau 07: CI_{50} (µg /ml) d'acide ascorbique et de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*.

	CI_{50} DPPH
Acide Ascorbique	0,59
Huile Essentielle	0,31

Ces résultats montrent que l'acide ascorbique et l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* possèdent une activité antioxydante vis-à-vis du radical DPPH.

L'acide ascorbique présente une valeur de CI_{50} de 0,59 µg/mL, tandis que l'huile essentielle affiche une CI_{50} de 0,31 µg/mL. Par conséquent, il apparaît que l'huile essentielle présente une activité antioxydante plus élevée que celle de l'acide ascorbique, en raison de sa plus

faible valeur de CI_{50} , ce qui indique sa capacité à inhiber 50 % des radicaux libres à une concentration plus faible.

Cette différence d'activité antioxydante peut s'expliquer par la variation des mécanismes d'interaction des composés actifs avec les radicaux libres, lesquels dépendent de la structure chimique et de la configuration moléculaire des composés. En effet, certains composés présentent une plus grande réactivité envers le radical DPPH et permettent ainsi sa réduction plus efficacement. Ainsi, l'efficacité antioxydante est fortement liée à la structure chimique et à la nature des groupes fonctionnels des molécules (Bondet et al., 1997).

3.2. Réduction de fer (FRAP)

L'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* a été évaluée par la méthode du pouvoir réducteur du fer (FRAP), qui repose sur la capacité des composés antioxydants à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}). Les valeurs des densités optiques obtenues aux différentes concentrations de l'huile essentielle ainsi que de l'acide ascorbique, utilisé comme témoin de référence, sont présentées dans les figures 19 et 20

Les résultats obtenus ont montré que le pouvoir réducteur de l'huile essentielle augmente progressivement avec l'augmentation de la concentration. En effet, une élévation de l'absorbance mesurée à 700 nm traduit une augmentation de la capacité de réduction des ions ferriques et reflète ainsi une activité antioxydante plus importante. Ces observations sont en accord avec les travaux de (Ozturk et al.,2007), (Su et al.,2008) et (Liu et al.,2009), qui ont établi une relation positive entre l'absorbance et le pouvoir réducteur des échantillons testés.

Aux faibles concentrations, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* a présenté une activité réductrice comparable, voire parfois supérieure, à celle de l'acide ascorbique. Cette activité pourrait être attribuée à la présence de composés bioactifs, notamment les composés phénoliques et terpéniques, capables de céder des électrons et de neutraliser les espèces réactives impliquées dans les phénomènes d'oxydation.

Par ailleurs, les valeurs d'absorbance enregistrées à 700 nm ont évolué de manière proportionnelle avec les concentrations testées, confirmant ainsi la relation dose-effet de l'huile essentielle. Les courbes obtenues ont permis de déterminer les valeurs de CE_{50} ,

correspondant à la concentration nécessaire pour atteindre 50 % de l'activité réductrice maximale. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 08**.

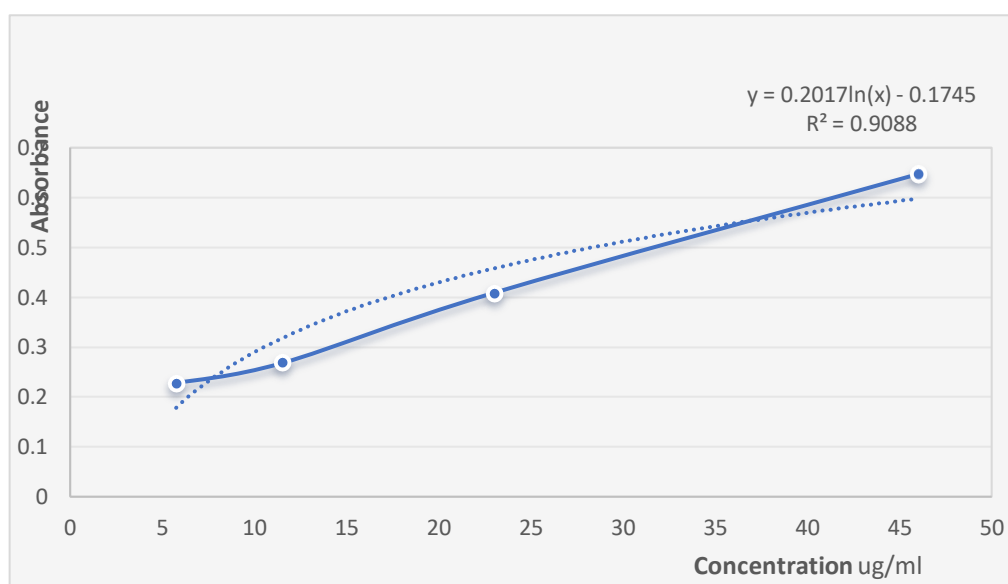


Figure 19 : Évolution du pouvoir réducteur du fer en fonction des différentes concentrations de l'antioxydant de synthèse et de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*.

