

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Biologie



Projet de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master en : Microbiologie
Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Microbiologie appliquée

Thème

**Étude de l'activité antimicrobienne de trois plantes médicinales de la région d'Aïn
Témouchent : *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus* et *Jasonia tuberosa***

Soutenu le : 23/06/2026

Présenté Par :

- 1) Mlle BENZINA Zohra
- 2) Mlle BERRADJA Narimene

Devant le jury composé de :

Pr	BOUAMRA Mohamed	Professeur UAT.B.B (Ain Témouchent)	Président
Dr.	KHOLKHAL Fatima	M C B UAT.B.B (Ain Témouchent)	Examineur
Dr.	BENBELAID Fethi	M C A UAT.B.B (Ain Témouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2025/2026



Remerciements

(وَأَجِرْ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que nous ressentons aujourd' hui. Ce travail est l'aboutissement d'un parcours jalonné de doutes, d'efforts , mais surtout de belles rencontres et de soutiens inestimables.

*Avant toute chose, nous remercions **ALLAH** le Tout-puissant et lui adressons nos plus profondes louanges pour la patience , la force et le courage qu'il nous a accordés tout au long de notre parcours universitaire. Grâce à sa volonté et à son soutien, nous avons pu accomplir ce travail et atteindre cette étape importante de notre vie académique . Alhamdoulillah.*

*À Monsieur **Dr BENBELAID Fethi**, enseignant à l'université d'Aïn Témouchent, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude pour votre encadrement exemplaire, votre disponibilité constante, votre patience et la qualité de votre écoute. Vos conseils avisés et votre soutien précieux ont constitué un véritable pilier tout au long de la réalisation de ce travail. Nous vous remercions sincèrement pour le temps que vous nous avez accordé ainsi que pour l'impact positif et durable de votre encadrement. Nous vous prions d'agréer, Monsieur, l'expression de notre plus haute considération et de notre profond respect.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury de l'université d'Ain Temouchent **Pr BOUAMRA Mohamed** et **Dr KHOLKHAL Fatima** d'avoir accepté d'évaluer ce travail, ainsi que pour le temps précieux qu'ils y ont consacré et pour la pertinence de leurs remarques.*

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble de l'équipe du laboratoire de l'université d'Ain Temouchent pour leur accueil, leur aide précieuse et leur soutien tout au long de cette expérience.





Nous remercions vivement le corps professoral de l'université d'Ain Temouchent BELHADJ Bouchaib pour la richesse de leurs enseignements, pour leurs conseils éclairés et les connaissances qu'ils nous ont transmises durant notre parcours académique.

Enfin, nous exprimons une pensée profondément reconnaissante à nos familles, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont croisé notre chemin et nous ont soutenues moralement, durant cette aventure. Chacun d'entre vous a contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'aboutissement de ce projet.

Ce mémoire ne saurait être considéré comme le simple fruit d'un travail de binôme ; il est également le reflet d'un parcours marqué par la persévérance, l'entraide, l'amitié, la confiance et surtout la patience, sans lesquelles sa réalisation n'aurait pu aboutir.

Merci, du fond du cœur

Le meilleur est à venir





Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Aujourd'hui, en cette date si particulière de 2026, Je ne célèbre pas seulement la fin d'une étape académique, mais aussi la victoire de ma volonté. En ce moment décisif, empreint d'espoir, mes mots s'inclinent avec gratitude devant tous ceux qui m'ont soutenue et accompagnée tout au long de ce parcours :

À **moi-même**, à celle qui s'est relevée à chaque chute. À cette part de moi qui a lutté en silence, qui a été à la fois la cause et le salut. Je me le dédie, car j'ai appris que la plus grande force est de compter sur soi-même.

À **ma mère**, mon premier pays, celle qui a habité mon cœur et dont les prières ont devancé mes pas vers la réussite. À toi qui as partagé mes efforts, ma fatigue, ma maladie et mes moments de faiblesse, Je dédie ce travail ainsi que ma réussite. Tu es mon commencement, mon histoire, ma force et ma plus belle source d'inspiration. Après Dieu, tu es la raison de tout ce que je suis aujourd'hui. À chaque fois mon nom sera prononcé, je me tournerai vers toi, tu es mon secret.

À **mon père**, mon soutien indéfectible, celui qui n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager. Ma fierté éternelle devant le monde. De toi, j'ai appris la patience, la persévérance et l'autonomie. Tes paroles sont ma confiance, ta présence est ma sécurité et mon refuge. Ce travail est le fruit de ton combat et de tes efforts. Je te le dédie avec tout mon amour et ma gratitude, car tu mérites bien plus encore.

À **mon père et ma mère**....aujourd'hui je suis diplômée et je célèbre avant tout le fait d'être votre première joie et votre plus grande fierté.

À **mes sœurs Ibtihel, Ritedj et Maram**, À vous qui avez illuminé mon chemin par votre présence et votre soutien, Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma gratitude. Vous avez été la source de mes confidences et de mes sourires. Que ce succès soit aussi le vôtre, car sans votre affection et votre encouragement, Ce parcours n'aurait pas eu la même saveur. Ritedj Félicitations pour ta réussite et ton passage au collège, une nouvelle étape pleine de défis et de belles opportunités.



2026

À mon petit frère Mohamed, À toi qui remplis ma vie de ton beau sourire et qui m'apportes chaque jour espoir et énergie. Je te dédie ce travail avec tout mon amour. J'espère d'être toujours pour toi un exemple et un soutien sur lequel tu pourras compter. Félicitations pour ta réussite à l'examen du BEM. Je te souhaite encore plus de succès et de bonheur dans ton avenir.

