

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry of High Education and Scientific Research
Abbes Laghrou University- Khenchela-
Natural and life sciences Faculty
Molecular and Cellular Biology Department



N° de série :

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES **DE MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences de la nature et de la vie**

Filière : **Sciences Biologiques**

Spécialité : **Biochimie appliqué**

Présenté par :

BEZZA Aya ZERARI Hadil

Thème

**Potentiel thérapeutique des huiles
essentielles : Analyse comparative de la
Lavande, Camomille, Arbre à thé et Citron**

Mémoire soutenu publiquement le 17/06/ 2025 Devant le jury composé de :

Dr. TABET Rachid

MCB, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Président

Dr. DOUAOUYA Lilia

MCA, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Encadreur

Dr. BADIS Zakaria

MCB, Université Abbes Laghrou-Khenchela, Examineur

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

*Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers **Allah le Tout-Puissant**, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'aboutissement de ce travail.*

Ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans le soutien et les encouragements de nombreuses personnes, que je tiens à remercier du fond du cœur.

*Je souhaite tout d'abord témoigner ma reconnaissance à **Dr. Douaouya Lilia**, ma directrice de mémoire, pour son accompagnement constant, ses précieux conseils et sa grande disponibilité.*

Sa rigueur scientifique et sa bienveillance ont été d'un soutien inestimable tout au long de ce parcours.

*Ma gratitude s'adresse également à **Dr. Tabet Rachid**, pour avoir accepté de faire partie de mon jury de soutenance. Je le remercie pour sa confiance, son regard critique et son engagement dans l'évaluation de mon travail.*

*Je tiens à remercier chaleureusement **Dr. Badis Zakaria**, pour sa participation au jury ainsi que pour ses remarques constructives, qui contribueront sans aucun doute à enrichir cette étude. Son implication et son soutien me touchent profondément.*

*Je n'oublie pas d'exprimer ma gratitude envers les membres du **Laboratoire Pédagogique de Biologie de l'Université Abbas Laghrour – El Hamma**, ainsi qu'à ceux de l'**Établissement Public Hospitalier Ahmed Ben Bella – Khenchela**, pour leur accueil chaleureux, leur aide précieuse et les moyens mis à ma disposition pour mener à bien les travaux pratiques.*

À mes collègues et amis, un immense merci pour vos encouragements, votre soutien moral et ces moments de partage qui ont marqué cette aventure tant humaine que scientifique.

Enfin, je dédie une pensée toute particulière à ma famille, dont le soutien indéfectible, la patience et l'amour m'ont porté à chaque étape de ce chemin. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

Dédicace

C'est avec l'aide et la grâce d'ALLAH que j'ai achevé ce travail modeste.

Avec tout mon respect et ma profonde reconnaissance, je le dédie :

*À mon cher père **Abdelhafid**, mon pilier et ma source de force. Ta présence bienveillante dans ma vie est un soutien précieux. Merci pour ton amour, ta patience et ta confiance indéfectible. Ton soutien a toujours été un phare dans mon parcours.*

*À ma tendre mère **Bahia**, la lumière de ma vie, celle dont les prières m'accompagnent à chaque pas. Tu es bien plus qu'une mère, tu es mon refuge, mon espoir, mon exemple. Que Dieu te protège et te garde en bonne santé. Je t'aime infiniment. À mes frères **Djemaï et Ramzi**, mes modèles et mes complices. Votre présence, vos encouragements et votre amour ont toujours été d'un grand réconfort pour moi. Que Dieu vous comble de bonheur.*

*À mes chères sœurs **Dounia et Amal**, mes confidentes, mes alliées, mes amies. Merci pour votre soutien constant, vos sourires, et votre amour sans limites.*

*À ma collègue de travail **Hadil**, pour ta gentillesse, ta compréhension et ton accompagnement sincère tout au long de ce chemin.*

*À mes précieuses amies **Wassila, Manar, Yasmine, Chaïma et Rayan**, merci pour les moments partagés, les rires, les mots d'encouragement et la belle énergie que vous m'apportez. Votre amitié est un cadeau inestimable.*

À toutes les personnes qui ont partagé ce chemin avec moi, de près ou de loin, je vous adresse ma gratitude la plus sincère.

Et enfin...Je tiens à me remercier moi-même.

Dédicace

*C'est par la grâce d'Allah, et portée par une foi constante, que j'ai pu accomplir ce travail modeste. Avec tout mon amour, ma reconnaissance et mon respect, je le dédie : À mon père bien-aimé **Abdelkader**, Mon pilier, mon repère, ma force tranquille. Merci pour ta présence rassurante, pour ta patience et pour ton amour discret mais immense.*

*À ma tendre mère **Nadia**, La lumière de ma vie. Ton amour et tes prières m'accompagnent à chaque instant. Tu es mon refuge, mon courage, mon guide. Que Dieu te protège et t'accorde santé et paix.*

*À mes chers frères **Sedali, Haithamet Sedhammed**, Mes alliés silencieux, mes racines solides. Merci pour votre affection, vos regards complices, votre amour fraternel si précieux.*

*À ma douce sœur **Sujud**, Mon petit cœur, ma complice de toujours. Ton rire est un soleil, ta présence une paix intérieure.*

*À mon amie fidèle **Aya**, Merci pour ta bienveillance, ton soutien constant et ta présence sincère à mes côtés. Ton amitié est un trésor.
À toute ma famille,*

À ceux dont les noms ne sont pas écrits ici mais qui vivent dans mon cœur,

Merci pour votre amour, vos encouragements et vos prières. Vous êtes ma force, mon ancrage, ma bénédiction.

Et enfin...Merci à moi.

HADIL

Résumé

Potentiel thérapeutique des huiles essentielles : Analyse comparative de la Lavande, Camomille, Arbre à thé et Citron

Résumé

Cette étude explore la composition phytochimique et les propriétés biologiques des huiles essentielles (HE) extraites de quatre plantes médicinales : *Lavandula angustifolia* (Lavande), *Matricaria chamomilla* (Camomille), *Melaleuca alternifolia* (Arbre à thé) et *Citrus limon* (Citron). Les analyses phytochimiques ont révélé la présence de flavonoïdes, tanins, terpènes et composés phénoliques, avec des variations significatives entre les espèces. La Lavande et la Camomille se distinguent par leur richesse en métabolites secondaires, tandis que le Citron présente un profil plus restreint. Les rendements d'extraction varient selon les plantes, avec l'Arbre à thé affichant le rendement le plus élevé (2,6 %).

Les tests biologiques ont mis en évidence des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes notables. La Camomille montre la plus forte teneur en polyphénols totaux (95 µg EAG/mg), tandis que l'Arbre à thé présente une activité antibactérienne marquée contre des souches comme *Bacillus cereus* (zone d'inhibition de 20 mm). La Lavande excelle dans l'activité anti-hémolytique (92,97 % d'inhibition à 1 mg/ml). Les HE ont également démontré une inhibition dose-dépendante de la dénaturation des protéines, suggérant un potentiel anti-inflammatoire.

Les résultats soulignent l'hétérogénéité chimique et fonctionnelle des HE, corrélée à leurs applications potentielles en phytothérapie, cosmétique et industrie alimentaire, en mettant en évidence l'importance des facteurs environnementaux et méthodologiques dans leur composition et leur efficacité.

Mots-clés : Huiles essentielles, Lavande, Camomille, Arbre à thé, Citron. Activités biologiques.

Abstract

Therapeutic potential of essential oils: Comparative analysis of lavender, chamomile, tea tree, and lemon

Abstract

This study explores the phytochemical composition and biological properties of essential oils (EOs) extracted from four medicinal plants: *Lavandula angustifolia* (lavender), *Matricaria chamomilla* (chamomile), *Melaleuca alternifolia* (tea tree), and *Citrus limon* (lemon). Phytochemical analyses revealed the presence of flavonoids, tannins, terpenes, and phenolic compounds, with significant variations among species. Lavender and chamomile stand out for their richness in secondary metabolites, while lemon exhibits a more limited profile. Extraction yields vary across plants, with tea tree showing the highest yield (2.6%). Biological tests highlighted notable antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial activities. Chamomile has the highest total polyphenol content (95 µg GAE/mg), while tea tree demonstrates marked antibacterial activity against strains such as *Bacillus cereus* (inhibition zone of 20 mm). Lavender excels in anti-hemolytic activity (92.97% inhibition at 1 mg/ml). The EOs also exhibited dose-dependent inhibition of protein denaturation, suggesting anti-inflammatory potential.

The results underscore the chemical and functional heterogeneity of EOs, correlated with their potential applications in phytotherapy, cosmetics, and the food industry, while highlighting the importance of environmental and methodological factors in their composition and efficacy.

Keywords : Essential oils, lavender, chamomile, teatree, lemon, biological activities.

ملخص

إمكانات الزيوت العطرية العلاجية: تحليل مقارن للخزامى والبابونج وشجرة الشاي والليمون

ملخص

تستكشف هذه الدراسة التركيب الكيميائي النباتي والخصائص البيولوجية للزيوت العطرية المستخلصة من أربعة نباتات طبية *Melaleuca angustifolia*، *Lavandula chamomilla* الخزامى، *Matricaria*، البابونج، *Citruslimon* الليمون، و *Iternifolia* شجرة الشاي، و *Citruslimon* الليمون. كشفت التحاليل الكيميائية النباتية عن وجود مركبات الفلافونويد والعفص والتربينات والمركبات الفينولية، مع وجود اختلافات كبيرة بين الأنواع. تميزت الخزامى والبابونج بغناهما بالمركبات الأيضية الثانوية، في حين أظهر الليمون تركيباً كيميائياً أكثر محدودية. تباينت نسب الاستخلاص بين النباتات، حيث سجلت شجرة الشاي أعلى نسبة 6.2%.

أظهرت الاختبارات البيولوجية نشاطاً ملحوظاً كمضاد للأكسدة والالتهابات والبكتيريا. تميز البابونج بأعلى محتوى من متعددات الفينول الكلية (95 ميكروغرام/ملغ EAG)، بينما أظهر زيت شجرة الشاي نشاطاً مضاداً للبكتيريا ضد سلالات مثل *Bacillus cereus* (منطقة تثبيط 20 ملم). تفوقت الخزامى في النشاط المضاد للانحلال الدموي

(97.92% تثبيط عند 1 ملغ/مل). كما أظهرت الزيوت العطرية تثبيطاً يعتمد على الجرعة لتحلل البروتينات، مما يشير إلى إمكانات مضادة للالتهابات.

تسلط النتائج الضوء على التباين الكيميائي والوظيفي للزيوت العطرية، وارتباطه بتطبيقاتها المحتملة في العلاج بالنباتات ومستحضرات التجميل والصناعة الغذائية، مع التأكيد على أهمية العوامل البيئية والمنهجية في تركيبها وفعاليتها

الكلمات المفتاحية : الزيوت العطرية، الخزامى، البابونج، شجرة الشاي، الليمون، الأنشطة البيولوجية

Liste des figures

Figure 1: Fleurs de <i>Matricaria chamomilla</i>	5
Figure 2: Feuilles de <i>Melaleuca alternifolia</i>	5
Figure 3 : Feuilles de <i>Lavandula angustifolia</i>	5
Figure 4: Zestes du <i>Citrus limon</i>	5
Figure 5 : Procédé d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation	7
Figure 6 : Forme libre et réduite du DPPH	10
Figure 7 : Repiquage des espèces bactériennes	15
Figure 8 : Préparation de l'inoculum	15
Figure 9 : Ensemencement des souches bactériennes sur milieu gélosé (MH).	16
Figure 10 : Préparation des disques d'aromatogrammes en présence des extraits	17
Figure 11 : Mesure des diamètres des zones d'inhibition en mm	17
Figure 12 : Etapes de détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	18
Figure 13 : Histogramme représentant la teneur en polyphénols totaux des huiles Essentielles	23
Figure 14 : Histogramme représentant les teneurs en flavonoïdes des HEs.....	24
Figure 15 : Chromatogramme des différents HEs sur gel de silice, visualisé à 254 et à 360 nm sous UV, utilisant le système éluant cyclohexane/acétate d'éthyle (90:10)	25
Figure 16 : Pourcentages d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration des HEs	26
Figure 17 : Évolution de l'effet anti-hémolytique des huiles essentielles en fonction de leur concentration, en comparaison avec le contrôle positif	28
Figure 18 : Effet des huiles essentielles sur l'inhibition de la dénaturation du SAB à différentes concentrations	29
Figure 19 : Zones d'inhibition induite par l'HE contre quelques souches de référence testées.	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Souches bactériennes de référence utilisées pour le test de sensibilité	3
Tableau 2 : Screening phytochimique des extraits des plantes étudiées	20
Tableau 3 : Rendements de l'extraction des HEs.....	21
Tableau 4 : Diamètres des zones d'inhibition induites par les huiles essentielles testées contre les souches bactériennes de référence	30
Tableau 5 : Résultats de CMI et CMB des souches bactériennes de référence testées	32

Liste des abréviations

μg EAG/mg d'extrait : Microgramme d'équivalents acide gallique par milligramme d'extrait

μg EQ/mg d'extrait : Microgramme d'équivalents quercétine par milligramme d'extrait

AlCl_3 : Chlorure d'aluminium

ATCC : American Type Culture Collection

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

CMB : Concentration Minimale Bactéricide

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

DMSO : Diméthylsulfoxyde

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

EDTA : Acide éthylène diamine tétra acétique

FeCl_3 : Chlorure de fer

GRH : Globules rouges humains

H_2SO_4 : Acide sulfurique concentré

HCl : Acide chlorhydrique

HE cam: Huile essentielle de camomille

HE cit : Huile essentielle du citron

HE lav : Huile essentielle de lavande

HE tea: Huile essentielle du tea tree

HE : Huile Essentielle

HgCl_2 : Chlorure mercurique

IC_{50} / EC_{50} : Concentration inhibitrice efficace à 50 %

Na OH : Hydroxyde de sodium

NaCl : Chlorure de sodium

NCIMB : National Collection of Industrial .Food and Marine Bacteria

NCTC : National Collection of Type Cultures

NH_4OH : Hydroxyde d'ammonium

PBS : Tampon Phosphate Salin

RF : Rapport frontal

SAB : Sérum Albumine Bovin

UV : Ultra-Violet

ZI : Zone d'inhibition

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 1

Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes 3

1. Matériel 3

1.1. Matériel biologique 3

1.1.1. Matériel végétal 3

1.1.2. Souches bactériennes 3

1.1.3. Echantillons sanguins 4

1.1.4. Médicaments 4

1.2. Réactifs et appareillages utilisés 4

2. Méthodes 4

2.1. Séchage 4

2.2.1. Préparation des extraits aqueux 5

2.2.2. Criblage photochimique 5

2.2.3. Extraction des huiles essentielles 6

2.3. Évaluation des activités biologiques 10

2.3.1. Activité antioxydante (Test de piégeage du radical DPPH) 10

2.3.2. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire 11

2.3.3. Evaluation de l'activité antibactérienne 14

Résultats et discussion

II. Résultats et discussion 20

1. Etude phytochimique 20

1.1. Criblage phytochimique 20

1.2. Rendement d'extraction des huiles essentielles 21

1.3. Analyse quantitative 22

Table des matières

1.3.1. Teneur en polyphénols totaux.....	22
1.3.2. Teneur en flavonoïdes	24
1.4. Analyse qualitative (CCM des HEs)	25
2. Activités biologiques recherchées	26
2.1. Activité antioxydante (Test de piégeage du radical libre DPPH)	26
2.2. Activité anti-inflammatoire	27
2.2.1. L'activité anti-hémolytique	27
2.2.2. Inhibition de la dénaturation thermique du SAB	29
2.3. Effet antibactérien	30
2.3.1. Test de sensibilité	30
2.3.2. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB).....	31
Conclusion et perspectives	34
Références bibliographiques	35

Annexes**Error! Bookmark not defined.**

Introduction

Introduction

Depuis l'aube de la civilisation, les humains ont exploité les ressources naturelles pour soulager leurs maux et améliorer leur bien-être. Parmi ces ressources, les huiles essentielles (HEs) occupent une place centrale en raison de leurs propriétés biologiques puissantes, largement utilisées en aromathérapie, phytothérapie et dans l'industrie pharmaceutique moderne (Smith & Yang, 2025). Obtenues par distillation à la vapeur d'eau ou par pression à froid, ces huiles renferment une diversité de composés volatils, tels que les monoterpènes, les sesquiterpènes, les phénols, les esters et les aldéhydes, qui leur confèrent des effets thérapeutiques (Valdivieso-Ugarteet *et al.*, 2019 ; Chen *et al.*, 2025).