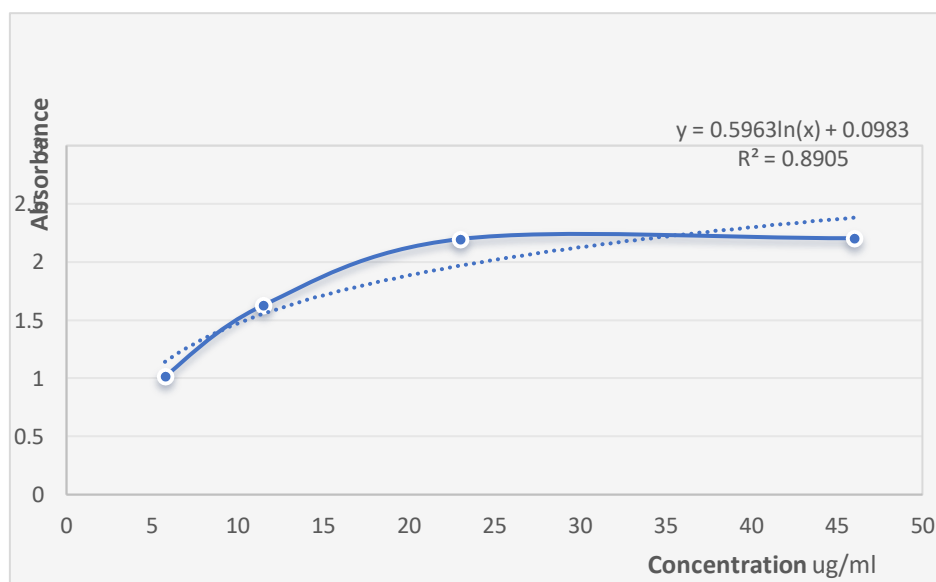


Figure 20 : Pouvoir réducteur du fer de l'acide ascorbique à différentes concentrations.

Tableau 08 : CE50 (ug/mL) de l'acide ascorbique et de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*

	CE50
Acide Ascorbique	1,49
Huile Essentielle De <i>Matricaria Chamomilla</i>	12,5

4. Evaluation De l'Activité Antibactérienne :

4.1 Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et des concentrations minimales bactéricides (CMB)

La méthode de micro-dilution est une technique couramment utilisée pour évaluer l'activité antimicrobienne des extraits et des huiles essentielles. Elle permet de déterminer la concentration minimale capable d'inhiber la croissance bactérienne. Cette méthode repose sur la réalisation de dilutions successives de l'échantillon dans des puits contenant un milieu de culture liquide (Bouillon Nutritif), inoculé avec une suspension bactérienne standardisée, suivie d'une incubation dans des conditions favorables au développement microbien.

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente une activité inhibitrice vis-à-vis d'*Escherichia coli* à une concentration de 46 µg/mL (**Figure 21**). Par ailleurs, une valeur de concentration minimale inhibitrice (CMI) de 0,7187 µg/mL a été enregistrée pour *Bacillus subtilis*, indiquant une plus grande sensibilité de cette souche à l'huile essentielle.

Ces résultats mettent en évidence une variation de la sensibilité des souches bactériennes testées, en fonction de leur nature et de leur structure cellulaire. En particulier, les bactéries Gram positives et Gram négatives peuvent présenter des réponses différentes face aux composés bioactifs de l'huile essentielle. De plus, l'égalité observée entre la CMI et la CMB pour *Escherichia coli* suggère un effet bactéricide direct de l'huile essentielle à la concentration inhibitrice, indiquant ainsi une action non seulement bactériostatique mais également bactéricide.

Ainsi, il peut être conclu que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* possède une activité antimicrobienne significative, dont l'efficacité varie selon la souche bactérienne

testée. Cette activité est probablement liée à la richesse de l'huile essentielle en composés bioactifs tels que les terpènes et les composés phénoliques. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 09**

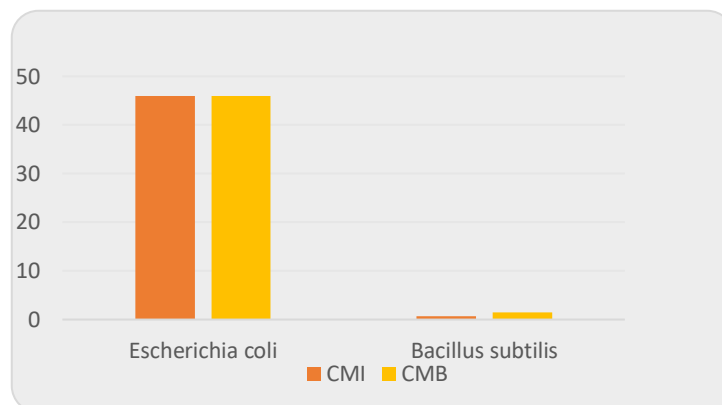


Figure 21 : présente les résultats des CMI et des CMB de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* vis-à-vis des souches bactériennes.

Tableau 09 : Concentrations minimales inhibitrices CMI et concentrations minimales bactéricides (CMB) (mg/mL) de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*

<i>Escherichia coli</i>	46
	(46)
	1
<i>Bacillus subtilis</i>	0,7187
	(1,4374)
	2

CMI^a : Concentration minimale inhibitrice ug/ml, (**CMB^b**) : Concentration minimale bactéricide ug/ml, **R** : Le rapport CMB/CMI

Nos résultats sont en accord avec les données rapportées dans la littérature scientifique concernant l'activité antimicrobienne de *Matricaria chamomilla*, avec certaines différences liées au type d'extrait et à la nature des souches bactériennes testées. En effet, nos résultats obtenus par la méthode de micro-dilution montrent que l'huile essentielle de la camomille présente une activité inhibitrice contre *Escherichia coli* à une concentration de 46 µg/mL,

tandis que *Bacillus subtilis* s'est révélée nettement plus sensible, avec une valeur de CMI très faible (0,7187 µg/mL). De plus, les résultats indiquent que certaines souches peuvent présenter un effet bactéricide au niveau de la concentration inhibitrice, comme c'est le cas pour *Escherichia coli*, où les valeurs de CMI et de CMB sont identiques, suggérant ainsi une action bactéricide directe.