À ma binôme Zohra, À toi avec qui j'ai partagé ce parcours, les efforts, les doutes et les réussites. Ta présence a rendu ce travail plus léger et plus riche. Je te remercie pour ta patience, ton soutien et ta collaboration précieuse tout au long de cette expérience. Que ce succès soit aussi le tien, et que ce ne soit que le début de nombreux autres accomplissements.

À mon amie Rofaida, qui a été une belle source de soutien et une présence sincère. Je te remercie pour ta présence. Reste toujours cette amie fidèle, et je te souhaite beaucoup de succès et de bonheur.

À ma chère grand-mère Setti, رحمها الله Je te dédie ce travail avec tout mon amour en implorant Allah de t'accorder sa miséricorde, de te pardonner et de t'offrir le paradis.

À ma chère grand-mère Fatima, je prie pour qu'il te comble de santé, de bien-être et de sérénité, qu'il te soulage de toute douleur et t'accorde force. Je te souhaite une santé durable et de la douceur.

Merci, Papa et Maman. Je vous aime

Narimene



Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au terme de ce parcours universitaire, j'éprouve le besoin profond de dédier ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus chères

À moi-même

Pour tous les efforts fournis et la persévérance dont j'ai fait preuve tout au long de ce parcours. À la personne que je suis devenue grâce à cette expérience, plus forte, plus patiente et plus déterminée. Je me félicite pour chaque nuit de travail, chaque obstacle dépassé et chaque pas accompli vers la réalisation de ce travail. Que ce travail soit le reflet de ma volonté, de mon courage et de mon ambition pour l'avenir.

À ma chère Maman

La source de ma tendresse et de mon courage. Aucun mot ne saurait exprimer ma gratitude pour ton amour inconditionnel et tes prières nocturnes qui ont été mes meilleurs guides. Tu es l'âme de ma réussite, et ce travail est l'humble fruit de tes sacrifices.

À mon cher Papa

Mon modèle de persévérance et de droiture. Merci de m'avoir appris la valeur de l'effort et de m'avoir toujours poussé à viser plus haut. Ta fierté est ma plus belle récompense, et je te dédie ce succès en signe de ma profonde reconnaissance.

À ma chère sœur Imène

Ma confidente de toujours. Merci d'avoir partagé mes moments de stress et de m'avoir encouragée avec tant de bienveillance. Ta présence à mes côtés rend ce parcours bien plus beau.

À ma chère sœur Meryem

Pour ton soutien constant et ta joie de vivre. Merci de m'avoir aidée à garder l'équilibre pendant cette année intense. Que ce succès soit un témoignage de notre lien indéfectible.

À mon cher Frère Mohammed

Pour ta complicité et ton soutien sans faille. Merci d'avoir été là dans les moments de doute pour me redonner confiance. Ce travail est aussi le symbole de notre fraternité.



2026

À mon Binôme

À mon binôme de choc Narimene, pour cette aventure intellectuelle et humaine. Merci pour ta patience, ton sérieux et tous ces moments de partage entre recherche et rédaction. Nous avons formé une équipe formidable, et je suis fière d'aboutir à ce résultat à tes côtés.

À celui qui partagera ma vie,

À l'aube de cette nouvelle étape professionnelle et personnelle, je te dédie ce travail. Merci d'avoir partagé mes longues journées de recherche, mes doutes et mes réussites. Que ce diplôme soit le premier succès d'une longue série que nous bâtirons ensemble.

À mes chères amies, Amira et Rofaida,

En souvenir des éclats de rire, des longues journées d'étude et des moments de doute partagés. Merci pour votre soutien précieux, votre écoute et votre présence constante tout au long de ce parcours. Trouver des amies aussi fidèles et bienveillantes est une véritable chance. Que ce travail témoigne de notre belle complicité.

À la mémoire de mes chers grands-parents, qu'Allah leur fasse miséricorde (رحمهم الله),
Bien qu'ils ne soient plus parmi nous pour partager ce moment, leur souvenir, leurs prières passées et les valeurs qu'ils m'ont transmises ont guidé mes pas tout au long de ce parcours. J'aurais tant aimé qu'ils soient témoins de l'aboutissement de ce travail. Que ce diplôme soit un hommage à leur mémoire. Puisse Allah leur accorder le Paradis.

À mes chers grands-parents,

Pour votre amour infini, votre tendresse et surtout pour vos précieuses prières qui m'ont accompagnée à chaque étape de mes études. Votre présence est une bénédiction au quotidien et votre fierté est ma plus belle récompense. Que Dieu vous garde, vous accorde une longue vie et une santé de fer.

Zohra

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Liste des abréviations

Introduction	5
Synthèse Bibliographique	2
I. Les huiles essentielles	2
1.1. Définition	2
1.2. Répartition des plantes aromatiques et localisation des huiles essentielles	2
1.3. Composition chimique des huiles essentielles	3
1.3.1. Les terpènes	3
1.3.2. Les composés aromatiques	4
1.3.3. Les composés d'origine variable	4
1.4. Domaines d'utilisation des huiles essentielles	4
II. Activité antimicrobienne des huiles essentielles	6
2.1. Mode d'action des huiles essentielles.....	6
III. Matériel et Méthodes.....	9
3.1. Récolte du matériel végétal	8
3.2. Extraction de l'huile essentielle.....	8
3.3. Conservation des huiles essentielles	9
3.4. Description des souches microbiennes étudiées	9
3.5. La méthode de diffusion sur disque « Aromatogramme ».....	10
3.6. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI	11
3.7. Détermination de CMB et CMF.....	13
IV. Résultats et discussion.....	14
4.1. Composition chimique des HEs étudiées	14
4.2. Résultats de l'aromatogramme.....	15
4.3. Détermination des CMI	18
4.4. Détermination de CMB et CMF	20
Conclusion.....	14
Références Bibliographiques	23