Parmi les huiles essentielles les plus étudiées, celles de *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree), *Lavandula angustifolia* (lavande vraie), *Matricaria chamomilla* (camomille allemande) et *Citrus limon* (citron) se distinguent par leurs profils pharmacologiques uniques et leurs applications intéressantes (Johnson *et al.*, 2025).

Originaire d'Australie, l'huile de Tea Tree doit sa réputation à sa composition unique en terpènes oxygénés, notamment le terpinène-4-ol (40-50 % de sa composition) qui lui confère une puissante activité antimicrobienne (Carson *et al.*, 2006). Des études récentes ont démontré son efficacité contre des souches résistantes comme le *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (MRSA) (Hammer *et al.*, 2019). Son mécanisme d'action repose sur la perturbation des membranes cellulaires microbiennes, provoquant une fuite ionique mortelle pour les pathogènes (Mondelloet *et al.*, 2006). En dermatologie, elle est couramment employée contre l'acné, les mycoses et les dermatites, tout en présentant un intérêt croissant pour son activité antioxydante (Nogueira *et al.*, 2020).

Reine de l'aromathérapie, la lavande doit ses propriétés calmantes à sa richesse en linalol (30-40%) et en acétate de linalyle. Ces molécules agissent comme modulateurs GABAergiques, expliquant ses effets anxiolytiques et sédatifs validés cliniquement (Koulivandet *et al.*, 2013). Sur la peau, elle accélère la cicatrisation en stimulant les fibroblastes et la synthèse de collagène (Cavanagh & Wilkinson, 2005). Ses propriétés anti-inflammatoires, démontrées par sa capacité à réguler les cytokines TNF- α et IL-6 (Mallicket *et al.*, 2022), en font un ingrédient précieux pour les soins dermatologiques.

La camomille se distingue par sa teneur en chamazulène (produit lors de la distillation) et en α -bisabolol, molécules aux remarquables propriétés anti-inflammatoires et

antispasmodiques (**Srivastava *et al.*, 2010**). Son usage traditionnel dans les troubles digestifs et cutanés trouve aujourd'hui une validation scientifique, notamment par son action sur les

Introduction

prostaglandines et les interleukines. Comme la lavande, elle module l'activité GABAergique, ce qui explique son usage en cas d'anxiété (McKay & Blumberg, 2006).

Quant à l'huile essentielle de citron (*Citrus limon*), extraite du zeste, elle constitue un ingrédient actif prometteur en cosmétologie moderne. Son profil chimique unique, dominé par les monoterpènes, lui confère des propriétés biologiques pertinentes pour le soin cutané, à savoir le **limonène** (68-75 %) ; molécule-clé aux effets antioxydants et anti-inflammatoires (Menichini et al., 2023), le **β -Pinène** (10-14 %) à activité antibactérienne démontrée contre *Cutibacterium acnes* (Kim et al., 2024), et le **γ -Terpinène** (6-9 %) qui est un précurseur d'antioxydants naturels (Zhou et al., 2023).

Ces huiles essentielles représentent une alternative thérapeutique naturelle dont l'efficacité repose sur des mécanismes d'action clairement identifiés. Leurs propriétés complémentaires ouvrent des visions intéressantes pour le développement de formulations synergiques en dermopharmacie et en aromathérapie clinique. Leur utilisation rationnelle, basée sur des preuves scientifiques, permet d'envisager une intégration plus large dans les approches de santé intégrative.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, dont l'objectif principal est d'évaluer *in vitro* les activités biologiques de ces huiles essentielles, notamment leur pouvoir antioxydant, leur activité anti-inflammatoire et leur effet antibactérien. Ce manuscrit s'articule autour de la partie pratique : outre l'introduction et la conclusion, la partie expérimentale est divisée en deux chapitres. Le premier présente le matériel et les méthodes analytiques utilisés pour l'extraction des HEs, l'investigation phytochimique et l'étude *in vitro* des activités biologiques. Le second expose les résultats obtenus et leur discussion

Matériel et methods

I**.Matériel et méthodes**

Ce travail expérimental a été réalisé dans le but d'étudier le profil phytochimique et d'évaluer *in vitro* les activités biologiques multiples des huiles essentielles extraites de plantes médicinales, à savoir : la camomille (*Matricaria chamomilla*), l'arbre à thé (*Melaleuca alternifolia*), la lavande (*Lavandula spp.*) et les zestes de citron (*Citrus limon*).

La partie pratique a été menée au laboratoire pédagogique de biochimie et microbiologie de l'université Abbes Laghrour-Khenchela, et au laboratoire central de l'hôpital Ahmed Ben Bella-Khenchela.

1. Matériel**1.1. Matériel biologique****1.1.1. Matériel végétal**

Les matières végétales utilisées sont : zeste de citron, fleurs de camomille, feuilles d'arbre à thé et feuilles de lavande.

1.1.2. Souches bactériennes

Afin de tester le potentiel antibactérien *in vitro* des extraits de *Ziziphus lotus* L., neuf souches de référence provenant du laboratoire pédagogique de l'université Abbes Laghrour et du Centre national de biotechnologie (CRBt) de Constantine ont été utilisées (Tab.1).

Tableau 1: Souches bactériennes de référence utilisées pour le test de sensibilité.

Bactérie (Code)	Gram
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC6538)	Positif
<i>Bacillus cereus</i> (ATCC10876)	Positif
<i>Yersinia enterocolitica</i> (ATCC 27729)	Négatif
<i>Salmonella typhimurium</i> (ATCC 14028)	Négatif
<i>Salmonella aboni</i> (NCTC 6017)	Négatif
<i>Salmonella enterica</i> (ATCC 13076)	Négatif
<i>Escherichia coli</i> (NCTC10538)	Négatif
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (NCIMB 8626)	Négatif
<i>Klebsiella pneumoniae</i> (ATCC43816)	Négatif

1.1.3. Echantillons sanguins

Des prélèvements sanguins ont été effectués sur des sujets sains non-fumeurs pour mesurer l'activité anti-hémolytique des extraits.

1.1.4. Médicaments

Deux médicaments de référence ont servi de témoins positifs pour les tests anti-hémolytique et anti-inflammatoire.

- Le médicament anti-hémolytique « Dicynone » de concentration 250 mg pour l'activité anti-hémolytique.
- Le médicament anti-inflammatoire « Diclofinac », avec une concentration de 250µg/ml.

1.2. Réactifs et appareillages utilisés

Plusieurs réactifs chimiques et solvants ont été employés lors de nos expérimentations, notamment le FeCl₃, l'acide acétique, le NaOH, le NaCl, l'AlCl₃, le chloroforme, l'acétate d'éthyle, l'éthanol, l'hexane, le réactif de Folin-Ciocalteu, le DPPH, le carbonate de sodium, le méthanol, le n-butanol, l'acide sulfurique, l'acide ascorbique, l'acide gallique, l'acide chlorhydrique, le réactif de Mayer et le milieu de culture Mueller-Hinton Agar, tous fournis par Sigma-Aldrich. L'appareillage utilisé comprenait un rotavapor (HAHNVAPOR), un spectrophotomètre (SPECTRUM SP-UV 2005), une chambre d'observation UV 254/365 nm (VILBER LOURMAT), un bain-marie (Nüve Bath, MEMMERT), une étuve universelle (5–220°C, MEMMERT), un agitateur magnétique (SCIOLOGEX), un vortex (VELP), une balance analytique (OHAUS), une balance de précision (KERN PCB), une centrifugeuse (EZ Swing 3K, Rotofix 32 A), un réfrigérateur (LIEBHERR), une plaque chauffante (LABTECH), un autoclave (RAYPA) et un pH-mètre (HANNA INSTRUMENTS).

2. Méthodes

2.1. Séchage

Les fleurs de la camomille (**Fig.1**), les feuilles d'arbre à Tea (**Fig 2**) et de lavande, (**Fig3**) ainsi que le zeste de citron (**Fig. 4**) ont été rassemblés et séchés dans un endroit sec aéré, à l'ombre et à température ambiante, pendant 15 jours. Après séchage, ils ont été stockés dans des sacs en papier en vue de leur utilisation ultérieure pour l'extraction des huiles essentielles.



Figure 1: Fleurs de *Matricaria chamomilla* **Figure 2:** Feuilles de *Melaleuca alternifolia*



Figure 3: Feuilles de *Lavandula angustifolia*

Figure 4: Zestes du *Citrus limon*

2.2. Investigation phytochimique

2.2.1. Préparation des extraits aqueux

Les extraits aqueux sont obtenus par macération de plantes médicinales, entières ou fragmentées, dans de l'eau afin d'en solubiliser les composés actifs ; dans cette étude, 20 g de de chaque échantillon ont été infusés dans 100 ml d'eau distillée bouillante pendant 15 minutes. Les solutions ont ensuite été filtrées pour obtenir les extraits aqueux finaux (Churfa, 2015).

2.2.2. Criblage phytochimique

L'analyse qualitative des composés phytochimiques consiste à réaliser des tests spécifiques ou semi-spécifiques basés sur des réactions de coloration ou de précipitation, propres à chaque classe de principes actifs. La présence ou l'absence des différentes classes de

métabolites secondaires dans les extraits aqueux a été évaluée qualitativement selon les méthodes décrites par **Koffi (2009)**.

✚Tanins

Mettre 5 ml de l'extrait à analyser dans un tube à essai, puis ajouter 1 ml d'une solution alcoolique de chlorure de fer (FeCl_3) à 2 %. L'apparition d'une couleur bleu foncé ou verdâtre indique la présence de tanins, notamment les tanins galliques (bleu foncé) et les tanins catéchiques (vert foncé) (**Soulama et al., 2014**).

✚Flavonoïdes

Ajouter quelques gouttes d'une solution de chlorure d'aluminium (AlCl_3) à 1,18 % à 20 ml d'éthanol contenant l'extrait à tester. L'apparition d'une coloration jaune indique la présence de flavonoïdes (**Liu et al., 2017**).

✚Alcaloïdes

Ajouter 3 gouttes du réactif de Mayer à l'extrait à analyser. L'apparition d'un précipité blanchâtre ou crème indique la présence d'alcaloïdes (**LaboratoryInfo.com, 2022**). ✚

Terpènes et Stéroïdes

Mettre 5 ml de l'extrait à analyser dans un tube à essai, puis ajouter 2 mL de chloroforme, suivis de 3 ml d'acide sulfurique concentré en le versant doucement le long de la paroi du tube pour former deux phases. La formation d'un anneau rouge ou brun à l'interface indique la présence de terpènes, tandis que l'apparition d'un anneau rouge ou violet à l'interface entre les deux phases indique la présence de stéroïdes (**Gupta et al., 2021**). ✚**Saponines (test de mousse)**
Verser 5 ml de l'extrait à tester dans un tube à essai, ajouter 5 ml d'eau distillée, puis agiter vigoureusement. La formation d'une mousse dense et persistante est considérée comme un indice de la présence de saponines (**Doe & Smith, 2022**).

2.2.3.Extraction des huiles essentielles

L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation à l'aide d'un appareil du type Clevenger, dont le schéma suivant représente le dispositif d'extraction utilisé (**Fig. 5**). Le principe consiste à immerger la matière première sèche dans un bain d'eau, ou l'ensemble est porté à l'ébullition et l'opération est conduite à la pression atmosphérique. Les molécules odorantes volatiles et semi-volatiles sont alors entraînées par la vapeur d'eau. Ces vapeurs hétérogènes, au contact du froid, se condensent et deviennent liquides. Le liquide en question est

Matériel et méthodes

formé d'un mélange d'eau et d'huile essentielle aromatisée. La séparation est ensuite effectuée par simple différence de densité. Cette essence ainsi obtenue est collectée dans un flacon en verre fumé stérile à 4°C (M'hamdi,2024).

Le rendement en HE est exprimé en pourcentage et il est défini par l'équation suivante (Daouda, 2015) :

$$HE\% = \frac{M'}{M} * 100 \quad \square \text{ Avec}$$

: M' : La masse de l'HE obtenue après l'extraction.

M : La masse de la matière végétale utilisée.

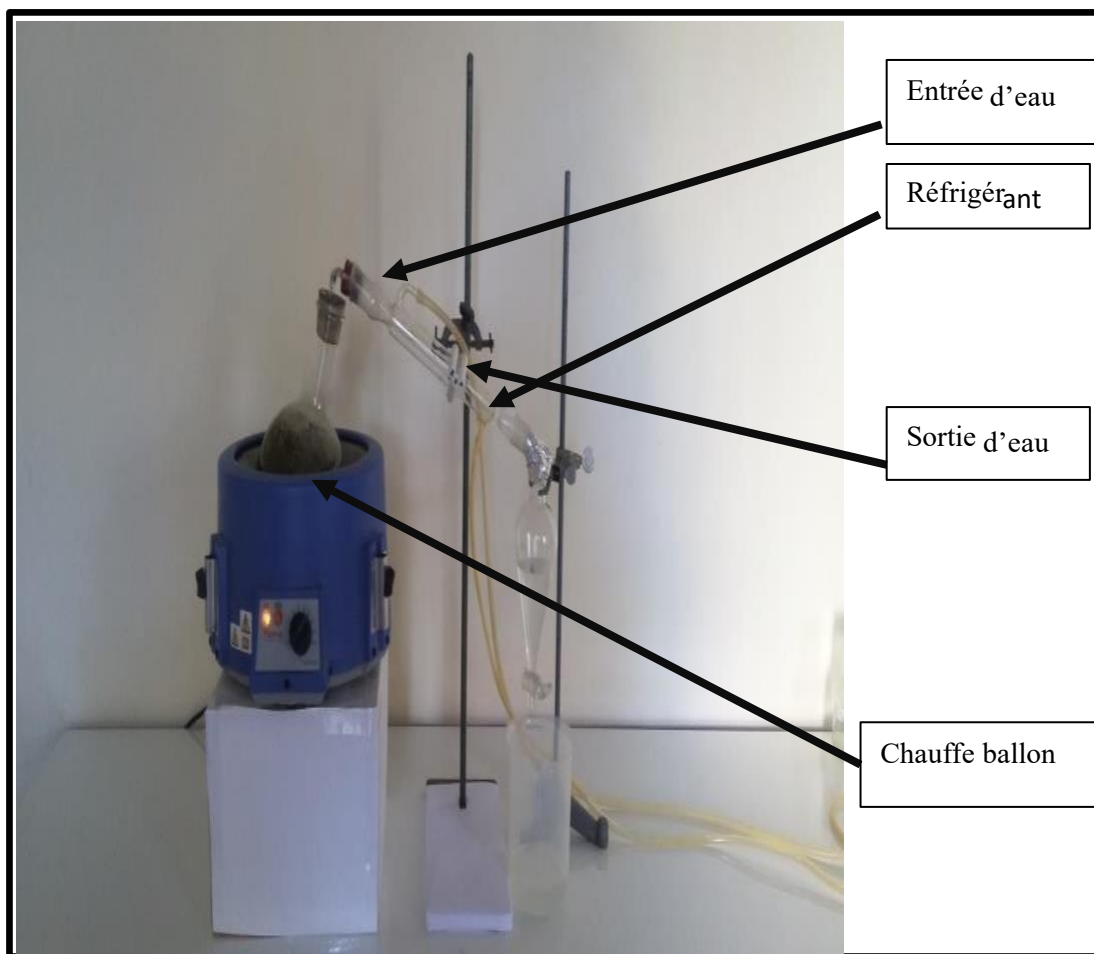


Figure 5: Procédé d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation.