Par comparaison avec les études antérieures, (**Cinco et al.,1983**) ont montré que l'extrait hydroalcoolique de la camomille est capable d'inhiber un large éventail de bactéries pathogènes, notamment *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp et *Bacillus* spp, ce qui confirme le large spectre d'activité antibactérienne de cette plante.

De même, (**Munir et al.,2014**) ont rapporté que les extraits hydroalcooliques de *Matricaria chamomilla* présentent une activité plus importante contre *Staphylococcus aureus* que contre *Escherichia coli*, avec une absence d'effet observée sur certaines souches telles que *Salmonella typhi*, ce qui reflète une forte variabilité de la sensibilité bactérienne selon la structure cellulaire et l'espèce. Dans notre étude également, une différence notable de sensibilité a été observée entre les bactéries Gram positives et Gram négatives, ce qui soutient l'hypothèse selon laquelle la structure de la paroi cellulaire joue un rôle déterminant dans la susceptibilité aux composés actifs.

Ainsi, nos résultats, en accord avec les travaux antérieurs, confirment que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* possède une activité antimicrobienne importante, dont l'efficacité varie selon la souche bactérienne. Cette activité est probablement liée à sa richesse en composés bioactifs tels que les terpènes et les composés phénoliques, capables d'altérer l'intégrité de la membrane cellulaire bactérienne.

5. Etude de l'effet antibactérien des huiles essentielles de *Matricaria chamomilla*

L'effet des huiles essentielles de *Matricaria chamomilla* a été évalué sur la viabilité cellulaire, l'activité enzymatique de la lipase ainsi que la tolérance au sel, en utilisant une seule souche bactérienne de *Bacillus subtilis*. Cette approche expérimentale a été adoptée afin de déterminer la nature de l'effet exercé par ces huiles essentielles, à savoir un effet bactéricide ou simplement inhibiteur de la croissance bactérienne.

Dans cette partie du travail, l'impact des huiles essentielles a été étudié en considérant simultanément la viabilité cellulaire, la tolérance au stress salin et l'activité de la lipase. Les

essais de viabilité cellulaire ont été réalisés dans le but de mettre en évidence les effets des différents traitements en fonction de deux paramètres essentiels, à savoir le temps d'exposition et la concentration (dose appliquée). Par ailleurs, la tolérance au sel ainsi que l'activité enzymatique de la lipase chez les micro-organismes traités ont été évaluées au moyen de milieux de culture sélectifs et appropriés à chaque test. Le tableau 10 récapitule les différentes concentrations d'huiles essentielles de *Matricaria chamomilla* utilisées au cours de la réalisation de ces trois expérimentations.

Tableau 10 : Concentrations des huiles essentielles de *Matricaria chamomilla* utilisées lors des trois expérimentations en ug/ml

CMI/2	CMI	CMI*2
0,359	0,7187	1,4374

5.1 Test de la viabilité cellulaire

Les résultats présentés dans la **figure 22** montrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* exerce un effet inhibiteur sur la viabilité de *Bacillus subtilis*, effet qui dépend à la fois de la concentration et de la durée d'exposition. À la concentration **1/2 CMI**, une légère diminution du nombre de cellules viables est observée au cours du temps, indiquant un effet antibactérien modéré, insuffisant pour inhiber de manière significative la croissance bactérienne. En revanche, à la concentration **CMI**, une réduction plus marquée de la viabilité cellulaire est enregistrée, cette diminution devenant plus importante avec l'augmentation du temps d'exposition, ce qui met en évidence un effet dépendant du temps. À la concentration **2× CMI**, une chute rapide et importante du nombre de cellules viables est observée dès les premiers temps de traitement, suggérant un effet bactéricide potentiel à forte concentration. Globalement, ces résultats démontrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* présente une activité antibactérienne contre *Bacillus subtilis*, de manière dose- et temps-dépendante, probablement liée à la présence de composés bioactifs capables d'altérer l'intégrité de la membrane cellulaire et d'interférer avec les fonctions métaboliques essentielles des bactéries.