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les espèces végétales étudiées.....	8
Tableau 2: La liste des souches microbiennes testées.....	9
Tableau 3: Composition chimique des huiles essentielles étudiées	14
Tableau 4: Résultats des zones d'inhibition de l'aromatogramme en mm	16
Tableau 5: Concentrations minimales inhibitrices de la croissance (%)	18
Tableau 6: Les concentrations minimales bactéricides (CMB) et fongicide (CMF)	20

Liste des Figures

Figure 1 : Isoprène.....	3
Figure 2: Exemples de composés aromatiques.....	4
Figure 3: Localisations et Mécanismes d'action des composants des huiles essentielles au sein de la cellule bactérienne	7
Figure 4 : Schéma du montage d'hydrodistillation	8
Figure 5: Protocole d'aromatogramme des huiles testées	11
Figure 6: Préparation de la série des dilutions des huiles essentielles	12
Figure 7: Préparation des microplaques	13
Figure 8: Diamètre des zones d'inhibition pour les HEs testées A : <i>Artemisa herba-alba</i> , J : <i>Jasonia tuberosa</i> , R : <i>Thymus Coloratus</i> vis-à-vis de l'espèce <i>Candida albicans</i>	17

Liste des abréviations

AHA: *Artemisia herba-alba*

ATCC: American Type Culture Collection

BHIB: Brain Heart Infusion Broth (Bouillon cœur –cervelle)

CLSI: Clinical and Laboratory Standards Institute

CMB: Concentration minimale bactéricide

CMF: Concentration minimale fongicide

CMI : Concentration minimale inhibitrice

HE : Huile essentielle

JAZ: *Jasonia tuberosa*

MH: Muller-Hinton

THC: *Thymus coloratus*

UFC : Unité Formant Colonie

Introduction

Les plantes médicinales occupent, depuis des siècles, une place importante dans la médecine traditionnelle, particulièrement dans les régions méditerranéennes et tropicales, en raison de leurs nombreuses propriétés thérapeutiques. Parmi les substances naturelles les plus étudiées, les huiles essentielles (HEs) figurent comme des mélanges naturels de substances volatiles et aromatiques. Les HEs sont principalement obtenues par distillation, bien que d'autres méthodes puissent également être utilisées, comme l'expression, l'enfleurage ou l'extraction par des solvants (**Burt, 2004 ; Bakkali *et al.*, 2008**).

Riches en métabolites secondaires, notamment en terpènes et en composés phénoliques, les HEs se caractérisent par leur forte odeur ainsi que par leurs nombreuses propriétés biologiques. Ce qui favorise leur utilisation aujourd'hui dans plusieurs domaines : pharmaceutique, alimentaire, cosmétique, agronomique ainsi que dans la parfumerie (**Burt, 2004 ; Bakkali *et al.*, 2008**).

Actuellement, environ 3000 huiles essentielles sont connues dans le monde, dont près de 300 possèdent une importance commerciale. Outre leurs applications industrielles, plusieurs études ont démontré leurs activités biologiques variées, notamment antibactériennes, antifongiques, antivirales, antiparasitaires et insecticides (**Kalemba et Kunicka, 2003**). Ces propriétés seraient liées au rôle protecteur des HEs chez les plantes contre les microorganismes pathogènes et les agressions environnementales (**Bakkali *et al.*, 2008**).

Face à l'augmentation préoccupante de la résistance des microorganismes aux antibiotiques et aux agents antimicrobiens conventionnels, la recherche de nouvelles substances antimicrobiennes est devenue une priorité scientifique. Dans ce contexte, les HEs apparaissent comme une alternative prometteuse grâce à leur richesse en composés bioactifs capables d'inhiber la croissance de nombreuses bactéries, levures et champignons pathogènes. Ainsi, l'étude de l'activité antimicrobienne de ces métabolites secondaires suscite un intérêt croissant dans le développement de nouveaux agents thérapeutiques (**Hammer *et al.*, 1999 ; Nazzaro *et al.*, 2013**).

Dans ce cadre, le présent travail a pour objectif d'évaluer l'activité antimicrobienne des HEs extraites de plantes médicinales locales (*Artemisia Herba-alba*, *Thymus coloratus* et *Jasonia tuberosa*) envers des microorganismes pathogènes. Par ailleurs, notre approche vise à contribuer à la valorisation des ressources phytothérapeutiques naturelles et à la recherche de nouvelles alternatives antimicrobiennes d'origine végétale.

Synthèse Bibliographique

Chapitre I.
Les huiles essentielles

I. Les huiles essentielles

1.1. Définition

Selon la pharmacopée française, les HEs sont des substances authentiques, hydrophobes et extrêmement complexes, renfermant les principes volatils et odorants obtenus à partir d'une matière végétale modifiée lors de la fabrication et qui leur confèrent différentes propriétés et des usages uniques, donnant ainsi naissance à une branche particulière : l'Aromathérapie (**Figueredo, 2007 ; Benayad, 2013**). Les HEs ont un rôle significatif dans les secteurs des arômes et de la parfumerie. Près de 300 matières premières naturelles sont employées sous diverses formes, dont environ la moitié provient de plantes cultivées, tandis que l'autre moitié est issue de plantes à l'état sauvage (**Lawrence, 2001**).

Il existe deux principales méthodes pour leur extraction : la distillation et l'expression à froid. La distillation comprend plusieurs techniques, notamment l'hydrodistillation simple, la distillation à l'eau, la distillation à la vapeur d'eau ou à l'eau et à la vapeur.

L'expression, nommée aussi la pression à froid, est un procédé spécifique aux écorces d'agrumes du genre *Citrus* (**Lawrence, 2001**). Le principe de cette méthode consiste à lacérer les zestes du fruit afin d'extraire l'HE, puis à récupérer le contenu par différentes méthodes physiques simples et récentes (**Figueredo, 2007**). On désigne souvent le contenu comme des « essences » afin de les distinguer des HEs obtenues par distillation (**Reine et al., 2021**).