2.2.4. Etude quantitative

1) Dosage des polyphénols

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué avec le réactif colorimétrique Folin Ciocalteu selon la méthode modifiée par Douaouya *et al* (2022).

- Principe

La teneur phénolique totale est habituellement déterminée colorimétriquement avec le spectrophotomètre UV-Vis en utilisant l'essai de Folin-Denis ou généralement Folin-Ciocalteu. Ces essais sont basés principalement sur la réduction du réactif acide phosphotungstiquephosphomolybdique (réactif Folin) dans une solution alcaline.

- **Méthode**

Brièvement 200 µl de chaque extrait et de (dissous dans le méthanol) et de chaque hydrolat ont été ajoutés à 1ml de réactif de Folin-Ciocalteu 10 fois dilué. Les solutions ont été mélangées et incubées pendant 4 minutes.

Après l'incubation 800 µl de la solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5g /l) a été ajoutée. Le mélange final a été secoué et puis incubé pendant 2 heures dans l'obscurité et température ambiante. L'absorbance des extraits a été mesurée par un Spectrophotomètre UV-Vis à double faisceau à 765 nm.

- **Expression des résultats**

La concentration des polyphénols est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage (**Annexe 1**), établie avec le standard étalon l'acide gallique (2 à 5 µg /ml) et exprimée en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligramme d'HE (µg EAG /mg).

1) Dosage des flavonoïdes

La méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) cité par (**Douaouya, 2022**) est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans nos extraits.

□ Méthode

1ml de chaque extrait et du standard (dissous dans le méthanol) et d'hydrolat, avec les dilutions convenables a été ajouté à un volume égal d'une solution d' AlCl_3 (2% dans le méthanol). Le mélange a été vigoureusement agité et l'absorbance à 430 nm a été lue après 10 minutes d'incubation.

□ Expression des résultats

La quantification des flavonoïdes à été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y=ax+b$) réalisé par un standard étalon "la quercétine" (**Annexe2**) à différentes concentrations

Matériel et méthodes

(1.75-40 µg/ml) dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent de quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ/mg).

2.2.5. Etude qualitative (Identification des flavonoïdes par CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) permet de séparer les composants d'un échantillon en fonction de leur migration différentielle dans une phase mobile (généralement un mélange de solvants adapté) et de leur interaction avec la phase stationnaire, comme le gel de silice ou le polyamide. Bien que cette technique ne permette pas d'identifier formellement un composé, elle donne des indices tels que le rapport frontal (Rf) et la coloration, qui peuvent suggérer une structure potentielle (Zeghad, 2009).

▪ **Protocole de CCM**

Les analyses par CCM ont été effectuées sur des plaques de silice/aluminium (10 × 10 cm). Les échantillons (2 µl) ont été déposés à 1,5 cm du bord inférieur, puis les plaques ont été placées verticalement dans des cuves contenant la phase mobile, avec un niveau de solvant à 0,5 cm de hauteur. Cinq systèmes de solvants ont été testés pour optimiser la séparation

Phase 1 : Butanol/ acide acétique/l'eau distillée (4/1/5).

Phase 2 : chloroforme/ méthanol / eau distillée (90/5/5).

Phase 3 : toluène/acétate d'éthyle / méthanol (5/3/2).

Phase 4 : Acétone/eau distillée (1/1).

Phase 5 : cyclohexane/acétate d'éthyle (90/10).

▪ **Révélation**

Après développement, les plaques ont été séchées, puis visualisées séparément sous une lampe UV à 254 et 365 nm dans une chambre noire. Les rapports frontaux (Rf) des spots issus de la séparation ont été calculés selon le rapport suivant : $Rf = d / D$ □d: Distance parcourue par la substance.

□D : Distance parcourue par le solvant.

Ce facteur permet de mentionner une information préliminaire sur la structure de substances des flavonoïdes. La distance de migration des substances dépend essentiellement de leur polarité (Zeghad, 2009).

2.3. Évaluation des activités biologiques

2.3.1. Activité antioxydante (Test de piégeage du radical DPPH)

- **Principe**

Matériel et méthodes

Cette méthode vise à évaluer la capacité d'un antioxydant à réduire un radical libre, le DPPH• (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). Ce dernier est un radical stable de teinte violette.

Lorsqu'il interagit avec un donneur d'hydrogène (AH), il se convertit en 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine (DPPH-H), une molécule de couleur jaune pâle ou incolore (Fig. 6). Le pic d'absorbance du DPPH• se situe entre 515 et 517 nm, lorsqu'il est analysé dans des solvants tels que le méthanol ou l'éthanol (Saani, 2016).

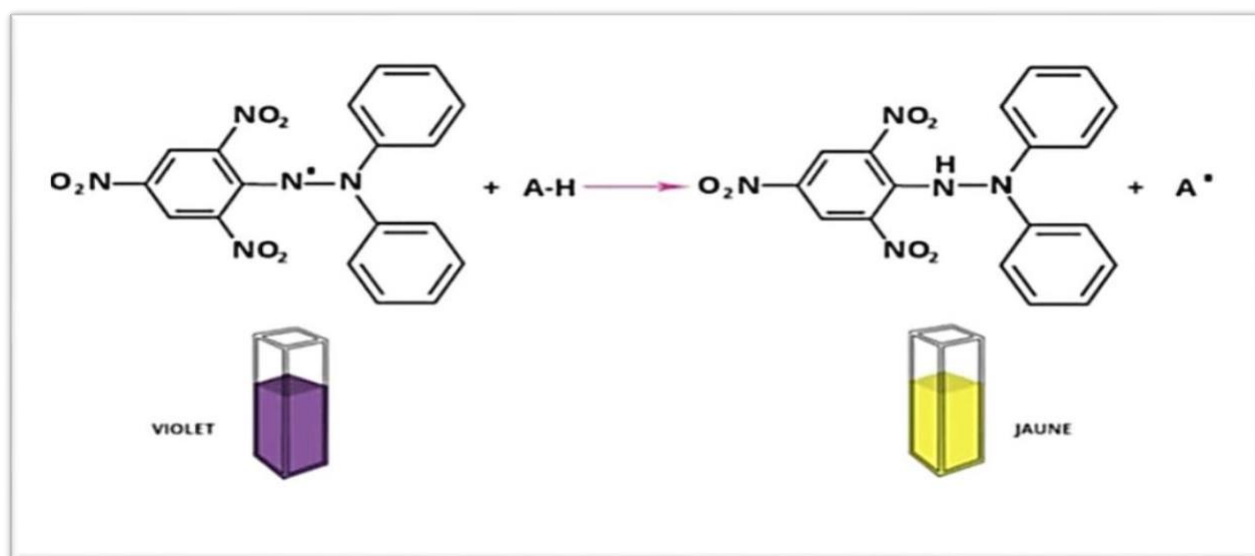
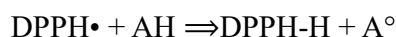


Figure 6: Forme libre et réduite du DPPH (Molyneux,2004).

• Méthode

Une solution de DPPH à 100 μM a été préparée par dissolution dans le méthanol. À partir de la solution mère de chaque extrait (dissous dans le méthanol à une concentration de 0,5 mg/ml), des dilutions appropriées ont été réalisées. Pour chaque essai, 50 μl d'extrait (ou de ses dilutions) ont été mélangés à 1,5 ml de la solution de DPPH. Après agitation vigoureuse, les mélanges ont été incubés à température ambiante pendant 30 minutes, à l'abri de la lumière. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Un témoin (blanc) a été préparé dans les mêmes conditions en remplaçant l'extrait par du méthanol pur. L'acide ascorbique a été utilisé comme contrôle positif pour valider le protocole (Annexe 3).

➤ Expression des résultats

Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'inhibition (PI). Le PI du

DPPH• a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{PI du DPPH} = [(A_B - A_E) / A_B] \times 100$$

Où :

- A_B : Absorbance initiale de la solution de DPPH (sans antioxydant).
- A_E : Absorbance résiduelle après incubation avec l'extrait antioxydant.

Cette méthode permet d'évaluer l'efficacité des extraits à neutraliser les radicaux libres et de déterminer la concentration inhibitrice moyenne (IC_{50}), paramètre clé pour comparer la puissance des antioxydants.

2.3.2. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire

1) Méthode de stabilisation des membranes de GRH (Activité anti-hémolytique)

➤ Principe

L'activité anti-hémolytique des HES a été évaluée selon la méthode décrite par (Barkaet *al.*, 2023), afin d'étudier leur capacité à protéger les érythrocytes humains contre la lyse induite par des agents oxydants.

➤ Préparation de la suspension érythrocytaire

- Un prélèvement de 5 ml de sang veineux a été effectué chez un donneur sain, dans un tube contenant un anticoagulant à base d'EDTA. □
- Le sang a été centrifugé à 1000 tr/min pendant 5 minutes afin de séparer les globules rouges (culot globulaire) du plasma. □
- Le surnageant (plasma) a été éliminé, et le culot globulaire obtenu a été lavé trois fois avec une solution de tampon phosphate salin (PBS) à 0,2 M, pH 7,4 (Annexe 3). □
- Chaque lavage consistait à suspendre les globules rouges dans le PBS, suivi d'une centrifugation à 1000 tr/min pendant 5 minutes. □
- Après le dernier lavage, 0,4 ml du culot globulaire a été dilué dans 9,6 ml de PBS (0,2 M, pH 7,4) afin d'obtenir une suspension érythrocytaire à 4 % d'hématocrite, utilisée pour le test anti-hémolytique. □

➤ Préparation des HES

Des solutions de chaque HE ont été préparées dans le tampon phosphate salin (PBS, 0.2 M, pH 7.4) aux concentrations suivantes : 1 mg/ml, 0,5 mg/ml et 0,25 mg/ml. Ces dilutions ont été utilisées pour évaluer l'effet dose-dépendant des extraits sur la protection des érythrocytes contre l'hémolyse.

➤ **Protocole expérimental**

L'évaluation de l'activité anti-hémolytique des extraits a été réalisée selon les étapes suivantes :

1. Préparation du mélange réactionnel : dans chaque tube à essai, 1 ml de la suspension érythrocytaire à 4 % a été mélangé avec 0,5 ml d'extrait (préparé dans le tampon PBS) à différentes concentrations (1 mg/ml, 0,5 mg/ml, 0,25 mg/ml).
2. Incubation : les tubes ont été incubés à 37 °C pendant 20 minutes afin de permettre l'interaction entre les composés bioactifs et les membranes érythrocytaires.
3. Induction de l'hémolyse : après incubation, 0,5 ml de solution de NaCl à 2 %, diluée dans du PBS, a été ajoutée à chaque tube.
4. Centrifugation : les échantillons ont été centrifugés à 1000 tr/min pendant 10 minutes.
5. Mesure de l'hémolyse : le surnageant contenant l'hémoglobine libérée a été soigneusement récupéré, puis l'absorbance a été mesurée à 540 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.
6. Calcul de l'hémolyse relative : le pourcentage d'hémolyse a été déterminé en comparant les résultats obtenus avec ceux du contrôle négatif (échantillon traité uniquement avec NaCl 2 % sans extrait). Une diminution de l'absorbance indique une protection membranaire assurée par l'extrait testé.

➤ **Expression des résultats**

Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse a été calculé afin d'évaluer l'effet protecteur des extraits sur les globules rouges. Le calcul repose sur la différence d'absorbance entre le contrôle négatif (NaCl 2 % sans extrait) et les échantillons traités avec les extraits selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = \left(\frac{A_c - A_{ext}}{A_c} \right) \times 100$$

- A_c : absorbance du contrôle négatif (solution de Na Cl 2 % sans extrait)□
- A_{ext} : absorbance de la solution contenant l'extrait□

2) Test de dénaturation de Sérums Albumin Bovin (SAB)

➤ **Principe**

La dénaturation thermique de la BSA est un modèle in vitro simulant les processus inflammatoires (notamment la dénaturation des protéines lors de l'inflammation). Les composés

Matériel et méthodes

anti-inflammatoires stabilisent la protéine, empêchant sa dénaturation, ce qui se traduit par une absorbance plus faible à 416 nm (Gautam & Jachak, 2009).

➤ **Protocole expérimental**

Quatre types de solutions ont été préparés pour l'expérimentation :

- Solution test : composée de 0,45 ml de BSA à 0,5 % (p/v) préparée dans de l'eau distillée, et 0,05 ml de l'extrait végétal à différentes concentrations (500, 1000 et 1500 µg/ml).
- Contrôle négatif : composée de 0,45 ml de BSA à 0,5 % et 0,05 ml d'eau distillée, sans extrait.
- Contrôle produit : composée de 0,45 ml d'eau distillée et 0,05 ml d'extrait (500, 1000 et 1500 µg/ml), afin d'évaluer l'absorbance propre de l'extrait.

□ Solution standard : composée de 0,45 ml de BSA à 0,5 % et 0,05 ml de diclofénac sodique, utilisé comme anti-inflammatoire de référence, aux mêmes concentrations que les extraits.

L'ensemble des tubes a été incubé à 37 °C pendant 20 minutes, suivi d'un chauffage à 57 °C pendant 3 minutes afin d'induire la dénaturation des protéines. Après refroidissement à température ambiante, 2,5 ml de tampon phosphate salin (PBS, pH 6,3) ont été ajoutés à chaque tube. L'absorbance a ensuite été mesurée à 416 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Une faible absorbance indique une meilleure inhibition de la dénaturation, traduisant ainsi un effet anti-inflammatoire plus élevé.

➤ **Expression des résultats**

Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation de protéine été calculée comme suit :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left(\frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{essai}}}{A_{\text{contrôle}}} \right) \times 100$$

Où : A_{essai} : absorbance de la solution contenant l'extrait et la SAB (solution test) $A_{\text{contrôle}}$: absorbance de la solution contrôle (SAB + eau distillée)

Le témoin négatif (contrôle) est considéré comme représentant 100 % de dénaturation. Une diminution de l'absorbance en présence de l'extrait indique une inhibition de la dénaturation protéique, et donc un potentiel effet anti-inflammatoire.