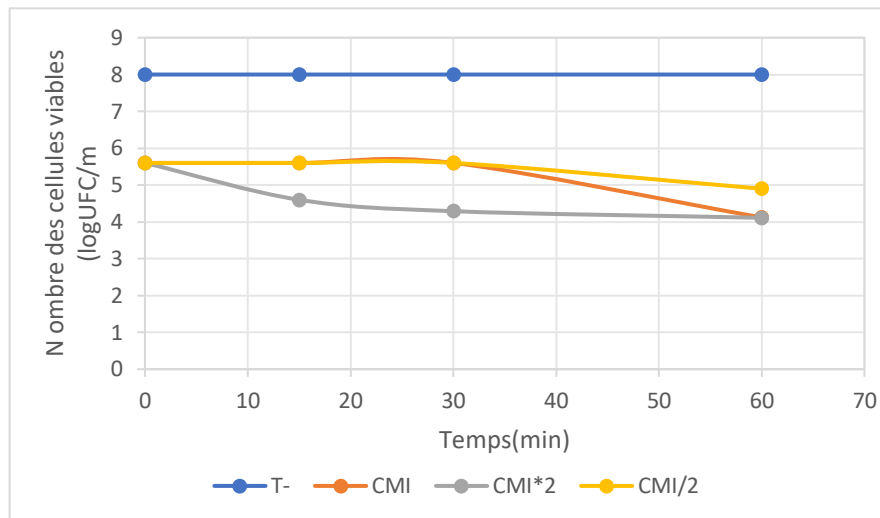


Figure 22 : Évaluation de la viabilité cellulaire

5.2. Tolérance au sel

Les résultats du test de tolérance au sel montrent que l'exposition de *Bacillus subtilis* à différentes concentrations de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* entraîne une diminution importante de la capacité des cellules à former des colonies sur un milieu contenant du NaCl (tableau 11). À 0 minute, les valeurs enregistrées montrent une différence nette entre le témoin (100 %) et les cellules traitées, avec $6,4 \times 10^2$ pour les concentrations de 0,359 et 0,7187 $\mu\text{g/ml}$, et $2,8 \times 10^2$ pour la concentration de 1,4374 $\mu\text{g/ml}$, ce qui indique une diminution immédiate de la viabilité bactérienne dès le premier contact avec l'huile essentielle. Après 60 minutes d'incubation, une réduction beaucoup plus importante est observée, puisque la capacité de formation des colonies chute à $6,4 \times 10^{-4} \%$ pour toutes les concentrations testées, alors que le témoin reste stable à 100 %, ce qui traduit une perte quasi totale de la capacité des cellules survivantes à croître en milieu salé.

Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* exerce une action rapide puis progressive sur *Bacillus subtilis*, en perturbant probablement l'intégrité de la membrane cytoplasmique. Cette perturbation entraîne une augmentation de la perméabilité membranaire, des fuites de constituants cellulaires et une incapacité à maintenir l'équilibre osmotique en présence de NaCl, ce qui explique la diminution importante de la tolérance au sel observée. Ce mécanisme est cohérent avec les travaux de (Carson et al.,2002), (Burt.,2004) et (Cox et al.,2000), qui ont montré que les huiles essentielles agissent principalement sur les membranes bactériennes en altérant leur structure et leur fonctionnement. **Tableau 11**

Tableau 11 : Variation de la capacité de formation des colonies de *Bacillus subtilis* en fonction des concentrations de l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* sur milieu GN-NaCl

		Concentrations de l'HE (ug/ml)		
Temps d'incubation (min)	(témoin)	0,359	0,7187	1,4374
0	100%	$6.4 \cdot 10^2$	$6.4 \cdot 10^2$	$2,810^2$
60	100%	$6.4 \cdot 10^{-4} \%$	$6.4 \cdot 10^{-4} \%$	$6.4 \cdot 10^{-4} \%$

5.3. Activité des lipases :

Dans le milieu AST (suspension sans huile essentielle), une seule colonie a été observée après 60 minutes, ce qui indique la persistance d'une faible activité de survie et de croissance chez *Bacillus subtilis* en absence de traitement. En revanche, dans le milieu AST (suspension avec huile essentielle à la CMI), aucune colonie n'a été détectée après la même durée d'incubation, ce qui traduit une inhibition totale de la croissance bactérienne.

Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla* exerce un effet bactéricide dépendant du temps d'exposition. En effet, les huiles essentielles sont connues pour agir principalement sur la membrane cytoplasmique des microorganismes, entraînant une augmentation de sa perméabilité, une fuite des constituants cellulaires et, par conséquent, la perte de viabilité cellulaire (Carson et al., 2002 ; Burt ., 2004 ; Cox et al., 2000)

Ainsi, l'absence totale de colonies dans le milieu traité à la CMI après 60 minutes confirme que l'huile essentielle provoque non seulement une inhibition de la croissance, mais également une perte complète de la capacité de survie des cellules bactériennes dans ces conditions. **Tableau12**

Tableau12 : Comparaison de la croissance de *Bacillus subtilis* en milieu AST avec et sans huile essentielle de *Matricaria chamomilla* (CMI, 60 min)

Milieu AST (Just la suspension sans HE) après 60 minutes	Milieu AST (suspension avec HE CMI) après 60 minutes
Une seule colonie	Pas de colonie

Les plantes médicinales constituent depuis des millénaires une source essentielle de composés bioactifs aux propriétés pharmacologiques variées. Parmi elles, la camomille allemande (*Matricaria chamomilla* L.) occupe une place importante en raison de ses usages traditionnels et de la richesse de sa composition chimique, qui lui confère de nombreuses activités biologiques.

Dans le cadre de ce travail, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*, récoltée dans la région de Ras El Oued (Bordj Bou Arreridj, Algérie), a été étudiée afin d'évaluer ses propriétés biochimiques et biologiques. L'extraction par hydrodistillation a permis d'obtenir un rendement satisfaisant, mettant en évidence l'intérêt de cette espèce végétale comme source naturelle de substances actives.

Les résultats obtenus ont révélé une activité antioxydante significative, attribuée principalement à la présence de composés phénoliques tels que l' α -bisabolol, le chamazulène et les flavonoïdes. Ces composés ont démontré une capacité importante à neutraliser les radicaux libres et à réduire le stress oxydatif.

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité antibactérienne a montré un effet inhibiteur variable selon les souches bactériennes testées, avec une sensibilité plus marquée chez les bactéries à Gram positif, notamment *Bacillus subtilis*. Cette activité dépendante de la concentration confirme le potentiel antimicrobien de l'huile essentielle étudiée.

L'ensemble de ces résultats confirme l'intérêt pharmacologique de *Matricaria chamomilla* et justifie son utilisation traditionnelle, tout en renforçant son potentiel d'application dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.