Une méthode alternative, moins courante, consiste en la macération-distillation, où la plante est immergée dans de l'eau chaude afin d'extraire l'HE associée aux enzymes (**Lawrence, 2001**).

1.2. Répartition des plantes aromatiques et localisation des huiles essentielles

Près de 350 000 espèces de plantes ont été identifiées dans le monde, dont environ 17 500 sont aromatiques (**Figueredo, 2007**). Les principales familles végétales dans lesquelles on retrouve des espèces productrices d'HEs sont les suivantes : *Myrtaceae*, *Lauraceae*, *Rutaceae*, *Lamiaceae*, *Asteraceae*, *Apiaceae*, *Poaceae*, *Zingiberaceae* et *Piperaceae* (**Lawrence, 2001**).

Une HE est un extrait aromatique de la plante, qui se forme en plus grande quantité dans des cellules spécialisées ou des groupes de cellules spécialisées. Toutefois, ces substances

aromatiques se trouvent principalement dans un organe particulier comme les fleurs (lavande, rose), les feuilles (comme eucalyptus, laurier noble, menthe poivrée) et moins fréquemment, dans des écorces (cannelier), des bois (bois de rose, santal blanc), des racines (angélique, vétiver), des rhizomes (curcuma, gingembre), des fruits (aneth, anis, badiane), des graines (muscade, coriandre) (Lawrence, 2001 ;Figueredo, 2007; Lamamra, 2018).

1.3. Composition chimique des huiles essentielles

Selon Naouel(2015), les HEs sont une combinaison complexe de divers constituants pouvant être classés en trois principaux groupes chimiques : les composés terpéniques ; les composés aromatiques et les composés d'origine variée.

La composition chimique des HEs est influencée par plusieurs facteurs, à savoir les facteurs génétiques, le moment de récolte, les méthodes de stockage et de récupérations, le cycle de croissance ainsi que le climat et la nature du sol etc. Les variations de ces conditions peuvent être à l'origine du polymorphisme chimique au sein d'une même espèce végétale.

1.3.1. Les terpènes

Les terpènes sont des hydrocarbures de formule brute $(C_5H_8)_n$ formés par l'association d'unités d'isoprène. Selon leur nombre, on distingue les monoterpènes, les sesquiterpènes, et occasionnellement certains diterpènes, avec une dominance de 90 % de monoterpènes ; des éléments volatils, vapeurs de parfum agréable (Romaneet *al.*, 2012).

Ces composants terpéniques sont classés selon leur structure, qui peuvent être monocycliques, tricycliques, bicycliques ou acycliques, ou selon leur fonction chimique (alcools, esters, aldéhydes, cétones...) (Couic-Marinieret Lobstein, 2013).

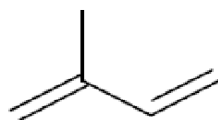


Figure 1 : Isoprène (Romane *et al.*, 2012).

1.3.2. Les composés aromatiques

Les composés aromatiques, moins fréquents dans les HEs proviennent des dérivés du phénylpropane, typique de certaines espèces végétales. Dans cette famille, on distingue plusieurs composés, par exemple le cinnamaldéhyde présent dans l'HE de cannelle, l'eugénol

dans les clous de girofle, ainsi que l'anéthol et d'autres aldéhydes qui se trouvent dans l'HE d'anis et de fenouil (Romaneet *al.*, 2012).

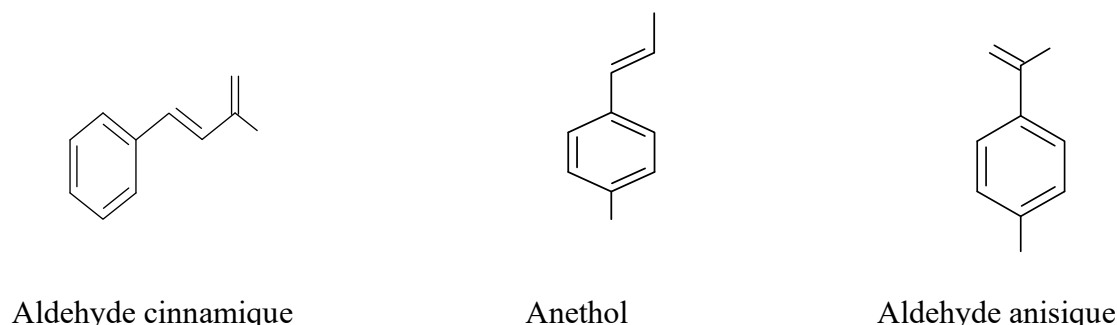


Figure 2: Exemples de composés aromatiques (Romane *et al.*, 2012)

1.3.3. Les composés d'origine variable

Les composés d'origine variée sont des hydrocarbures de structure linéaire ou ramifiée, issus de diverses sources qui sont obtenus principalement par l'hydrodistillation. Parmi ceux-ci, on peut mentionner l'heptane, la paraffine dans l'huile de Camomille, des acides des esters acyliques (Naouel, 2015).

1.4. Domaines d'utilisation des huiles essentielles

La phytothérapie joue un rôle important dans la médecine traditionnelle algérienne, en particulier, et elle a gagné en popularité en tant que traitement de nombreuses maladies, y compris le rhumatisme, le diabète et même les maladies incurables.

Les HEs ont des propriétés médicinales nombreuses et variées. Leur composition détermine leur activité biologique, ce qui les distingue également des médicaments "classiques". La médecine moderne utilise également les HEs, notamment certains de leurs composants actifs, qui sont couramment utilisés dans les domaines pharmaceutiques et médicaux, tels que le thymol reconnu pour ses propriétés antiseptiques largement utilisés pour le traitement dentaire.