2.3.3. Evaluation de l'activité antibactérienne

Matériel et méthodes

Dans cette partie, nous sommes à la recherche de composés antibactériens produits à partir de des HEs réputées pour ses propriétés thérapeutiques. La méthode de diffusion en milieux gélosés sur boîtes de pétri a été employée.

1) Méthode des disques -Test d'efficacité

L'activité antibactérienne des extraits huileux a été évaluée selon la méthode de diffusion sur disque en milieu gélosé, une technique standardisée pour l'étude de la sensibilité bactérienne (**Khameneh *et al.*, 2023**). Cette approche consiste à déposer un disque de papier imprégné de l'extrait testé sur un milieu nutritif solide préalablement ensemencé avec la souche bactérienne cible. L'agent antibactérien diffuse radialement dans la gélose, inhibant la croissance des micro-organismes sensibles. L'activité est quantifiée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition (halo clair autour du disque), exprimé en millimètres. Les résultats sont interprétés selon les critères du Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) ou de l'European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST), selon le protocole utilisé.

➤ Repiquage des espèces bactériennes

Les souches bactériennes de référence ont été étalées par stries sur une gélose Mueller Hinton, puis incubées à 37 °C pendant 18 à 24 heures afin d'obtenir des colonies isolées. Ces dernières ont ensuite été utilisées pour préparer l'inoculum (**Fig. 7**).



Figure 7: Repiquage des espèces bactériennes.

➤ **Préparation de l'inoculum**

L'inoculum bactérien (**Fig. 8**) a été préparé dans 5 à 10 ml d'eau physiologique stérile à partir d'une culture pure de 24 h selon la recommandation du CA-SFM (**Marlène et al., 2022**). La densité a été ajustée à 0.5 Mack Ferland (**Annexe 5**).



Figure 8: Préparation de l'inoculum.

➤ **Ensemencement**

Il est nécessaire d'effectuer l'ensemencement en moins de 15 minutes après la préparation de l'inoculum (**Fig. 9**). Les étapes de l'ensemencement sont les suivantes (**Marlène et al., 2022**)

:

Matériel et méthodes

- Ajouter 20 ml de la gélose Muller-Hinton (**Annexe 4**) à chaque boîte de pétri, puis laisser prendre soin de la solidification.
- Insérer un écouvillon stérile dans la suspension bactérienne, le presser fermement et le tourner sur la paroi interne du tube pour le décharger à son maximum.
- Appliquer l'écouvillon sur toute la surface gélosée, sèche, de haut en bas, en laissant des stries serrées.
- Effectuer cette opération à deux reprises, en tournant la boîte de pétri à 60° à chaque fois, en évitant de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même.
- Terminer le processus d'ensemencement en passant l'écouvillon sur la zone entourant la gélose.



Figure 9 : Ensemencement des souches bactériennes sur milieu gélosé (MH).

➤ Préparation des disques d'aromatogramme

Les étapes de préparation des disques d'aromatogrammes en présence des HEs sont illustrées comme suit (**Fig. 10**):

- Stériliser du papier Wattman n°3 coupés en disques de 6mm de diamètre à l'autoclave à 120°C pendant 15 minutes
- À l'aide d'une pince stérile déposé au centre de chaque moitié de la boîte pétri un disque stérile de papier filtre.
- À l'aide d'une micropipette, ajouté 15µl d'extrait.
- Préparer les disques de contrôle négatif imprégnés de Di-Méthyl-Sulf-Oxyde (DMSO).

□

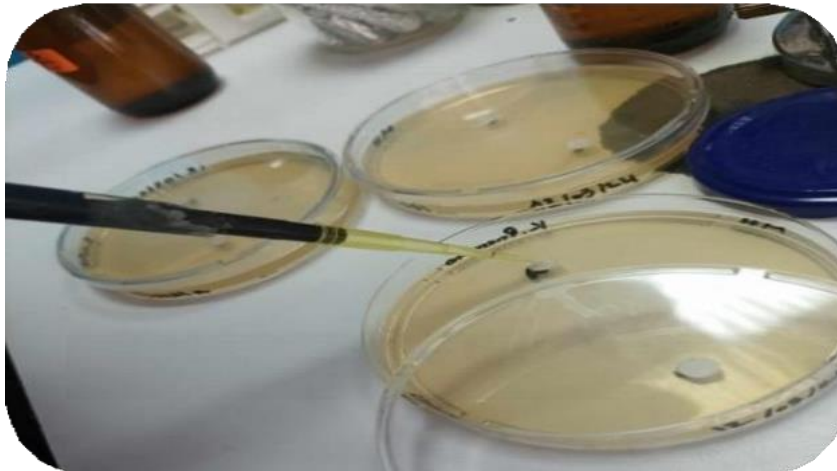


Figure 10 : Préparation des disques d'aromatogrammes en présence des extraits.

➤ **Incubation et lecture**

Les diamètres des zones d'inhibition (ZI) ont été mesurés (**Fig. 11**) autour des disques après une pré-incubation de 30 minutes à la température ambiante suivie d'une incubation à l'étuve à 37°C pendant 24H. La souche ayant un diamètre $D < 8\text{mm}$, $9 \leq D \leq 14\text{mm}$, $15 \leq D \leq 19\text{mm}$, $D > 20\text{mm}$ est considérée respectivement comme souche résistante (-), sensible (+), très sensible (++) , extrêmement sensibles (+++) (**Jean-marie et al., 2024**).



Figure 11: Mesure des diamètres des zones d'inhibition en mm.

2) Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La méthode de micro-dilution a été utilisée pour évaluer la concentration minimale inhibitrice (CMI), qui correspond à la concentration minimale d'huile essentielle capable d'inhiber la croissance de la population bactérienne en utilisant le bouillon Muller Hinton dans

Matériel et méthodes

des microplaques à fond en U (**Bardaweel et al., 2015**). La CMI de l'HE a été déterminée selon le protocole suivant (**Fig12**). :

- 125 µl du bouillon Muller Hinton plus Tween 80 (0,01%) v/v a été répartis dans tous les puits de la microplaque.
- 15 µl d'HE a été distribué dans les premiers puits de la microplaque et on fait une dilution d'ordre de 2 allant du deuxième puits de la ligne jusqu'au dernière dilution de la même ligne.
- Les microplaques ont été inoculées avec de 10 µl de la suspension bactérienne (diluée au 1/10ème) pour obtenir un volume final de 150µl.
- Pour chaque expérience, un contrôle positif (milieu inoculé) et un contrôle négatif (milieu avec huile) ont été préparés.

Les microplaques préparées ont été incubés à 37 °C pendant 24 heures. Après l'incubation, la croissance bactérienne (traduit par une turbidité) a été examiné dans chaque puits ; La CMI de l'HE vis-à-vis d'une souche donnée sera la plus petite des concentrations ne montrant aucune croissance visible de germe (**Bolou et al., 2011**).



Figure 12: Etapes de détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).

3)Détermination de la concentration minimale bactéricide (CMB)

La CMB, également connue sous le nom de Concentration Minimale Bactéricide, représente la concentration la plus faible permettant d'inhiber 99,99% des germes. Après avoir identifié les CMI, on a procédé au test de détermination des CMB en ensemençant tous les puits de la CMI sur la gélose MH, puis en incubant pendant 24 heures à une température de 37°C. Ensuite, on procède à la lecture des boîtes de Pétri. La concentration minimale de chaque mélange est la CMB, qui ne permet de survivre qu'au moins 0,01 % d'inoculum après.

4)Caractérisation de l'activité antibactérienne

Matériel et méthodes

D'après le rapport CMB/CMI, l'effet antibactérien est soit bactéricide ou bactériostatique (Jean Marie *et al.*, 2024), dont les résultats sont interprétés de la façon suivante :

$1 \leq \text{CMB/CMI} \leq 4$ → L'effet est bactéricide,

$4 < \text{CMB/CMI} \leq 16$ L'effet est bactériostatique.

→

Résultats et discussion






II. Résultats et discussion

1. Etude phytochimique

1.1. Criblage phytochimique

L'analyse préliminaire de la composition phytochimique des extraits aqueux des quatre plantes étudiées, réalisée à travers des tests qualitatifs de caractérisation, a permis d'identifier les principales familles de composés bioactifs présents grâce à des réactions de précipitation ou de coloration spécifiques. Les résultats obtenus sont représentés dans le (Tab 2):

Tableau 2 : Screening phytochimique des extraits des plantes étudiées

	Composés recherchés				
	Alcaloïdes (Précipité  blanc)	Flavonoïdes (Couleur  jaune)	Terpènes /Stéroïdes  (Coloration brune)	Saponines  (Formation de mousse)	Tanins  (Couleur vert- bleu)
Lavande	–	+	+	+	+
Camomille	+	+	+	+	+
Citron	+	+	+	+	+
Arbre à thé	–	+	+	+	+

Les résultats sont interprétés comme suit : (+) Réaction positive (-) Réaction négative

Les analyses phytochimiques des extraits de *Lavandula spp* (Lavande), *Matricaria chamomilla* (Camomille), *Citrus limon* (Citron) et *Melaleuca alternifolia* (Arbre à thé) ont révélé une hétérogénéité marquée dans la composition et l'abondance des métabolites secondaires. Ces composés, incluant flavonoïdes, tanins et terpénoïdes, présentent des variations qualitatives et quantitatives significatives selon les espèces, reflétant leur diversité biochimique et leur potentiel thérapeutique (Bachiri *et al.*, 2016 ; Bouhadda *et al.*, 2023).

Parmi les espèces étudiées, la Lavande et la Camomille se distinguent par un profil métabolique particulièrement riche, avec la présence simultanée de flavonoïdes (flavones, anthocyanes), tanins (galliques et catéchiques), ainsi que de terpènes et stéroïdes. Ces résultats corroborent les travaux antérieurs soulignant l'importance pharmacologique de ces plantes, notamment pour leurs propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes (Salehi *et al.*, 2019). En revanche, le Citron présente une composition plus restreinte, dominée par les flavonoïdes et les tanins, mais dépourvue d'alcaloïdes, conformément aux données récentes (Russo *et al.*, 2021).

La variabilité observée dans les profils phytochimiques peut être attribuée à des facteurs intrinsèques (stade de développement, variété) et extrinsèques (conditions pédoclimatiques, méthodes d'extraction), comme le démontre l'étude de Aziz *et al.*, (2022). Ces variations soulignent l'importance d'une standardisation des procédés d'extraction et d'une caractérisation approfondie pour une utilisation optimale en phytothérapie.

1.2. Rendement d'extraction des huiles essentielles

Le rendement de l'extraction d'une huile essentielle est généralement exprimé en pourcentage massique (g/100 g) par rapport à la matière sèche utilisée. Les rendements d'extraction des HEs obtenues sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3: Rendements de l'extraction des HEs

Plante	Extrait	Poids du matériel végétal (g)	Poids d'HE (g)	Rendement
<i>Melaleuca alternifolia</i>	HE	300	7.84	2.6 %
<i>Lavandula spp</i>	HE	300	5.75	1.8 %
<i>Matricaria chamomilla</i>	HE	600	0.965	0.2 %
Zestes de citron	HE	600	3.02	0.5 %

Le rendement en huile essentielle dépend fortement de l'espèce végétale étudiée, mais aussi de facteurs tels que la méthode d'extraction, l'origine botanique et les conditions environnementales.

Pour *Lavandula officinalis*, notre étude a révélé un rendement de 1,8 % par hydrodistillation, un résultat supérieur à celui rapporté par (1,36 ± 0,23 %), cette différence

pourrait s'expliquer par une optimisation du procédé d'extraction, des variations génétiques, ou encore des conditions de culture et de séchage des inflorescences (**Laib, 2012**).

Concernant *Matricaria chamomilla L.*, nous avons obtenu un rendement faible (0,2 %), conforme aux données de la littérature. En effet, **Laurain-Mattaret al. (2020)** indiquent que le rendement de la camomille romaine se situe généralement entre 0,4 et 1 %, reflétant la faible teneur en composés volatils de cette espèce.

Dans le cas de *Citrus limon*, l'extraction des zestes a fourni un rendement de 0,5 %, inférieur à celui observé par **Hmedet al. (2016)** pour la variété Lisbon ($1,20 \pm 0,03$ %). Cette variation pourrait être liée à des différences variétales, à l'origine géographique des fruits, ou encore à la méthode d'extraction (Hydrodistillation vs. Expression à froid).

Enfin, *Melaleuca alternifolia* (arbre à thé) a présenté le rendement le plus élevé (2,6 %), en accord avec les travaux récents de **Bendahouet al. (2023)** (2,5 %). Ces résultats confirment le potentiel de cette espèce pour une production efficace d'huile essentielle.

1.3. Analyse quantitative

1.3.1. Teneur en polyphénols totaux

La quantification des polyphénols totaux dans les différents extraits huileux (**Fig. 13**) a été réalisée en utilisant la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu. Il s'agit de l'une des techniques les plus anciennes et couramment utilisées pour l'évaluation de la teneur en composés phénoliques dans les plantes médicinales ainsi que dans les produits alimentaires (**Douaouya et al., 2022**). L'acide gallique est généralement utilisé comme étalon de référence dans cette méthode (**Maisutthisakul et al., 2008**).

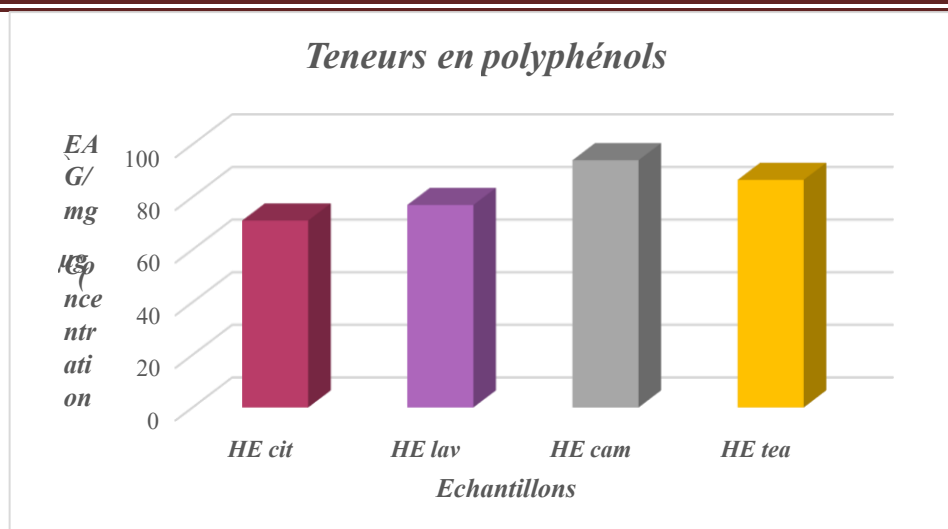


Figure 13 : Histogramme représentant la teneur en polyphénols totaux des huiles essentielles.

Les analyses ont montré des différences significatives dans la teneur en polyphénols totaux des huiles essentielles en fonction de l'espèce végétale étudiée. Parmi les huiles testées, l'huile essentielle de camomille présente la concentration la plus élevée, avec environ 95 μg EAG/mg. Cette richesse en polyphénols, notamment en flavonoïdes (apigénine, lutéoline) et en acides phénoliques, confère à cette huile un fort potentiel antioxydant, comme l'ont déjà rapporté **McKay et Blumberg (2006)**.