Cependant, l'utilisation de cette huile essentielle doit être envisagée avec prudence, en raison de possibles effets indésirables, notamment chez les personnes sensibles, les femmes enceintes ou les patients sous traitement médical.

Enfin, il serait pertinent de poursuivre les recherches afin d'approfondir l'étude de la composition chimique de cette huile essentielle et de mieux comprendre ses mécanismes d'action, en vue de développer des applications thérapeutiques et industrielles plus sûres et plus efficaces.

Conclusion

Les plantes médicinales constituent depuis des millénaires une source essentielle de composés bioactifs aux propriétés pharmacologiques variées. Parmi elles, la camomille allemande (*Matricaria chamomilla* L.) occupe une place importante en raison de ses usages traditionnels et de la richesse de sa composition chimique, qui lui confère de nombreuses activités biologiques.

Dans le cadre de ce travail, l'huile essentielle de *Matricaria chamomilla*, récoltée dans la région de Ras El Oued (Bordj Bou Arreridj, Algérie), a été étudiée afin d'évaluer ses propriétés biochimiques et biologiques. L'extraction par hydrodistillation a permis d'obtenir un rendement satisfaisant, mettant en évidence l'intérêt de cette espèce végétale comme source naturelle de substances actives.

Les résultats obtenus ont révélé une activité antioxydante significative, attribuée principalement à la présence de composés phénoliques tels que l' α -bisabolol, le chamazulène et les flavonoïdes. Ces composés ont démontré une capacité importante à neutraliser les radicaux libres et à réduire le stress oxydatif.

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité antibactérienne a montré un effet inhibiteur variable selon les souches bactériennes testées, avec une sensibilité plus marquée chez les bactéries à Gram positif, notamment *Bacillus subtilis*. Cette activité dépendante de la concentration confirme le potentiel antimicrobien de l'huile essentielle étudiée.

L'ensemble de ces résultats confirme l'intérêt pharmacologique de *Matricaria chamomilla* et justifie son utilisation traditionnelle, tout en renforçant son potentiel d'application dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.

Cependant, l'utilisation de cette huile essentielle doit être envisagée avec prudence, en raison de possibles effets indésirables, notamment chez les personnes sensibles, les femmes enceintes ou les patients sous traitement médical.

Enfin, il serait pertinent de poursuivre les recherches afin d'approfondir l'étude de la composition chimique de cette huile essentielle et de mieux comprendre ses mécanismes d'action, en vue de développer des applications thérapeutiques et industrielles plus sûres et plus efficaces.

Références bibliographiques

A

- Anderson, C., Lis-Balchin, M., & Kirk-Smith, M. (2000). Evaluation of massage with essential oils on childhood atopic eczema. *Phytotherapy Research*, 14(6), 452–456.
- Amorati, R., & Valgimigli, L. (2018). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 3324–3329.
- Ariba, F. Z., Benchiheb, H., & Deneche, S. (2020). *Synthèse des propriétés physicochimiques et biologiques d'Eucalyptus globulus Labill.* Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine.
- Astani, A., et al. (2009). Screening for antiviral activities of isolated compounds from essential oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.
- Astani, A., et al. (2010). Comparative study on the antiviral activity of selected monoterpenes derived from essential oils. *Phytotherapy Research*, 24(5), 673–679.
- Avallone, R., Zanolli, P., Puia, G., Kleinschnitz, M., Schreier, P., & Baraldi, M. (2000). Pharmacological profile of apigenin, a flavonoid isolated from *Matricaria chamomilla*. *Biochemical Pharmacology*, 59(11), 1387–1394.

B

- Babenko, N. A., & Shakhova, E. G. (2006). Effects of *Chamomilla recutita* flavonoids on age-related liver sphingolipid turnover in rats. *Experimental Gerontology*, 41(1), 32–39.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446–475.
- Becker, B., Kuhn, U., & Hardewig-Budny, B. (2006). Double-blind, randomized evaluation of clinical efficacy and tolerability of an apple pectin-chamomile extract in children with unspecific diarrhea. *Arzneimittelforschung*, 56(06), 387–393.
- Belahcene, N., & Messouak, E. Y. (2021). *Étude comparative des activités antioxydante, antibactérienne et anti-inflammatoire des composés phénoliques de l'Anthemis pedunculata et Matricaria chamomilla.* Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi.
- Bellakhdar, J. (1997). *La pharmacopée marocaine traditionnelle.* Paris : Ibis Press.
- Béliveau, R., & Gingras, D. (2005). *Les aliments contre le cancer.* Éditions du Trécarré.
- Benhamidat, L. (2018). *Étude chimique et biologique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques exploitées au niveau de la pépinière d'Ain Fettouh.*
- Benzeggouta, N. (2005). *Étude de l'activité antibactérienne des huiles infusées de quatre plantes médicinales connues comme aliments.* Mémoire de Magister.
- Besombes, C. (2008). *Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermomécanique d'herbes aromatiques.* Thèse de Doctorat.
- Bezanger-Beauquesne, L., Beauquesne, L., et al. (1990). *Plantes médicinales des régions tempérées.* Paris : Maloine.
- Betoui, K. (2025). *Contribution à la recherche de l'activité antioxydante de quelques extraits de camomille (Matricaria chamomilla).* Mémoire de Master.