Les molécules aromatiques agissent directement ou indirectement sur l'organisme : le composé principal cible généralement un trouble précis, alors que les composés secondaires agissent en synergie pour optimiser l'état général du patient, y compris la réduction du stress, de la fatigue et de certains déséquilibres fonctionnels (Belkhodja, 2016).

En outre, Un grand nombre d'HEs possèdent des propriétés analgésiques et anti-inflammatoires, justifiant leur recours courant dans la gestion des douleurs et des affections

Les huiles essentielles

inflammatoires articulaires. Elles aident aussi à renforcer les défenses immunitaires et ont des caractéristiques cytophylactiques, c'est-à-dire qu'elles protègent les cellules. De plus, certaines HEs, comme celles de la nigelle et de la mélisse officinale montrent des propriétés anti-tumorales et font l'objet d'études pour leur possible contribution à la prévention de divers types de Cancers **(Naouel, 2015)**.

***Chapitre II. Activité
antimicrobienne des huiles
essentielles***

II. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

La majorité des HEs présentent des caractéristiques antimicrobiennes plus ou moins marquées du fait de leur nature lipophile (**Bouaraba, 2017**).

Selon **Smith-Palmer et al (2001)**, les HEs exercent généralement un effet bactéricide plus important sur les bactéries à Gram positif que sur les bactéries à Gram négatif. Ces dernières sont dotées d'une membrane externe qui leur confère une imperméabilité vis-à-vis des substances lipophiles. D'après **Cristiani et al (2007)**, cette imperméabilité est attribuée à la composition riche en lipo-polysaccharides de cette membrane, lui conférant une hydrophilie accrue, ce qui empêche ainsi l'adhésion des composés hydrophobes tels que les terpènes.

Par ailleurs, plusieurs HEs ont démontré une activité antifongique importante comme les HEs de thym, de sarriette et de clou de girofle, ayant démontré une activité antifongique « *in vitro* » contre *Aspergillus flavus* (**Omidbeygi et al., 2007**). De même, les HEs d'*Eucalyptus saligna* et d'*Eucalyptus camaldulensis* ont démontré une efficacité contre *Phaeoramularia angolensis* (**Jaset-dongmo et al., 2008**).

2.1. Mode d'action des huiles essentielles

L'activité antimicrobienne des HEs est principalement liée à leur capacité à altérer la structure et la fonction des membranes cellulaires (**Naouel, 2015**). En effet, leur nature lipophile leur permet de pénétrer dans la bicouche phospholipidique de la membrane bactérienne, entraînant une modification de la perméabilité membranaire, ce qui perturbe les mécanismes de transport ionique, le transfert d'électrons et inhibe la croissance (**Sikkema et al., 1995 ; Chami, 2005 ; Oussalah et al., 2006 ; Souza et al., 2006**).

Certains constituants des HEs, en particulier les phénoliques, interfèrent avec des protéines membranaires des microorganismes, comme l'ATP_{ase}. Cette action peut se faire par une interaction directe avec le segment hydrophobe de la protéine, soit par perturbation du transport des protons, empêchant ainsi la phosphorylation de l'ADP (**Naouel, 2015**).

Les HEs sont aussi capables d'inhiber des processus vitaux comme la décarboxylation des acides aminés et la synthèse du matériel génétique, entraînant ainsi une inhibition du développement microbien, voire un blocage des fonctions métaboliques (**Naouel, 2015**).

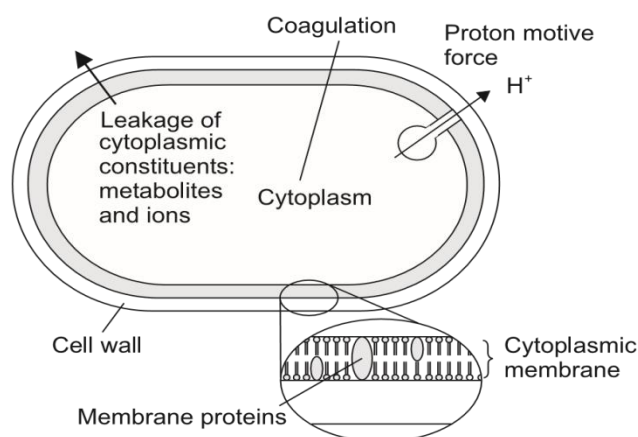


Figure 3: Localisations et Mécanismes d'action des composants des HEs au sein de la cellule bactérienne

Des recherches supplémentaires ont été menées sur le lien entre la présence de citral (mélange des isomères néral et géraniol) dans l'écorce des fruits d'agrumes et l'inhibition de *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* et *Geotrichum candidum*, principales moisissures à l'origine de la contamination des agrumes (Wuryatmo *et al.*, 2003).

Cette inhibition est causée par la présence d'un groupe carbonyle dans les aldéhydes α , β -insaturés ; le néral et le géraniol sont inclus. Celui-ci polarise positivement le carbone β , permettant à l'aldéhyde de fonctionner comme un agent direct d'alkylation capable de se lier aux groupements nucléophiles cellulaires (Cosentino *et al.* 1999).

Partie
Expérimentale

Chapitre III. Matériel et Méthodes

III. Matériel et méthodes

3.1. Récolte du matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des espèces suivantes : *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus*, *Jasonia tuberosa*. Les parties aériennes ont été récoltéessur des plantes en pleine floraison. Les extractions ont été réalisées au sein du laboratoire LAMAABE Université de Tlemcen en utilisant de la matière végétale fraîche.

Tableau 1 : Espèces végétales étudiées.

Espèce	Nom commun	Station
<i>Artemisia herba-alba</i> , (<i>A. herba-alba</i>)	الشيخ	Ourdania Oulhaça El Gheraba
<i>Thymus coloratus</i> (<i>T.coloratus</i>)	الزعر	Ain Kihal
<i>Jasonia tuberosa</i> (<i>J.tuberosa</i>)	الجاسونيا الدرنية	Maghnia Tlemcen

3.2. Extraction de l'huile essentielle

Les HEs étudiées ont étéfournies par Mr.BENBELAID Fethidurant le mois de février 2026. Les extractions ont été réalisées en utilisant la méthode d'hydrodistillation avec un appareil de typeClevenger (**Figure 04**).