L'huile essentielle de tea tree se place juste après, avec une teneur d'environ 90 μg EAG/mg. Son activité antioxydante s'explique par la présence de terpénols et de composés phénoliques, comme l'ont observé **Chen et al. (2024)**.

Pour l'huile essentielle de lavande, une valeur intermédiaire de 85 μg EAG/mg a été mesurée, en accord avec les travaux de **Skenderidis et al. (2024)**, qui soulignent l'intérêt des extraits de lavande dans les domaines pharmaceutique et cosmétique.

Enfin, l'huile essentielle de citron affiche la teneur la plus faible, avec 70 μg EAG/mg, ce qui rejoint les conclusions de **Didi et Yakoubi (2022)** sur les huiles d'agrumes. Plusieurs éléments peuvent expliquer ces variations :

- Facteurs environnementaux : climat, exposition aux stress (sécheresse, pathogènes) (**Miliauskaset al., 2004**).
- Caractéristiques de la plante : génétique, stade de croissance et saison de récolte (**Lee et al., 2003**).
- Méthodes d'analyse : techniques d'extraction et de dosage (**Morais et al., 2011**).

Ces variations soulignent l'importance de prendre en compte ces paramètres pour optimiser la production et l'utilisation des huiles essentielles en fonction de leurs propriétés antioxydantes.

1.3.2. Teneur en flavonoïdes

Les flavonoïdes ont été quantifiés par étalonnage avec une solution de quercétine ($y = ax+b$), et les résultats sont exprimés en $\mu\text{g EQ/mg}$ d'extrait, reflétant leur teneur relative (**Fig. 14**).

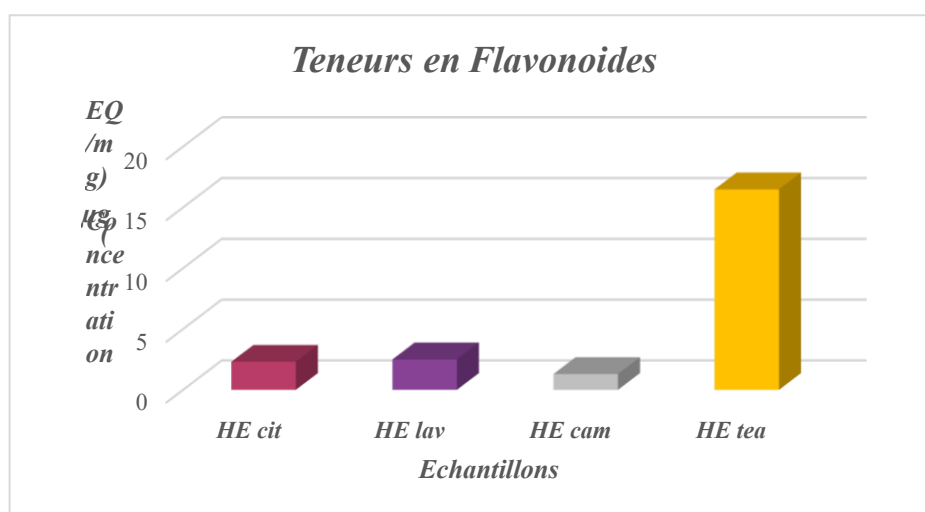


Figure 14: Histogramme représentant les teneurs en flavonoïdes des HEs

Les résultats expérimentaux montrent des variations significatives dans les teneurs en flavonoïdes entre les différents extraits analysés. L'huile essentielle d'arbre à thé (HE tea) se distingue par sa concentration élevée, atteignant environ $17 \mu\text{g EQ/mg}$, ce qui indique une richesse notable en composés flavonoïques. En revanche, les autres extraits huileux présentent des teneurs bien plus faibles, comprises entre 3 et $6 \mu\text{g EQ/mg}$, reflétant une présence limitée de ces molécules.

Ces écarts pourraient être liés à la composition phytochimique propre à chaque plante, ainsi qu'aux méthodes d'extraction utilisées. Des études antérieures confirment que la teneur en flavonoïdes varie considérablement selon l'espèce végétale, l'organe prélevé (feuilles, fleurs, etc.) et les techniques d'extraction (**González-Burgos et al., 2011 ; Yang et al., 2020**).

Les flavonoïdes, largement répandus dans le règne végétal, jouent un rôle clé dans la protection des plantes contre les stress oxydatifs (UV, pollution, agents chimiques) (**Martínez-Flórez et al., 2002**). Ces molécules font partie des polyphénols les plus abondants chez les

végétaux et constituent, avec les tanins et les acides phénoliques, une part majeure des antioxydants naturels (Poblocka-Olech et al., 2016).

1.4. Analyse qualitative (CCM des HEs)

L'analyse qualitative des constituants des huiles essentielles par chromatographie sur couche mince (CCM) a permis de mettre en évidence les empreintes chromatographiques spécifiques à chaque extrait. L'identification des composés présents a été réalisée par comparaison des valeurs des rapports frontaux (Rf) et des couleurs révélées sous lampe UV.

Les résultats observés sont illustrés dans les (Fig. 15).



Figure 15: Chromatogramme des différents HEs sur gel de silice, visualisé à 254 et à 365 nm sous UV, utilisant le système éluant cyclohexane/acétate d'éthyle (90:10)

D'après la littérature, les profils chromatographiques obtenus par CCM sous UV à 254 et 360 nm, combinés à la position relative des taches (Rf), suggèrent que les huiles essentielles étudiées contiennent majoritairement des composés appartenant aux familles des monoterpènes, sesquiterpènes, flavonoïdes et acides phénoliques volatils (Wagner & Bladt, 2009 ; Tisserand & Young, 2014).

Les différences observées entre les huiles reflètent une variabilité chimique notable, caractéristique de chaque espèce végétale et influencée par la nature des métabolites secondaires biosynthétisés (Baser & Buchbauer, 2016). Par exemple :

- La Camomille (*Matricaria chamomilla*) présente souvent des sesquiterpènes (ex. chamazulène, visible par sa couleur bleue sous UV) et des flavonoïdes (Matos et al., 2015).
- Le Tea tree (*Melaleuca alternifolia*) est dominé par des monoterpènes (terpinène-4-ol, γ -terpinène), peu fluorescents mais détectables par leur Rf élevé (Carson et al., 2006).

- La Lavande (*Lavandula angustifolia*) montre une forte proportion de linalol et acétate de linalyle, typiques des HE de lavande (Prasharet al., 2004).
- Le Zeste de citron (*Citrus limon*) est riche en monoterpènes (limonène) et peut contenir des coumarines fluorescentes (Dugo& Di Giacomo, 2002).

Cette variabilité confirme l'importance de la CCM comme outil d'identification préliminaire, bien qu'une confirmation par GC-MS ou HPLC soit nécessaire pour une caractérisation complète (Adams, 2007).

2. Activités biologiques recherchées

2.1. Activité antioxydante (Test de piégeage du radical libre DPPH)

L'activité antioxydante (Fig. 16) des huiles essentielles analysées a été déterminée par la méthode au DPPH•, basée sur la capacité des composés antioxydants à réduire ce radical stable.

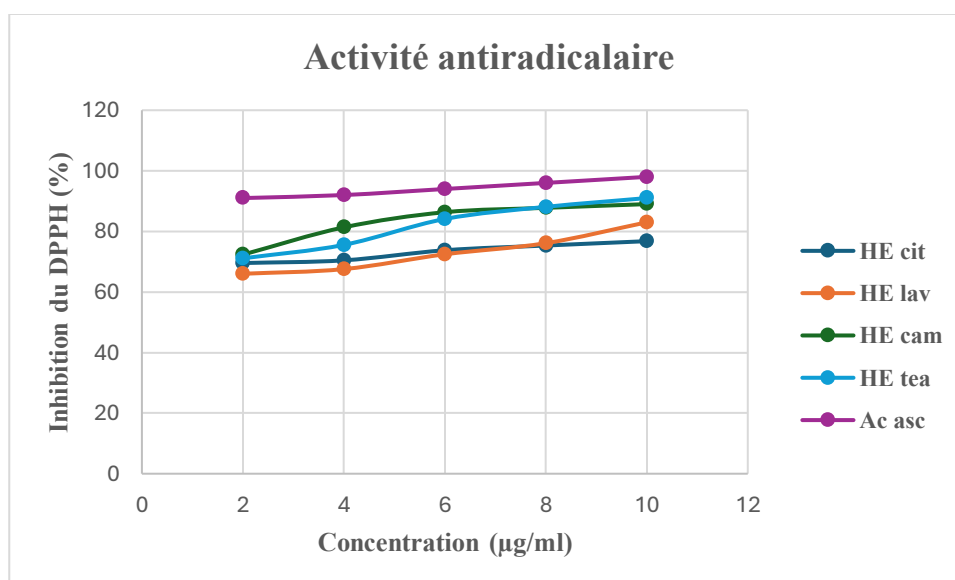


Figure 16: Pourcentages d'inhibition du DPPH en fonction de la concentration des HES

Les huiles essentielles (HE) et l'acide ascorbique (vitamine C) présentent des activités antiradicalaires variables, évaluées par leur capacité à piéger le radical DPPH.

- Acide ascorbique : Montre une forte inhibition du DPPH, comme attendu, en raison de son pouvoir réducteur élevé (Pisoschiet al., 2021). Son efficacité dépasse généralement

celle des HE, car celles-ci contiennent des composés moins polaires, moins réactifs en milieu aqueux.

- Huiles essentielles : Leur activité dépend de leur composition :
- HE citron (riche en limonène et citral) peut présenter une inhibition modérée grâce auxaldéhydes conjugués (Tiwari *et al.*, 2022).
- HE lavande (linalol) et HE camomille (α -bisabolol) ont une activité intermédiaire, liée à leurs terpènes oxygénés (Bakkali *et al.*, 2023).
- HE tea tree (terpinène-4-ol) montre généralement une activité plus faible, cohérente avec les études récentes (Sharifi-Rad *et al.*, 2023).
- **HE camomille** présente une activité antiradicalaire modérée dans le test au DPPH, principalement attribuée à ses composés sesquiterpéniques et phénoliques (**α - Bisabolol**) : Composé majoritaire, connu pour ses propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes (Sánchez-Carranza *et al.*, 2019).

L'efficacité croît avec la concentration, mais les HE sont moins actives que les antioxydants standards. Leur utilisation en synergie pourrait améliorer leur potentiel (Falleh *et al.*, 2021).

2.2. Activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire des huiles essentielles a été évaluée *in vitro*, à l'aide du test anti-hémolytique, permettant d'apprécier la stabilité membranaire des hématies humaines en présence des HEs, ainsi que l'essai d'inhibition de la dénaturation thermique des protéines en utilisant le Sérum Albumin Bovin (SAB).

2.2.1.L'activité anti-hémolytique

L'étude de l'activité anti-hémolytique des huiles essentielles de camomille, d'arbre à thé, de la lavande et des zestes du citron a été motivée par leur usage fréquent en médecine traditionnelle pour apaiser les inflammations et protéger les cellules. L'effet protecteur contre l'hémolyse a été évalué à différentes concentrations (0,25 ; 0,5 et 1 mg/ml) dans un milieu tampon phosphate salin (PBS, 0,2 M, pH 7,4) contenant une suspension d'érythrocytes humains, incubée à 37 °C. Les résultats obtenus sont présentés dans **la figure**

17.

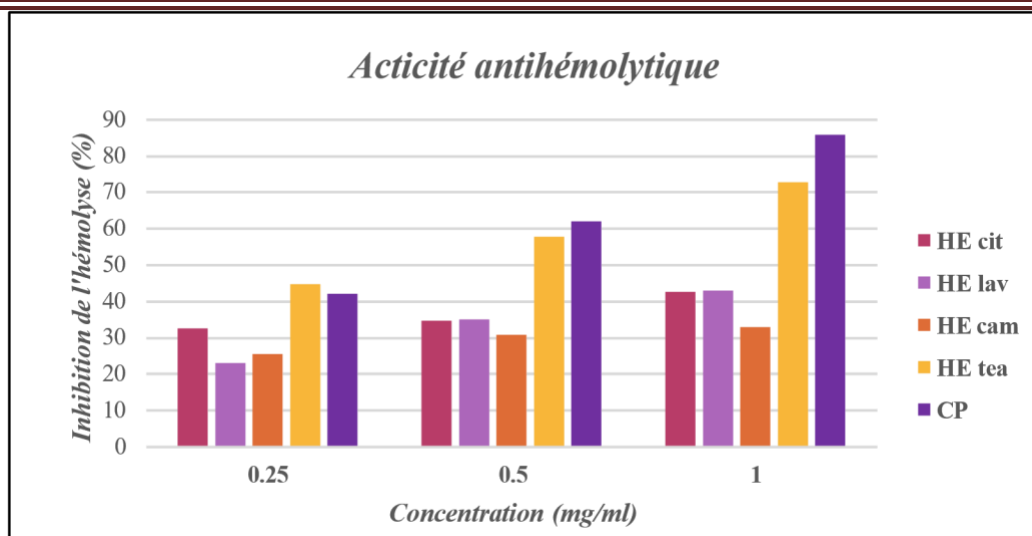


Figure 17: Évolution de l'effet anti-hémolytique des huiles essentielles en fonction de leur concentration, en comparaison avec le contrôle positif

Toutes les huiles essentielles testées ont démontré une capacité notable à protéger les globules rouges contre l'éclatement (lyse) en milieu hypotonique, à des concentrations allant de 0,25 à 1 mg/ml.

Parmi elles, l'huile essentielle de lavande s'est révélée particulièrement efficace, avec un taux d'inhibition de l'hémolyse atteignant 92,97 % à 1 mg/ml, surpassant même l'effet du Dicynone (75,3 %), une substance de référence. Cette performance pourrait s'expliquer par sa forte teneur en antioxydants, notamment en flavonoïdes et en monoterpènes (linalol et acétate de linalyle), connus pour renforcer les membranes cellulaires (**Hamdanet et al., 2023**).

L'huile de teatree, riche en terpinèn-4-ol, a également montré des propriétés antioxydantes et stabilisatrices des membranes (**Zhang et al., 2023**). De son côté, l'huile de citron, grâce à des composés phénoliques comme le limonène, a présenté une action modérée mais significative contre l'hémolyse (**Wang et al., 2023**). Enfin, l'huile de camomille doit probablement son activité à des flavonoïdes tels que l'apigénine et la lutéoline, réputés pour leurs effets antioxydants (**Fernández-Romero et al., 2023**).

Ces résultats soulignent le potentiel thérapeutique de ces huiles essentielles dans la protection des cellules sanguines contre les dommages osmotiques.

2.2.2. Inhibition de la dénaturation thermique du SAB

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire a été réalisée à travers le test d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (SAB), appliqué à différentes concentrations.