- Bondet, V., Brand-Williams, W., & Berset, C. (1997). Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *LWT – Food Science and Technology*, 30(6), 609–615.
- Bouguerra, A. (2012). *Étude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de Foeniculum vulgare Mill.* Mémoire de Magister.
- Boukhatem, M. N. (2020). *Effet et mécanisme d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne.* Mémoire de Master.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, A., & Kameli, A. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Revue Agrobiologia*.
- Bouras, M. (2018). *Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques.* Thèse de Doctorat.
- Braga, P. C., Dal Sasso, M., Culici, M., et al. (2006). Antioxidant potential of thymol determined by chemiluminescence inhibition. *Pharmacology*, 76, 61–68.
- Bruneton, J. (1993). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales.* Paris : Lavoisier.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
- Bussmann, R. W., Batsatsashvili, K., Kikvidze, Z., et al. (2019). *Matricaria chamomilla L.* In: *Ethnobotany of Mountain Regions of Far Eastern Europe*.

C

- Carson, C. F., Mee, B. J., & Riley, T. V. (2002). Mechanism of action of *Melaleuca alternifolia* oil on *Staphylococcus aureus*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 49, 859–863.
- Catani, M. V., Rinaldi, F., Tullio, V., et al. (2021). Comparative analysis of phenolic composition of six commercially available chamomile extracts. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), 10601.
- Chauhan, R., Singh, S., Kumar, V., et al. (2021). A comprehensive review on biology, genetic improvement, agro and process technology of German chamomile. *Plants*, 11(1), 29.
- Chauhan, R., Singh, S., Kumar, V., et al. (2022). A comprehensive review on biology, genetic improvement, agro and process technology of German chamomile. *Plants*, 11, 29.
- Chen, G., Lv, C., Nie, Q., et al. (2024). Essential Oil of *Matricaria chamomilla* Alleviate Psoriatic-Like Skin Inflammation. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 17, 59–77.
- Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial Activity of Some Essential Oils. *Medicines*, 4, 58.
- Cinco, M., Banfi, E., Tubaro, A., & Loggia, R. D. (1983). A microbiological survey on the activity of a hydroalcoholic extract of camomile. *International Journal of Crude Drug Research*, 21(4), 145–151.
- Cornillot, P., Antoine, P., Balansard, G., et al. (1993). Matricaire. In *Encyclopédie des médecines naturelles*.
- Courvalin, P., et al. (1990). *Bactéricide : Aspects théoriques et thérapeutiques*.

- Cox, S. D., Mann, C. M., & Markham, J. L. (2000). The mode of antimicrobial action of tea tree oil. *Journal of Applied Microbiology*, 88, 170–175.
- Crotteau, C. A., Wright, S. T., & Eglash, A. (2006). What is the best treatment for infants with colic? *Journal of Family Practice*, 55, 634–636.

D

- Damião, P. S., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., et al. (2023). Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities.
- Daroui-Mokaddem, H. (2011). *Étude phytochimique et biologique des espèces Eucalyptus globulus, Smyrniolus olusatrum, Asteriscus maritimus et Chrysanthemum trifurcatum*. Thèse de Doctorat.
- Dorman, H. J. D., & Deans, S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308–316.
- Duarte, M. C. T., et al. (2005). Anti-Candida activity of Brazilian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 97(2), 305–311.

E

- Edris, A. E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their volatile constituents. *Phytotherapy Research*, 21(4), 308–323.
- El-Assri, E. M., Hmamou, A., El-Assri, Y., et al. (2025). Phytochemical profiling and evaluation of Moroccan *Matricaria chamomilla* essential oil. *Scientific Reports*, 15(1), 43620.
- El Mihaoui, A., Esteves da Silva, J. C. G., Charfi, S., et al. (2022). Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): A review of ethnomedicinal use, phytochemistry and pharmacological uses. *Life*, 12, 479.
- El Mihaoui, A., Arnao, M. B., Esteves da Silva, J. C. G., et al. (2025). Anticancer activity and chemical composition of dry extract from Moroccan chamomile. *Pharmacological Research Natural Products*, 7.

F

- Fillatre, Y. (2011). *Produits phytosanitaires : développement d'une méthode d'analyse multirésidus dans les huiles essentielles*. Thèse d'Université d'Angers.
- Fioroni, N. (2023). *Évaluation de la capacité antioxydante de légumes-feuilles africains*. Thèse de Doctorat.
- Forster, H. B., Niklas, H., & Lutz, S. (1980). Antispasmodic effects of some medicinal plants. *Planta Medica*, 40(4), 309–319.
- Fournier, P. (1948). *Le livre des plantes médicinales et vénéneuses de France*.

G

- Gardner, P. (1997). Superoxide-driven aconitase Fe-S center cycling. *Bioscience Reports*, 17, 33–42.
- Gaussen, H., & Leroy, H. F. (1982). *Précis de Botanique (végétaux supérieurs)*.

- Gilles Figueredo. (2007). *Étude chimique et statistique de la composition d'huile essentielle d'origans*.
- Gomaa, A., Hashem, T., Mohamed, M., & Ashry, E. (2003). *Matricaria chamomilla* extract inhibits morphine dependence. *Journal of Pharmacological Sciences*, 92(1), 50–55.
- Guinoiseau, E. (2010). *Molécules antibactériennes issues d'huiles essentielles : séparation, identification et mode d'action*. Thèse de Doctorat.
- Gulcin, İ. (2020).
- Gutteridge, J. M., & Mitchell, J. (1999). Redox imbalance in the critically ill. *British Medical Bulletin*, 55(1), 49–75.