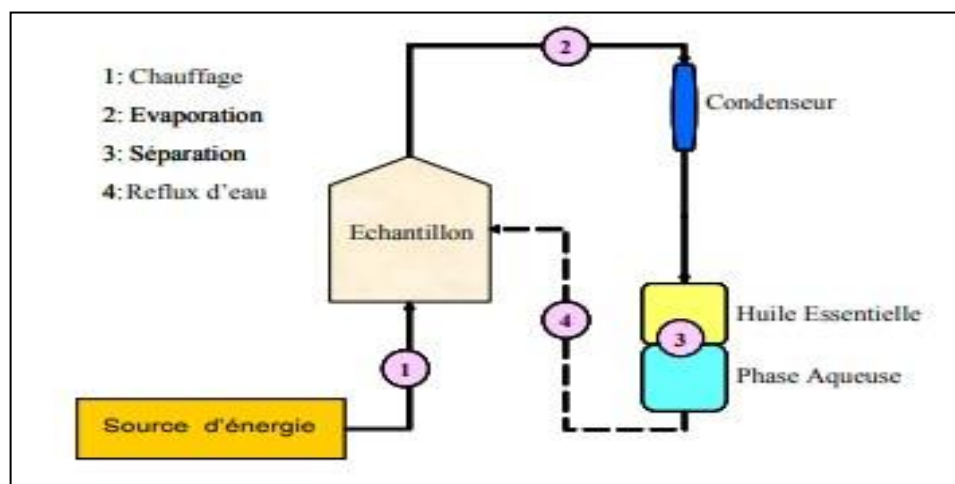


Figure 4 : Schéma du montage d'hydrodistillation (Bousbia, 2011).

Cette technique consiste à immerger le matériel végétal dans un bain d'eau, puis ramener l'ensemble à l'ébullition sous pression atmosphérique. Afin d'assurer une extraction homogène à une vitesse constante, le chauffage est optimisé. La vapeur chargée en HE est ensuite dirigée vers un condenseur où elle se condense. Le processus d'extraction prend environ 3 heures jusqu'à ce que l'HE soit entièrement récupérée. Celle-ci subit naturellement une séparation en raison des différences de densité et de couleur, puis elles sont récupérées par décantation (Bousbia, 2011 ; Boukhatem *et al.*, 2019).

3.3. Conservation des huiles essentielles

Après récupération, les HEs ont été déshydratées à l'aide de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) (Boukhatem *et al.*, 2019) puis conservées dans des cuves sombres à 4 °C et à l'abri de la lumière et de l'oxygène (Reine *et al.*, 2021).

3.4. Description des souches microbiennes étudiées

Dans cette étude, sept souches microbiennes ont été utilisées. Ces souches représentent différents types de micro-organismes (5 souches bactériennes et 2 souches fongiques). Ces souches ont été fournies par Mr. BENBELAID Fethi.

Tableau 2: Liste des souches microbiennes testées.

Microorganisme	Souche	Abréviation
Bactéries Gram (+)	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	(<i>S. aureus</i>)
	<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	(<i>E. faecalis</i>)
Bactéries Gram (-)	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	(<i>E. coli</i>)
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 70603	(<i>K. pneumoniae</i>)
	<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 35659	(<i>P. mirabilis</i>)
Champignons	<i>Candida albicans</i> ATCC 10231	(<i>C. albicans</i>)
	<i>Candida kefyr</i> ATCC 66028	(<i>C. kefyr</i>)

3.4.1. Revivification des souches

Les souches ont été revivifiées par ensemencement dans des tubes contenant 5 ml de milieu BHIB (Brain Heart Infusion Broth), à l'aide d'une anse de platine. Les tubes ont ensuite incubés à 37 °C pendant une durée de 24 heures. La revivification a été attestée par l'apparition d'un trouble du milieu, signalant ainsi une croissance microbienne.

3.4.2. Purification des souches

L'absence de contamination des souches a été confirmée en ensemencant les inoculas des souches revivifiées dans des milieux de culture sélectifs selon la méthode d'épuisement. Les milieux de cultures utilisées sont les suivantes :

- Gélose MacConkey pour *Escherichia coli* ; *Klebsiella pneumoniae*; *Proteus mirabilis*
- Gélose Chapman : *Staphylococcus aureus*
- Bile Esculine Azide (BEA) : *Enterococcus faecalis*
- Gélose sabouraud : *Candida albicans* ; *Candida kefyr*

3.5. La méthode de diffusion sur disque « Aromatogramme »

L'activité antimicrobienne des souches a été estimée en utilisant la méthode de l'aromatogramme. Cette technique correspond à une méthode de mesure *in vitro* permettant d'apprécier l'activité antimicrobienne des HEs. Elle est analogue à l'antibiogramme, sauf que les antibiotiques y sont substitués par des HEs (Kaloustian *et al.*, 2008).

3.5.1. Préparation de l'inoculum

Les suspensions microbiennes ont été standardisées à 10^8 UFC/ml selon les recommandations de l'Institut (CLSI). Après incubation pendant 18 heures à 37° C, les suspensions sont ajustées pour atteindre une turbidité standard de 0,5 Mcfarland, ce qui correspond à une densité optique de [0,08-0,13] avec une longueur d'onde de 625 nm (CLSI, 2012).