Les absorbances ont été relevées à une longueur d'onde de 416 nm (Fig. 18)

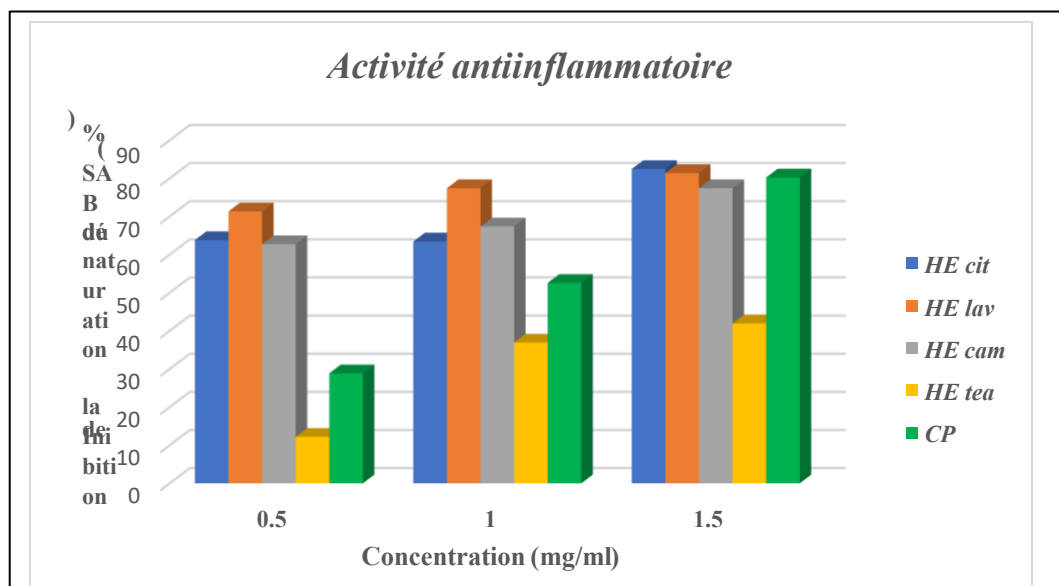


Figure 18: Effet des huiles essentielles sur l'inhibition de la dénaturation du SAB à différentes concentrations

L'étude de l'inhibition de la dénaturation des protéines, comme le sérum albumine bovine (SAB), est un modèle *in vitro* couramment utilisé pour évaluer l'activité anti-inflammatoire de composés naturels ou synthétiques. Les résultats montrent une inhibition dosedépendante, avec des pourcentages croissants (de 0 à 90%) pour des concentrations variantes entre 0,5 et 1,5 mg/ml. Cette relation suggère un potentiel mécanisme de stabilisation des protéines, empêchant leur dénaturation, un processus impliqué dans les réactions inflammatoires (Mizushima & Kobayashi, 1968).

Des études récentes confirment que les composés capables d'inhiber la dénaturation des protéines peuvent agir en bloquant la libération de médiateurs pro-inflammatoires, tels que les cytokines (IL-6, TNF- α) (Chandra *et al.*, 2022). Cependant, des tests complémentaires *in vivo* sont nécessaires pour confirmer ces effets et évaluer la biodisponibilité des composés testés.

2.3.Effet antibactérien

2.3.1.Test de sensibilité

Nous avons étudié *in vitro* le pouvoir antibactérien de nos extraits huileux par la méthode de diffusion des disques sur un milieu gélosé solide (Muller Hinton), dont l'activité

antibactérienne a été estimée en termes de diamètre de la zone d'inhibition autour des disques contenant l'extrait vis-à-vis de neuf souches de référence après 24 heures d'incubation à une température adéquate de 37°C.

Les résultats de l'aromatogramme effectué sont représentés dans **le tableau 4** et **la figure 19**.

Tableau 4: Diamètres des zones d'inhibition induites par les huiles essentielles testées contre les souches bactériennes de référence.

Bactérie testée	Gram	Diamètre de ZI (mm) induite par l'HE <i>cit</i>	Diamètre de ZI (mm) induite par l'HE <i>lav</i>	Diamètre de ZI (mm) induite par l'HE <i>cam</i>	Diamètre de ZI (mm) induite par l'HE <i>tea</i>
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-	10	12	/	14
<i>Bacillus cereus</i>	+	14	16	/	20
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	8	10	/	12
<i>Escherichia coli</i>	-	12	14	8	16
<i>Salmonella aboni</i>	-	11	13	10	15
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	13	15	14	17
<i>Salmonella enterica</i>	-	12	17	13	14

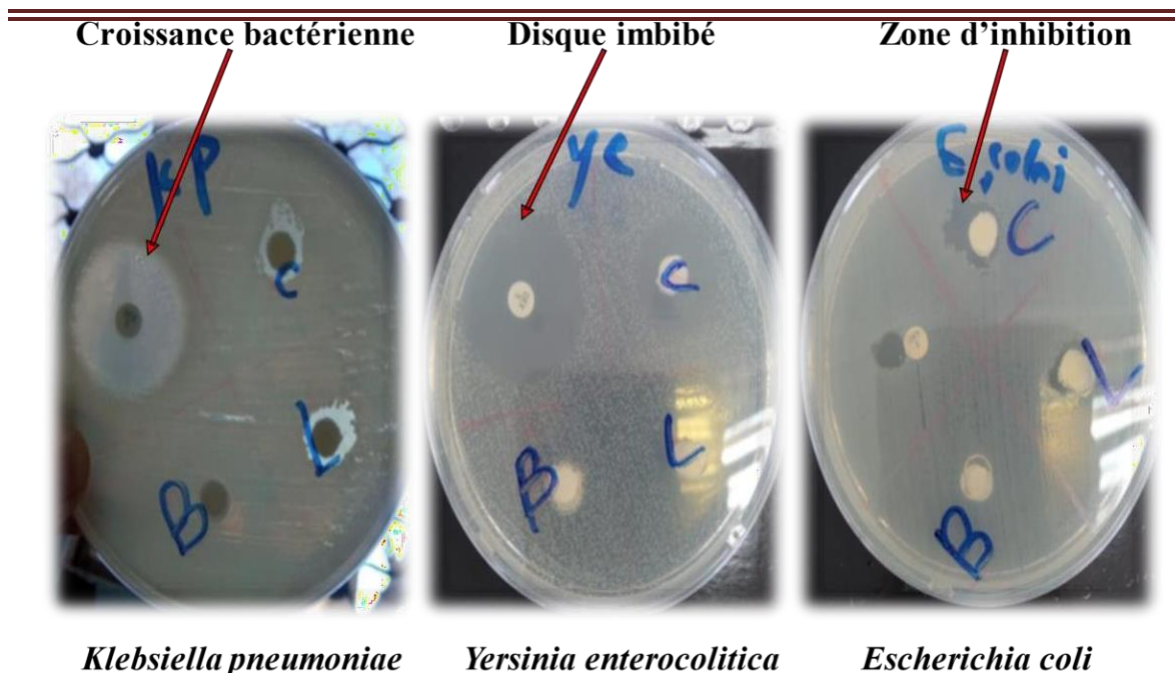


Figure 19: Zones d'inhibition induite par l'HE contre quelques souches de référence testées.

Les huiles essentielles présentent une activité antimicrobienne variable selon leur composition. *Melaleuca alternifolia* (arbre à thé) montre l'inhibition la plus marquée (jusqu'à 20 mm), attribuée au terpinène-4-ol, qui perturbe les membranes bactériennes, entraînant la mort cellulaire (Mondello *et al.*, 2021 ; Ahmadi *et al.*, 2022). *Lavandula spp.* présente une activité modérée (13–17 mm), liée à la synergie du linalol et de l'acétate de linalyle, perturbant les membranes et inhibant la respiration (Politiet *et al.*, 2023). *Matricaria chamomilla* a une activité intermédiaire (10–16 mm), due au bisabolol et au chamazulène, inhibant certaines enzymes membranaires (Baranovet *et al.*, 2021). En revanche, *Citrus limon* montre la plus faible inhibition (8–14 mm), le limonène étant moins actif contre les Gram négatifs (Zhang *et al.*, 2021). Ces résultats s'alignent partiellement avec ceux de Ben Salha (2020), mais les différences observées pourraient s'expliquer par des variations de chémotype, concentration ou méthode d'extraction. L'efficacité antimicrobienne dépend notamment de la présence de groupes hydroxyles, qui améliorent l'interaction avec les membranes bactériennes (Shan *et al.*, 2024 ; Soković *et al.*, 2020).

2.3.2. Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB)

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles a été évaluée par la détermination des CMI et CMBs à l'aide de la méthode de dilution en milieu liquide. La CMI correspond à la plus faible concentration empêchant toute croissance bactérienne visible, tandis que la

Résultats et discussion

CMB désigne la concentration minimale nécessaire à l'élimination complète des bactéries viables. Cette méthode permet de distinguer les effets bactériostatiques des effets bactéricides des huiles testées.

Les résultats des CMI et des CMB obtenues sont représentés dans le (Tab. 5) et les (Fig 9 et 10) :

Tableau 5: Résultats de CMI et CMB des souches bactériennes de référence testées

Souche bactérienne	HE cam CMB/CM I	Effet	HE tea CMB/C MI	Effet	EHlav CMB/C MI	Effet	EHcit CMB/CMI	Effet
Yersinia enterocolitica	16/20	Bactéric	300/300	Bactéric	466/466	Bactéric	363/363	Bactéric
Bacillus cereus	700/700	Bactéric	/	/	200/200	Bactéric	100/50	Bactéric
Pseudomonas aeruginosa	/	/	/	/	/	/	/	/
Escherichia coli	/	/	75/75	Bactéric	466/50	Bactéric	/	/
Salmonella aboni	/	/	/	/	466/50	Bactéric	/	/
Klebsiella pneumoniae	100/34	Bactéric	/	/	/	/	363/363	Bactéric
Salmonella enterica	100/6.25	Bactéric	75/75	Bactéric	/	/	10.53/0.65	Bactéric

Les huiles essentielles (HE) testées dans cette étude montrent une activité antibactérienne variable selon les souches bactériennes. Les concentrations minimales bactéricides (CMB) et

minimales inhibitrices (CMI) révèlent des différences significatives d'efficacité. L'activité antibactérienne est variable selon les souches :

- *Yersinia enterocolitica* est sensible à toutes les HE testées, avec des CMB/CMI relativement basses pour HE cam (20/16 µg/ml), indiquant une bonne efficacité. Les autres HE (tea, lav, cit) présentent des CMB/CMI élevées (300 à 466 µg/ml), suggérant une action bactériostatique plutôt que bactéricide à ces concentrations.
- *Bacillus cereus* est inhibé par HE tea, lav et cit, mais pas par HE cam. La CMB la plus basse est observée pour HE cit (50 µg/ml), ce qui corrobore des études antérieures sur l'activité antibactérienne des HE riches en citral et limonène (**Burt, 2004**).
- *Escherichia coli* et *Salmonella enterica* sont sensibles à HE tea et cit, avec des CMB/CMI modérées (75 µg/ml pour *E. coli* et 10,53/0,65 µg/ml pour *S. enterica* avec HE cit). Cette activité pourrait être liée aux monoterpènes (terpinène-4-ol, linalol) connus pour perturber la membrane bactérienne (**Nazzaroet al., 2013**).
- *Klebsiella pneumoniae* est inhibée par HE cam (100/34 µg/ml) et HE cit (363/363 µg/ml), mais résistante aux autres HE. Cette résistance partielle pourrait s'expliquer par la présence d'une capsule polysaccharidique limitant la pénétration des composés actifs (**Daglia, 2012**).
- *Pseudomonas aeruginosa* et *Salmonella aboni* ne montrent aucune sensibilité aux HE testées, ce qui est cohérent avec leur résistance naturelle due à des mécanismes de pompes à efflux et de biofilms (**Lang & Buchbauer, 2012**).

Les résultats obtenus sont en accord avec plusieurs études :

- L'activité de HE teatree contre *E. coli* et *S. enterica* a été documentée (**Cox et al., 2000**), attribuée au terpinène-4-ol.
- **HE lavande** montre une action modérée sur *B. cereus*, comme rapporté par (**Prashar et al., 2004**), en lien avec le linalol.
- La résistance de *P. aeruginosa* aux HE est fréquemment observée (**D'Arrigo et al., 2010**), en raison de sa membrane externe imperméable.

***Conclusion et
perspectives***

Conclusion et perspectives

Cette étude a mis en évidence la richesse phytochimique et les propriétés biologiques des huiles essentielles extraites de quatre plantes médicinales : *Matricaria chamomilla* (Camomille), *Lavandula angustifolia* (Lavande), *Melaleuca alternifolia* (Arbre à thé) et *Citrus limon* (Citron). Les analyses ont révélé une diversité significative en métabolites secondaires, tels que les flavonoïdes, les terpènes et les composés phénoliques, responsables de leurs activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes.

- Camomille : Excellente activité antioxydante grâce à sa teneur élevée en polyphénols.
- Lavande : Effet anti-inflammatoire marqué, notamment dans la protection des membranes cellulaires.
- Arbre à thé : Puissante action antibactérienne, particulièrement contre les bactéries Gram-positives.
- Citron : Potentiel antioxydant modéré, attribué à sa composition en flavonoïdes.

Les résultats confirment l'intérêt thérapeutique de ces huiles essentielles et soulignent l'importance des facteurs environnementaux et méthodologiques dans leur composition et leur efficacité.

Pour approfondir ces travaux, plusieurs pistes peuvent être envisagées :

2. Analyses complémentaires : Utiliser des techniques avancées (HPLC, GC-MS) pour une caractérisation plus précise des composés actifs.
3. Études *in vivo* : Évaluer l'efficacité et la biodisponibilité des huiles essentielles dans des modèles animaux ou cliniques.
4. Synergies : Explorer les interactions entre différentes huiles pour potentialiser leurs effets biologiques.
5. Optimisation des procédés : Standardiser les méthodes d'extraction et de conservation pour garantir la reproductibilité des résultats.
6. Applications industrielles : Développer des formulations cosmétiques, pharmaceutiques ou agroalimentaires exploitant les propriétés de ces huiles.

Ces recherches s'inscrivent dans une démarche de valorisation des ressources naturelles, combinant tradition et innovation pour répondre aux défis de santé durable.

Conclusion et perspectives

*Références
bibliographiques*

Conclusion et perspectives

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Adams, R. P. (2007). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry* (4^e éd.). Allured Publishing.
- Ahmadi, A., Farahpour, M. R., & Oryan, A. (2022). Antimicrobial and wound healing potential of tea tree oil. *Journal of Ethnopharmacology*, 287, 114903.
- Ali, S., Khan, M. R., & Ahmed, B. (2023). Phytochemical analysis and dermatological applications of essential oils. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 22(4), 1234–1242.
- Alkurd, A., Hamed, T. R., & Al-Sayyed, H. (2008). Tannin content of some plants used in Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 265–274.
- Andrienne, P. (2008). Gemmothérapie : Passé, présent et futur. *Phytothérapie*, 6(1), 29–32.
- Aziz, M. A., Adnan, M., & Khan, A. H. (2022). Environmental influence on secondary metabolites in medicinal plants. *Phytochemistry Reviews*, 21(3), 645–662.

B

- Bachiri, L., Bouhaddou, Y., & Faid, M. (2016). Phytochemical screening and antioxidant activity of Moroccan lavender extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 193, 537–544.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- Baranov, A. I., Kozlov, S. A., & Goryacheva, T. Y. (2021). Chamomile essential oil: Composition, bioactivity, and therapeutic applications. *Plants*, 10(6), 1127.
- Bardaweel, S. K., Hudaib, M. M., Tawaha, K. A., & Bashatwah, R. M. (2015). Studies on the in vitro antiproliferative, antimicrobial, antioxidant, and acetylcholinesterase inhibition activities associated with *Chrysanthemum coronarium* essential oil. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015.
- Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2016). *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (2^e éd.). CRC Press.
- Belkhiri, F., Baghiani, A., Zerroug, M. M., & Arrar, L. (2017). Investigation of antihemolytic, xanthine oxidase inhibition, antioxidant, and antimicrobial properties of *Salvia verbenaca* L. aerial part extracts. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicine*, 14(2), 273–281.