H

- Habersang, S., Leuschner, F., Isaac, O., & Thiemer, K. (1979). Toxicity studies of (-)- α -bisabolol. *Planta Medica*, 37(2), 115–123.
- Hajjaj, G. (2017). *Screening phytochimique, étude toxicologique et valorisation pharmacologique de Matricaria chamomilla*. Thèse de Doctorat.
- Halliwell, B. (1999). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9(1), 1–32.
- Hart, P. H., Brand, C., Carson, C. F., et al. (2000). Terpinen-4-ol suppresses inflammatory mediator production. *Inflammation Research*.
- Hernandez Ochoa, L. (2005). *Substitution de solvants et matières actives de synthèse*. Thèse de Doctorat.
- Himed, L. (2011). *Évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles de Citrus limon*. Mémoire de Magister.
- Hulin, V., Mathot, A. G., Mafart, P., & Dufossé, L. (1998). Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles. *Science des Aliments*, 18, 563–582.

J

- Jahangir, T., & Sultanaa. (2007). Perillyl alcohol protects against Fe-NTA-induced nephrotoxicity. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 4, 439–445.
- Jacques, G., & Paltz, S. A. (1997). *Le fascinant pouvoir des huiles essentielles*.
- Jouault, S. (2012). *La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et leur toxicité*. Université de Lorraine.

K

- Karaman, S., et al. (2001). Antibacterial and antifungal activity of *Thymus revolutus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 76(2), 183–186.
- Kassi, E., Papoutsis, Z., Fokialakis, N., et al. (2004). Greek plant extracts exhibit SERM-like properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(23), 6956–6961.
- Kazemi, M. (2014). Chemical composition and antimicrobial activity of *Matricaria chamomilla*.

- Kfoury, M., & Fourmentin, S. (2024). Les huiles essentielles : renaissance d'ingrédients naturels et durables. *Technologie et Innovation*, 9(1), 1–22.
- Keyvan, Y., Hamedeyazdan, S., Torbati, M. A., et al. (2016). Chromatographic fingerprint analysis of marrubiin. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 6(1), 131–136.
- Kherraz, K., Messaoudi, M., Benchikha, N., et al. (2023). Determination of essential and toxic elements in Algerian *Matricaria chamomilla*. *Radiochimica Acta*, 111(7), 565–571.
- Knobloch, K., et al. (1989). Antibacterial and antifungal properties of essential oil components.
- Koh, K. J., Pearce, A. L., Marshman, G., et al. (2002). Tea tree oil reduces histamine-induced skin inflammation. *British Journal of Dermatology*, 147, 1212–1217.
- Kovats, E. (1965). Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system. *Advances in Chromatography*, 229–297.

L

- Lee, S. Y., Lee, D. Y., Kim, O. Y., et al. (2020). Natural antioxidative materials in meat products. *Food Science of Animal Resources*, 40(6), 863–880.
- Lis-Balchin, M. (2003). *Lavender: The Genus Lavandula*. CRC Press.
- Liu, M., Sun, J., Sun, Y., et al. (2009). Thickness-dependent mechanical properties of PDMS membranes. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 19(3), 035028.

M

- Magalhães, C. B. T., Mesquita, D. S., Leal, L. K. A. M., & Honório Júnior, J. E. R. (2022). Avaliação in silico da atividade ansiolítica de compostos da camomila. *J. Health Biol. Sci.*, 10(1), 1–8.
- Mahady, G. B., Parrot, J., Lee, C., et al. (2003). Botanical dietary supplement use in peri- and postmenopausal women. *Menopause*, 10(1), 65–72.
- Martini, M. C., & Seiller, M. (1999). *Éditions Tec et Doc*. Paris : Lavoisier.
- Maruyama, N., Sekimoto, N., & Ishibashi, H. (2005). Suppression of neutrophil accumulation by geranium essential oil. *Journal of Inflammation*, 2, 1–11.
- Masago, R., Matsuda, T., Kikuchi, Y., et al. (2000). Effects of inhalation of essential oils on EEG activity. *Journal of Physiological Anthropology*, 19(1), 35–42.
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2006). A review of the bioactivity and health benefits of chamomile tea. *Phytotherapy Research*, 20(7), 519–530.
- Meierhenrich, U. J., Golebiowski, J., Fernandez, X., & Cabrol-Bass, D. (2005). De la molécule à l'odeur. *L'Actualité Chimique*, 289, 29–40.
- Milner, J. A. (2006). Preclinical perspectives on garlic and cancer. *Journal of Nutrition*, 136, 827S–831S.
- Mnayer, D. (2014). *Eco-extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires*. Thèse de Doctorat.
- Moghaddasi, M. S. (2011). Study on chamomile usage and farming. *Advances in Environmental Biology*, 1446–1454.
- Munir, N., et al. (2014). Antibacterial activity of hydroethanolic extracts of *Matricaria chamomilla*.

- Myrtea-Formations. (2020). *Monographie plante Matricaria recutita L.*

N

- Nelson, N. (1997). Scents or nonsense: aromatherapy's benefits still subject to debate. *Journal of the National Cancer Institute*, 89, 1334–1336.

O

- Ozturk, S., & Ercisli, S. (2007). Antibacterial activity and chemical constitutions of *Ziziphora clinopodioides*. *Food Control*, 18(5), 535–540.

P

- Paolini, J. (2005). *Caractérisation des huiles essentielles par CPG/IR, CPG/MS et RMN du carbone 13*. Thèse de Doctorat.
- Peana, A. T., D'Aquila, P. S., Panin, F., et al. (2002). Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate. *Phytomedicine*, 9, 721–726.
- Pezantes-Orellana, C., et al. (2024). Essential oils: a systematic review on health benefits and food preservation. *Frontiers in Medicine*, 11, 1337785.
- Pina-Vaz, C., Rodrigues, A. G., Pinto, E., et al. (2004). Antifungal activity of *Thymus* oils. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 18, 73–78.
- Piochon, M. (2008). *Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne*. Thèse.
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for determination of antioxidant capacity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302.
- Pyun, M. S., & Shin, S. (2006). Antifungal effects of volatile oils from *Allium* plants. *Phytomedicine*, 13, 394–400.