3.5.2. Protocole

L'activité antimicrobienne des HEs a été évaluée en utilisant la méthode de diffusion sur gélose Muller-Hinton. Des boîtes de pétri contenant la gélosé Muller-Hinton ont été inoculées à l'aide d'un écouvillon avec de la suspension microbienne de 10^8 UFC /ml préparée au préalable. Des disques stériles de papier filtre de 6 mm de diamètre ont été imprégnés de 5 µl d'HE et déposés sur la surface des boîtes ensemencées. Par la suite, les boîtes ont été placées en incubation à 37°C pendant 24 h.

L'évaluation de la sensibilité des souches microbiennes aux différentes HEs a été réalisée en mesurant les diamètres des zones d'inhibition (en mm) qui apparaissent autour des disques Ø, y compris le diamètre du disque (6mm) (Hayes et Markovic, 2002 ; Djenane *et al.*, 2011) :

$\varnothing < 8 \text{ mm}$: pas sensible ; $9 < \varnothing < 14 \text{ mm}$: légèrement sensible

$15 < \varnothing < 19 \text{ mm}$: très réactif ; $\varnothing > 20 \text{ mm}$: hautement réactif

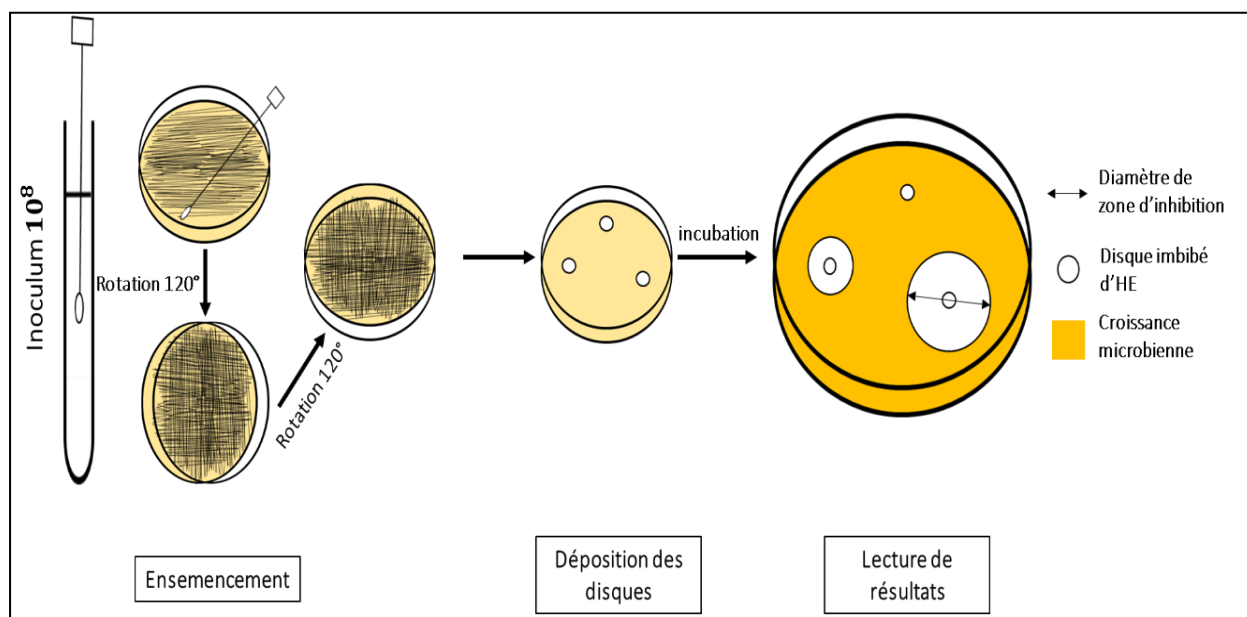


Figure 5: Protocole d'aromatogramme des huiles testées.

3.6. Détermination de la concentration minimale inhibitrice CMI

La concentration minimale inhibitrice (CMI) correspond à la concentration la plus faible d'HE susceptible d'arrêter la croissance de 90% de la population microbienne (**Chebaibi et al., 2016**). Dans cette recherche, la concentration minimale inhibitrice (CMI) a été déterminée par la technique de microdilution en utilisant une microplaque de 96 puits (**Aouni et al., 2013**).

3.6.1. Préparation de l'inoculum

L'inoculum a été préparé à partir de la suspension microbienne standardisée à 10^8 UFC/ml qui avait été incubée auparavant. Une colonie a été prélevée puis ensemencée dans le même milieu BHIB afin d'obtenir une densité équivalente à 10^6 UFC/mL.

3.6.2. Protocole

Chaque HE a été successivement dilué 10 fois à partir d'une solution initiale de 500 µl contenant 200 µl d'HE, mélangée avec 5 µl de Tween 80 et 295 µl de BHIB, grâce à des dilutions en série de moitié. Dans des tubes d'hémolyse stériles, on prépare un mélange de bouillon BHIB et de Tween 80 à 1% (dilution de 250 µl), visant à obtenir des concentrations allant de 40 % à 0.156 %, tout en gardant une concentration constante de Tween 80 à 1%.