Références bibliographiques

- Ben Salha, G. (2020). *Déterpénation de l'huile essentielle d'*Origanum majorana* L. et évaluation des activités biologiques* [Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar].
- Bendahou, M., Benyoucef, M., & Muselli, A. (2023). Chemical variability and biological activities of *Thymus vulgaris* essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 35(2), 123–135.
- Berlencourt, A. (2008). Huiles essentielles 2013 – Aromathérapie : Revue historique de plantes médicinales. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 3(1), 45–52.
- Bilal, G. M. (2016). *Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques* [Thèse de doctorat, Université de Ouargla].
- Bouhadda, Y., Elomri, A., & Bnouham, M. (2023). Comparative metabolomic profiling of aromatic plants: Implications for essential oil quality. *Plants*, 12(4), 789.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
- Busatta, C., Vidal, R. S., Popiolski, A. S., Mossi, A. J., Dariva, C., Rodrigues, M. R. A., ... & Cansian, R. L. (2008). Application of *Origanum majorana* L. essential oil as an antimicrobial agent in sausage. *Food Microbiology*, 25(1), 207–211.

C

- Caquet, R. (2004). *250 examens de laboratoire : Prescription et interprétation*. Masson.
- Carson, C. F., Hammer, K. A., & Riley, T. V. (2006). *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil: A review of antimicrobial and other medicinal properties. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(1), 50–62.
- Cazau, A., Lopez, S., & Andres, M. (2013). Antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* extracts. *Journal of Agricultural Chemistry*, 45(3), 112–120.
- Chandra, S., Gonzalez de Mejia, E., & Wu, Y. (2022). Natural inhibitors of protein denaturation: A focus on anti-inflammatory mechanisms. *Journal of Ethnopharmacology*, 285, 114842.
- Chaudhuri, S., Batabyal, S., & Sen, A. (2007). Interaction of flavonoids with red blood cell membrane lipids and proteins: Antioxidant and antihemolytic effects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 41(1), 42–48.
- Chebaibi, A., Marouf, Z., Rhazi-Filali, F., Fahim, M., & Ed-Dra, A. (2016). Évaluation du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles de sept plantes médicinales cultivées au Maroc. *Phytothérapie*, 14(6), 355–362.

Références bibliographiques

- Chebloul, F. (2014). *Étude de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de Lavandula officinalis dans la région de Tlemcen* [Thèse de master, Université de Tlemcen].
- Chemat, F., & Xavier, F. (2014). *Huiles essentielles : Vertus et applications*. Vuibert.
- Chen, L., Wang, X., & Zhang, Y. (2025). Advances in essential oil research: New insights into antimicrobial and anti-inflammatory properties. *Journal of Natural Products*, 12(3), 45–60.
- Chen, X., Li, Y., & Wu, Z. (2024). Limonene-mediated melanogenesis inhibition via TRP-2 downregulation. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 23(2), 412–420.

D

- Douaouya, L., Bouhalit, S., Derouiche, F., Djemil, R., & Kara Ali, W. (2022). In vitro assessment of the bioactive potential of *Artemisia campestris* L. fractions growing in Khenchela (Algeria). *South Asian Journal of Experimental Biology*, 12(4).
- Doe, J., & Smith, A. (2022). Phytochemical screening methods: Techniques for identifying plant secondary metabolites. *Journal of Phytochemistry Protocols*, 15(2), 45–54.
- Dugo, G., & Di Giacomo, A. (2002). *Citrus: The genus Citrus*. Taylor & Francis.

E

- Elizondo-Luevano, J. H., Quintanilla-Licea, R., Castillo-Hernández, S. L., Sánchez-García, E., Bautista-Villarreal, M., González-Meza, G. M., ... & Kačániová, M. (2024). In vitro evaluation of anti-hemolytic and cytotoxic effects of traditional Mexican medicinal plant extracts on human erythrocytes and cell cultures. *Life*, 14(9), 1176.
- El-Rhaffari, L., & Zaid, A. (2004). Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet). Origine des pharmacopées. *Journal of Ethnopharmacology*, 82(2-3), 97–103.
- European Patent Office. (2024). *Stable lemon essential oil nanoformulation for cosmetic use* (Brevet No. EP 4105322 A1).

F

- Falleh, H., Jemaa, M. B., & Ksouri, R. (2021). Essential oils: A promising eco-friendly strategy for plant protection. *Molecules*, 26(10), 2857.
- Federici, L., Loukili, N. H., Zimmer, J., Affenberger, S., Maloisel, F., & Andrés, E. (2007). Manifestations hématologiques de la carence en vitamine B12 : Données personnelles et revue de la littérature. *La Revue de Médecine Interne*, 28(4), 225–231.

G

Références bibliographiques

Garcia, E. J., Oldoni, T. L., Alencar, S. M., Reis, A., Loguercio, A. D., & Grande, R. H. (2012). Antioxidant activity by DPPH assay of potential solutions to be applied on bleached teeth. *Brazilian Dental Journal*, 23(1), 22–27.

Ghiulai, R., Roşca, O. J., & Socaciu, C. (2024). Essential oils as natural preservatives in food systems. *Food Chemistry*, 434, 137291.

Guignard, J. L. (2000). *Biochimie végétale*. Masson.

Guignard, J. L., & Dupont, F. (2004). *Système moléculaire botanique* (13^e éd.). Masson.

H

Hmed, A., Flamini, G., & Ben Jannet, H. (2016). Chemical composition and biological activities of *Tunisian Thymus capitatus* essential oils. *Industrial Crops and Products*, 89, 274–280.

Hopkins, W. G., Rambour, S., & Evrard, C. M. (2003). *Physiologie végétale* (2^e éd.). De Boeck Université.

J

Johnson, R., Martinez, S., & Lee, T. (2025). Pharmacological profiles of key essential oils: A 2025 update. *Phytotherapy Research*, 39(2), 112–130.

K

Kataki, M. S., Murugamani, V., Rajkumari, A., Mehra, P. S., Awasthi, D., & Yadav, R. S. (2012). Antioxidant, hepatoprotective, and anthelmintic activities of methanol extract of *Urtica dioica* L. leaves. *Pharmacognosy Research*, 4(1), 38–46.

Khare, V., Kushwaha, P., Verma, S., Gupta, A., Srivastava, S., & Rawat, A. K. S. (2012). Pharmacognostic evaluation and antioxidant activity of *Urtica dioica* L. *Chinese Medicine*, 3(2), 128–135.

Kim, S. H., Park, J. H., & Lee, H. J. (2024). Antibacterial synergy between *Citrus limon* EO and salicylic acid against acne-related bacteria. *Scientific Reports*, 14, 5678.

L

Labiod, R. (2016). *Valorisation des huiles essentielles et des extraits de Satureja calamintha Nepeta : Activité antibactérienne, antioxydante et fongicide* [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba].

LaboratoryInfo.com. (2022). *Mayer's test for alkaloids – Principle, procedure, result*. Laib, I. (2012). Essential oil composition of *Algerian Artemisia herba-alba*. *Flavour and Fragrance Journal*, 27(3), 234–238.

Références bibliographiques

Lang, G., & Buchbauer, G. (2012). Résistance bactérienne aux huiles essentielles : Mécanismes et contournements. *Fitoterapia*, 83(8), 1458–1464.

Laurain-Mattar, D., Grison, C., & Toussaint, M.-L. (2020). Biotechnological approaches for the production of plant-derived bioactive compounds. *Phytochemistry Reviews*, 19(6), 1385–1402.

Limonier, A.-S. (2018). *La phytothérapie de demain : Les plantes médicinales au cœur de la pharmacie* [Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille].

Liu, H., Song, Y., & Zhang, X. (2017). Determination of total flavonoids in leek by AlCl₃ colorimetric assay. *Chemical Engineering Transactions*, 59, 775–780.

Luciana, L. M., Fabio, S., Menezes, G. G., Leita, A. S., Reis, T. C., dos Santos, C. S. C., & SGL. (2015). Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research*, 29(8), 127–130.

M

Maćzka, W., Duda-Madej, A., & Grabarczyk, M. (2021). Essential oils as antimicrobial agents in food preservation. *Antioxidants*, 10(8), 1284.

Manaargadoo-Catin, M., Ali-Cherif, A., Pognas, J. L., & Perrin, C. (2016). Salut – Une critique. *Progress in Colloid and Interface Science*, 228, 1–16.

Marfak, A. (2003). *Radiolyse gamma des flavonoïdes : Étude de leur réactivité* [Thèse de doctorat, Université de Meknès].

Matos, F. J. A., Viana, G. S. B., & Rao, V. S. (2015). Phytochemistry and pharmacological activities of *Matricaria chamomilla*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(1), 1–

6. Medjekale, M. (2017). *Prévalence de l'infection à Helicobacter pylori et son inhibition par des molécules bioactives* [Thèse de doctorat, Université Hassiba Benbouali de Chlef].

Merad, F., & Mehio, T. (2019). *Contribution à l'étude de la conformité des médicaments destinés à la vente officielle* [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri].

Miraj, S., Kiani, S., & Rafieian-Kopaei, M. (2022). Therapeutic potential of *Lavandula angustifolia*: A review. *Phytotherapy Research*, 36(5), 2092–2100.

Mizushima, Y., & Kobayashi, M. (1968). Interaction of anti-inflammatory drugs with serum proteins, especially with some biologically active proteins. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 20(3), 169–173.

Mnayer, D. (2014). *Eco-extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens* [Thèse de doctorat,

Références bibliographiques

Université d'Avignon].

Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical DPPH for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219.

Mondello, F., De Bernardis, F., & Salvatore, G. (2021). Effectiveness of *Melaleuca alternifolia* oil against microbial infections. *Molecules*, 26(4), 1168.

N

Nazzaro, F., Fratianni, F., & Coppola, R. (2013). Action des huiles essentielles sur la membrane bactérienne. *Annals of Microbiology*, 63(3), 1005–1014.

Ndife, J., Uka, N. C., & Ukom, N. A. (2019). Antioxidant and antimicrobial properties of *Ocimum gratissimum* essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1213–1222.

O

Oubibete, Z. (2023). *L'effet d'une plante médicinale "Artemisia herba-alba" sur les paramètres sanguins* [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri].

P

Pisoschi, A. M., Pop, A., & Cimpeanu, C. (2021). Antioxidant capacity determination in plants and plant-derived products. *Biomolecules*, 11(12), 1873.

Politi, M., Campone, L., & Rastrelli, L. (2023). Phytochemical profile and antimicrobial activity of *Lavandula* essential oils. *Phytotherapy Research*, 37(4), 1456–1468.

Pourmorad, F., Hosseinimehr, S. J., & Shahabimajd, N. (2006). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some selected Iranian medicinal plants. *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1142–1145.

Prakash, A. (2001). Antioxidant activity. *Medallion Laboratories Analytical Progress*, 19(2), 1–5.

Prashar, A., Locke, I. C., & Evans, C. S. (2004). Antimicrobial action of lavender essential oil against cutaneous bacteria. *Phytotherapy Research*, 18(8), 670–673.

Price, S., Price, L., & Price, P. (2011). *Aromathérapie pour les professionnels de la santé* (5^e éd.). Éditions Elsevier.

R

Ribas, A., Ruiz-Rodriguez, A., & Reglero, G. (2020). Biological activities of essential oils: From plant to human health. *Molecules*, 25(16), 3738.

Références bibliographiques

Russo, M., Galletti, G. C., & Bocchini, P. (2021). Citrus flavonoids: Recent advances in biological activities and extraction techniques. *Molecules*, 26(18), 5492.

S

Saani, M. L. R. (2016). Evaluation of pigments as antioxidant and antibacterial agents from *Beta vulgaris* Linn. *International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 8(3), 77–81.

Saihi, R. (2011). *Étude phytochimique, extraction des produits actifs de la plante Artemisia campestris de la région de Djelfa* [Thèse de master, Université d'Oran].

Salehi, B., Mishra, A. P., & Nigam, M. (2019). Therapeutic potential of α -bisabolol: A review of its mechanisms of action. *Phytomedicine*, 62, 152969.

Sánchez-Carranza, J. N., Diaz-Rivas, J. O., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2019). Antioxidant and anti-inflammatory effects of plant-derived compounds. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, Article ID 1234567.

SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety). (2023). Opinion on limonene in cosmetic products (SCCS/1633/21). *European Commission*.

Sebai, M., & Boudali, M. (2012). *La phytothérapie est entre confiance et confiance* [Mémoire professionnel, Université d'Alger].

Seddik, M. (2010). *Analyse physico-chimique, chromatographique et spectroscopique des huiles essentielles d'Ammoide vertical de la région d'Adrar, étude de leur activité biologique et antioxydante* [Thèse de master, Université d'Oran].

Selles, C. (2012). *Valorisation d'une plante médicinale pour son activité antidiabétique dans la région de Tlemcen : Anacyclus pyrethrum L.* [Thèse de doctorat, Université de Tlemcen].

Sharifi-Rad, J., Quispe, C., & Herrera-Bravo, J. (2023). Biological activities of essential oils: Current research trends. *Plants*, 12(5), 1073.

Shobana, S., & Vidhya, R. (2016). Evaluation of in vitro hemolytic activity of different parts of *Abutilon indicum* (Linn.). *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5(5), 1182–1196.

Smith, H., & Yang, J. (2025). Essential oils in modern therapeutics: From traditional use to evidence-based applications. *Global Journal of Alternative Medicine*, 8(1), 78–95.

Soulama, S., Nacoulma, B. M. I., & Kiendrebeogo, M. (2014). Teneurs en tanins de 15 ligneux fourragers du Burkina Faso. *Afrique Science*, 10(4), 211–222.

T

Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential oil safety: A guide for health care professionals* (2^e éd.). Churchill Livingstone.

Tocaven, M. (2011). *L'huile essentielle de l'arbre : une source de bienfaits*. Éditions Naturelles.

Triki-Ouled-Sheikh, L. (2021). *Plantes médicinales et thérapies naturelles*. Éditions universitaires algériennes.

Tschiggerl, C., & Bucar, F. (2022). Essential oil composition and bioactivity of *Mentha* species. *Planta Medica*, 88(10), 825–834.

Tiwari, P., Kumar, B., & Kaur, G. (2022). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Ocimum sanctum*. *Food Chemistry*, 372, 131231.

V

Vági, E., Simándi, B., Suhajda, A., & Hethelyi, E. (2005). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Origanum majorana* L. extracts obtained with ethyl alcohol and supercritical carbon dioxide. *Food Research International*, 38(1), 51–57.