Q

- Quezel, P., & Santa, S. (1962–1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*.
- Quezel, P., & Santa, S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome II.

R

- Raal, A., Karpov, S., et al. (2024). German Chamomile Flower Extract and 3D-Printed Dosage Forms. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), 8292.
- Rahman, K. (2007). Studies on free radicals, antioxidants and cofactors. *Clinical Interventions in Aging*, 2(2), 219–236.
- Rai, M. K., Acharya, D., & Wadegaonkar, P. (2003). Plant derived-antimycotics. In *Current Trends and Future Prospects*.
- Rasooli, I., Rezaei, B., & Allameh, A. (2005). Growth inhibition of *Aspergillus niger* by essential oils. *Food Control*, 16(10), 859–866.

- Reichling, J., et al. (2020). Essential oils and their components as antiviral agents. *Phytotherapy Research*.
- Rezgoui, M., Majdoub, N., Mabrouk, B., et al. (2020). Antioxidant and antifungal activities of marrubiin. *Journal de Mycologie Médicale*, 30(4), 100927.
- Rosenberg Zand, R. S., Jenkins, D. J., & Diamandis, E. P. (2001). Effects of natural products on steroid hormone-regulated gene expression. *Clinica Chimica Acta*, 312, 213–219.
- Ruberto, G., & Baratta, M. T. (2000). *Food Chemistry*, 69, 167–174.

S

- Sacchetti, G., et al. (2005). Comparative evaluation of 11 essential oils as antioxidants and antimicrobials. *Food Chemistry*, 91(4), 621–632.
- Salamon, I. (1992). Chamomile cultivation, harvesting and processing. *Acta Horticulturae*, 306, 225–234.
- Samate, A. D. (2001). *Composition chimique d'huiles essentielles extraites de plantes aromatiques du Burkina Faso*. Thèse de Doctorat.
- Sahnoune, K. N. E. H., & Hafsi, I. (2024). *Étude des interactions biologiques d'Artemisia judaica L. et de Myrtus nivellei*. Mémoire de Master.
- Sauvage, C. (1974). L'état actuel de nos connaissances sur la flore du Maroc. *Colloque du CNRS*.
- Schilcher, H. (1987). *Die Kamille*. Stuttgart.
- Seghiri, F., & Hacı, H. (2023). *Évaluation de l'efficacité antiseptique de l'huile essentielle de Cinnamomum cassia*.
- Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., & Srivastava, M. K. (2011). Chamomile (*Matricaria chamomilla*): An overview. *Pharmacognosy Reviews*, 5(9), 82–95.
- Souza, E. L., et al. (2006). Spices as alternative sources of antimicrobial compounds. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 87(1), 22–25.

T

- Tsuchiya, H., et al. (1996). Antibacterial activity of phytochemical flavanones against MRSA. *Journal of Ethnopharmacology*, 50(1), 27–34.

U

- Ultee, A., et al. (1999). Mechanisms of action of carvacrol on *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(10), 4606–4610.

W

- Wendakoon, C. N., & Sakaguchi, M. (1995). Inhibition of amino acid decarboxylase activity by spice components. *Journal of Food Protection*, 58(3), 280–283.

Z

- Zhang, H., Kim, M. S., Sun, Y., et al. (2008). Soil bacteria confer plant salt tolerance. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 21(6), 737–744.
- Zouaia, K., & Alouche, M. (2025). *Identification et caractérisation des composés bioactifs dans les plantes médicinales Matricaria chamomilla*. Mémoire de Master.

Annexes

Suspendre la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15min.

Bouillon Nutritif (BN) :

Formule (en g/l)

Peptone 15,0

Extrait de levure 3,0

Chlorure de sodium 6,0

Glucose 1,0

Eau Distillée qsp 1L

pH = 7,1 ($\pm 0,2$) à 37°C

Suspendre 25g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Gélose Nutritive (GN) :

Formule (en g/l)

Peptone 15,0

Extrait de levure 3,0

Chlorure de sodium 6,0

Glucose 1,0

Agar 15,0

Eau Distillée qsp 1L

pH = 7,3 ($\pm 0,2$) à 37°C

Suspendre 40g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Bouillon Mueller Hinton (BMH) :

Formule (en g/l)

Infusion de viande de bœuf 2,0

Hydrolysate de caseine 17,5

Amidon 1,5

Eau Distillée qsp 1L

pH = 7,2($\pm$ 0,2) à 37°C

Suspendre 23 g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Gélose Mueller Hinton (GMH) :

Formule (en g/l)

Infusion de viande de bœuf 4,0

Hydrolysate de caseine 17,5

Amidon 1,5

Agar 15,0

Eau Distillée qsp 1L

pH = 6,8 ($\pm$ 0,2) à 37°C

Suspendre 38g de la poudre dans un litre d'eau distillée, en suite chauffer sous agitation jusqu'à ébullition pour la dissolution totale du milieu et stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min.

Agar Salty Tween (AST):

Formule (en g/l)

Peptone.....10

NaCl..... 75

CaCl₂ H₂O.....0.1

Tween 80.....10

Agar..... 20