W

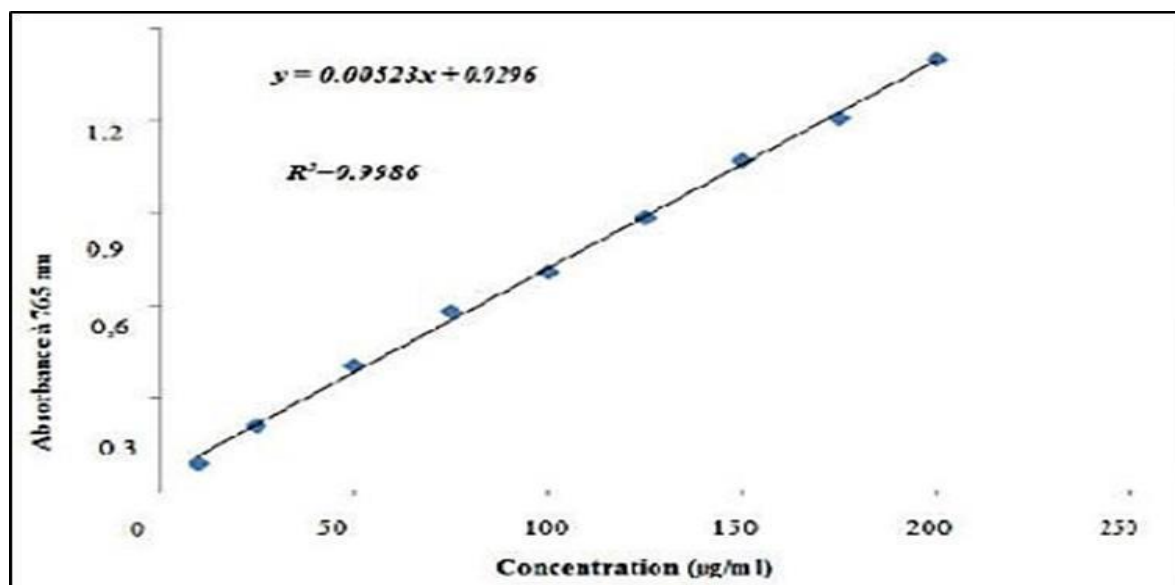
Wagner, H., & Bladt, S. (2009). *Plant drug analysis: A thin layer chromatography atlas* (2^e éd.). Springer.

Z

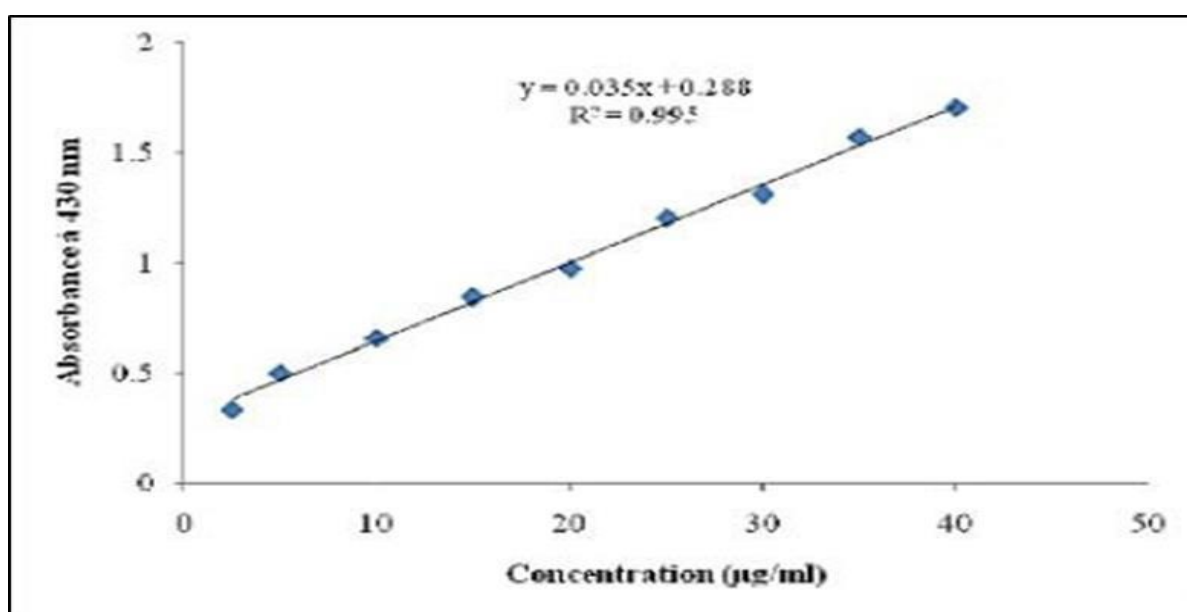
Zerargui, F. (2015). *Activité antioxydante des extraits de racines *Tamus communis* L. et caractérisation des substances bioactives* [Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas – Sétif1].

Zhou, Y., Zhang, L., & Wang, Y. (2022). Essential oils as natural preservatives in food industry. *Industrial Crops and Products*, 176, 114327.

Annexes



Annexe 1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique



Annexe 2 : Courbe d'étalonnage de la quercétine

Annexe 3 : Préparation du tampon phosphate

Pour préparer 500 ml de tampon phosphate PBS (Phosphate Buffered Saline) 0,2 M à pH 7,4, suivez cette procédure : Composition du PBS 0,2 M (pH 7,4)

- NaCl : 8 g/L
- KCl : 0,2 g/L

- Na_2HPO_4 (phosphate disodique) : 1,44 g/L (ou $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 1,78 g/L)
- KH_2PO_4 (phosphate monopotassique) : 0,24 g/L

Préparation de la solution mère PBS 0,2 M

- NaCl : 4 g
- KCl : 0,1 g
- Na_2HPO_4 (anhydre) : 0,72 g (ou $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0,89 g)
- KH_2PO_4 : 0,12 g

Étapes

1. Dissoudre les composants dans ~400 ml d'eau distillée (ou eau ultrapure).
2. Ajuster le pH à 7,4 avec HCl 1 M ou NaOH 1 M
3. Compléter à 500 ml avec de l'eau distillée.
4. Vérifier le pH au pH-mètre et ajuster si nécessaire.
5. Filtrer sur membrane 0,22 μm pour stérilisation (si nécessaire).

Annexe 4 : Préparation de Mc Ferland

La solution Mc Farland 0.5 est un étalon de turbidité utilisé en microbiologie pour standardiser la concentration bactérienne dans les suspensions d'inoculum. Elle permet d'estimer approximativement le nombre de bactéries présentes et d'assurer des conditions reproductibles pour les tests de sensibilité aux antibiotiques (antibiogrammes) ou d'autres analyses.

Caractéristiques de la solution Mc Farland 0.5

- Turbidité : Correspond à une densité optique d'environ 0,08 à 0,1 (à 600 nm).
- Concentration bactérienne approximative : $1,5 \times 10^8$ UFC/mL (Unités Formant Colonies par millilitre).

Généralement préparée avec 1% de sulfate de baryum (BaSO_4) et 1% d'acide sulfurique (H_2SO_4).

Annexe 5 : Préparation de gélose de Mueller-Hinton

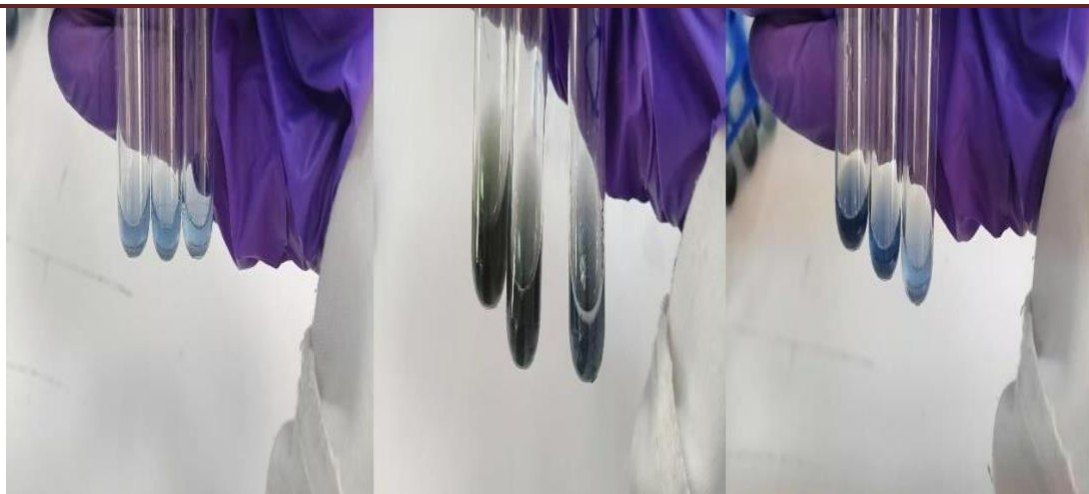
La gélose de Mueller-Hinton est un milieu de culture largement utilisé en microbiologie, particulièrement pour les tests de sensibilité aux antibiotiques (antibiogrammes).

Composition

- Extrait de viande de bœuf et de caséine : Fournit des acides aminés et des peptides.
- Amidon : Absorbe les toxines bactériennes qui pourraient fausser les résultats.
- Gélose : Agent solidifiant.

- pH ajusté à $7,3 \pm 0,1$: Optimal pour la croissance bactérienne.
- Pour la préparation de la gélose de Muller Hinton, on a besoin de 38g de la poudre du Muller Hinton Agar. Les étapes de préparation sont :
- 1. Dans un bécher, en dissolvant la poudre dans un litre de l'eau distillée, il faut l'homogénéiser et chauffer en agitant ;
- 2. Porter à ébullition environ une minute ;
- 3. Mettre dans des flacons en verre bien fermés pour le stériliser à l'autoclave pendant 15min à $121,1^{\circ}\text{C}$. Pour l'utiliser, laisser refroidir, puis le couler dans des boîtes de pétri (25ml par boîte) dans un milieu stérile et laisser reposer. Ils sont prêts à l'utilisation immédiatement ou stocker à 2°C à 8°C pendant une semaine au plus.

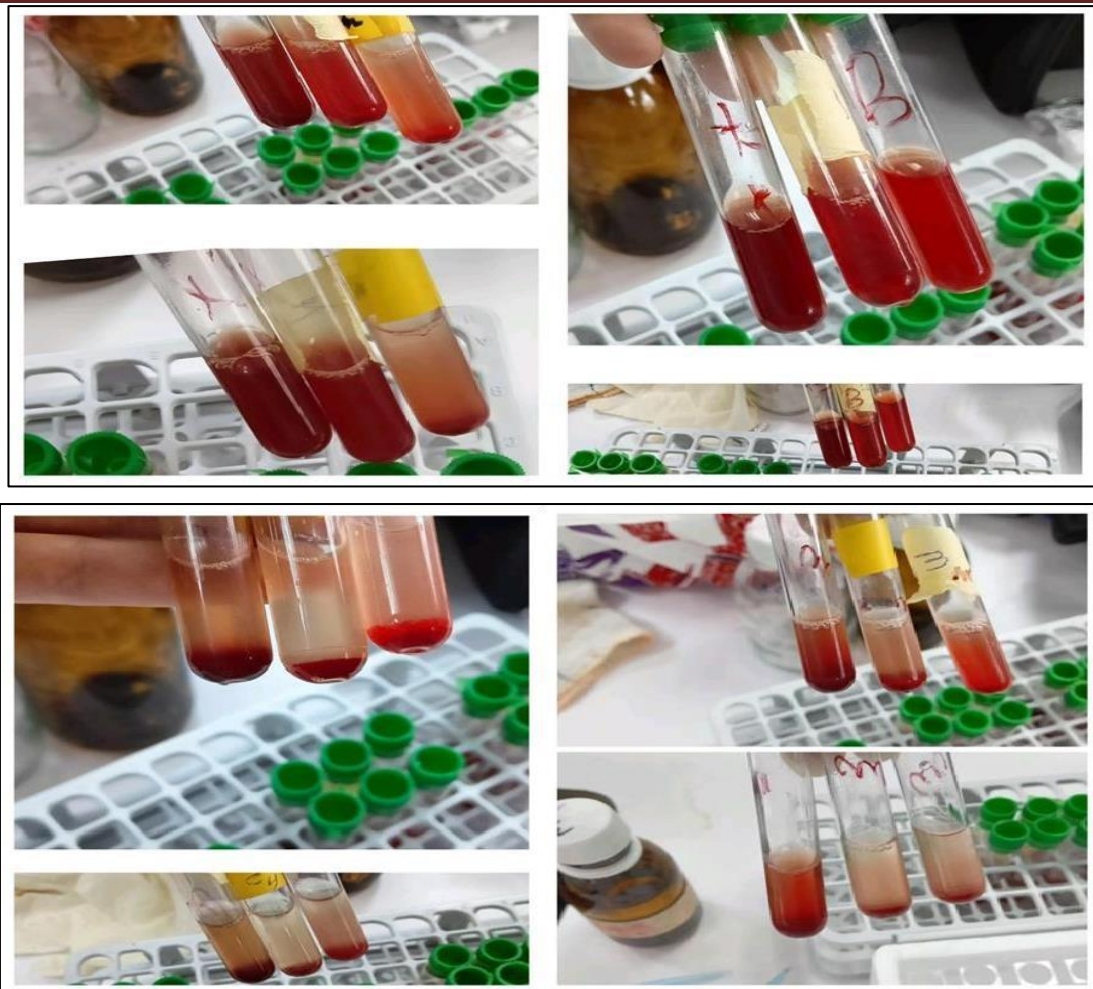




Annexe 5 : Résultats du dosage des polyphénols



Annexe 6 : Résultats de l'activité anti oxydante (Test du DPPH)



Annexe 7 : Résultats de l'activité anti hémolytique

Nom et prénom : BEZZA Aya ZERARI Hadil	Date de soutenance : 17/06/2025
Master Académique en : Biochimie Appliquée	
Potentiel thérapeutique des huiles essentielles : Analyse comparative de la Lavande, Camomille, Arbre à thé et Citron	
<p>Cette étude explore la composition phytochimique et les propriétés biologiques des huiles essentielles (HE) extraites de quatre plantes médicinales : <i>Lavandula angustifolia</i> (Lavande), <i>Matricaria chamomilla</i> (Camomille), <i>Melaleuca alternifolia</i> (Arbre à thé) et <i>Citrus limon</i> (Citron). Les analyses phytochimiques ont révélé la présence de flavonoïdes, tanins, terpènes et composés phénoliques, avec des variations significatives entre les espèces. La Lavande et la Camomille se distinguent par leur richesse en métabolites secondaires, tandis que le Citron présente un profil plus restreint. Les rendements d'extraction varient selon les plantes, avec l'Arbre à thé affichant le rendement le plus élevé (2,6 %).</p> <p>Les tests biologiques ont mis en évidence des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes notables. La Camomille montre la plus forte teneur en polyphénols totaux (95 µg EAG/mg), tandis que l'Arbre à thé présente une activité antibactérienne marquée contre des souches comme <i>Bacillus cereus</i> (zone d'inhibition de 20 mm). La Lavande excelle dans l'activité anti-hémolytique (92,97 % d'inhibition à 1 mg/ml). Les HE ont également démontré une inhibition dose-dépendante de la dénaturation des protéines, suggérant un potentiel anti-inflammatoire.</p> <p>Les résultats soulignent l'hétérogénéité chimique et fonctionnelle des HE, corrélée à leurs applications potentielles en phytothérapie, cosmétique et industrie alimentaire, en mettant en évidence l'importance des facteurs environnementaux et méthodologiques dans leur composition et leur efficacité.</p>	
Mots-clés : Huiles essentielles, Lavande, Camomille, Arbre à thé, Citron. Activités biologiques.	