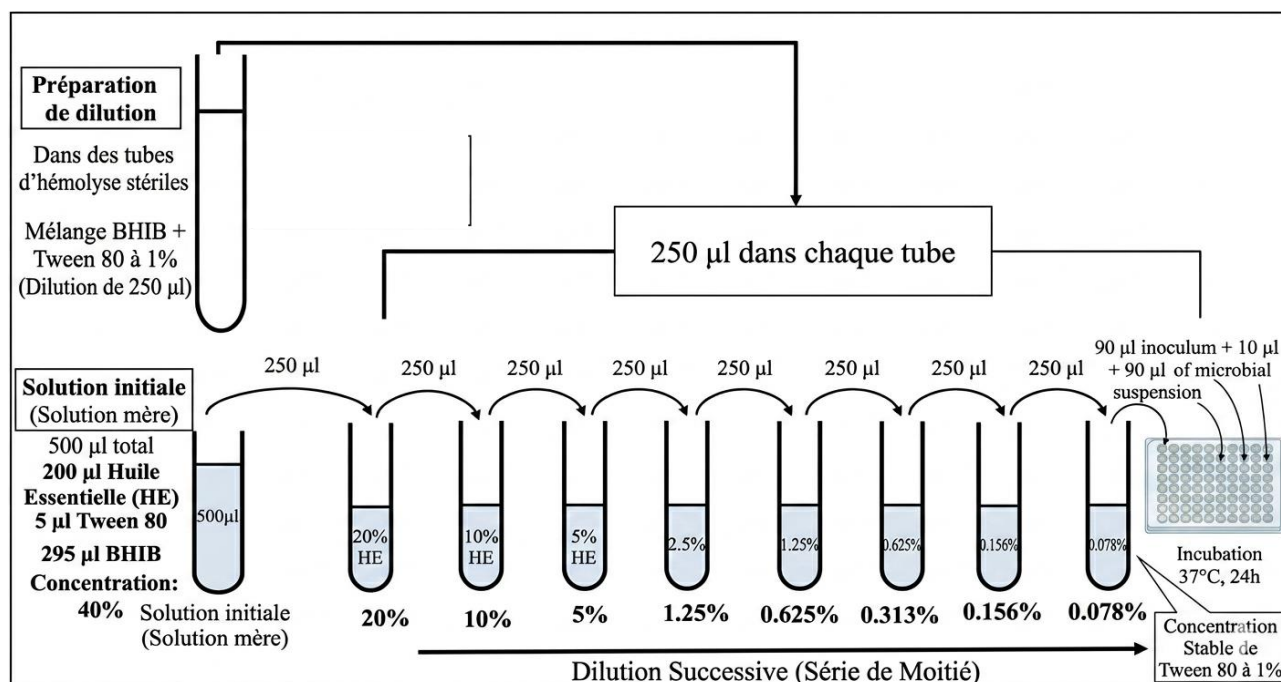


Figure 6: Préparation de la série des dilutions des HEs

Par la suite, quatre microplaques sont mises en œuvre (deux pour chaque HE), dans lesquelles 90 µl de suspension microbienne à 10^6 UFC/ml est déposé avec 10 µl de chaque concentration (une rangée de puits pour chaque souche). Par conséquent, les concentrations des HEs dans la microplaque varient de 4% à 0.008%. Suite à une incubation des microplaques à 37°C durant 24 heures (Yakhlef *et al.*, 2011).

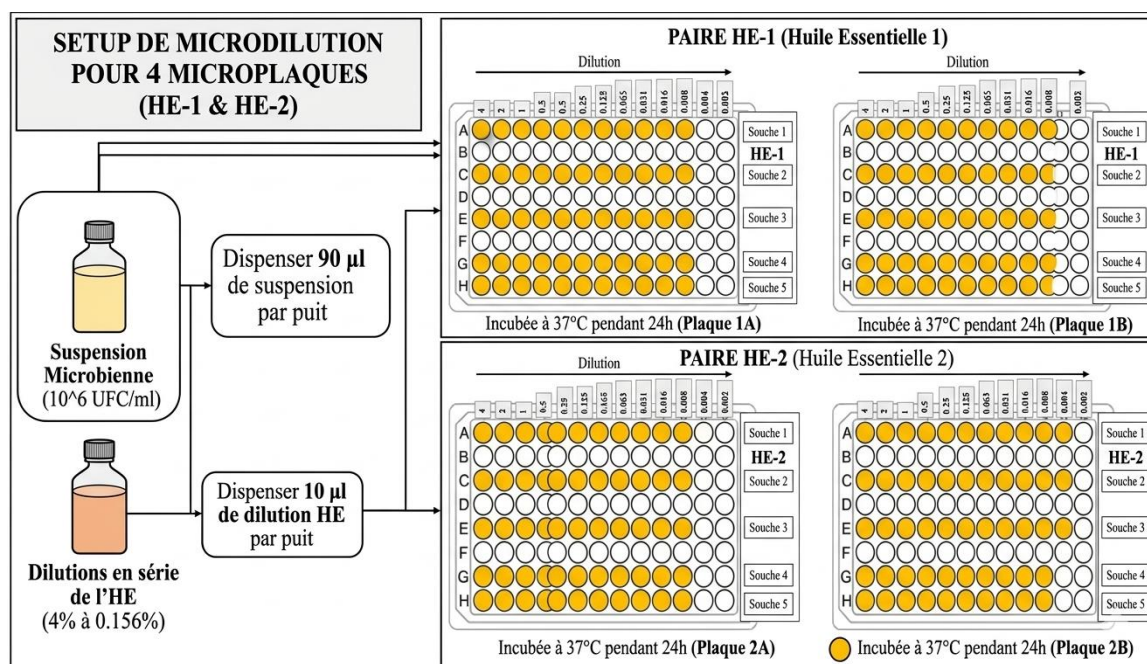


Figure 7: Préparation des microplaques.

3.7. Détermination de CMB et CMF

La concentration minimale bactéricide (CMB) et la concentration minimale fongicide (CMF) représentent la plus faible concentration en HE capable d'éliminer plus de 99,9% de l'inoculum initial ce qui correspond à moins de 0,1 % de survivant. Elle précise l'action antibactérienne ou antifongique d'une HE (Chebaibi *et al.*, 2016).

Cette méthode implique le transfert de la suspension bactérienne, des puits où aucune prolifération bactérienne n'est visible, puis on les dispose « en strie » sur un milieu gélosé Mueller-Hinton. Les boîtes contenant des échantillonsensemencés sont placées en incubation pendant 24 heures à une température de 37°C. Le taux de l'HE (% v/v) est établie à partir de la première boîte exempte de germe bactérienne (Chebaibi *et al.*, 2016).

Chapitre IV.

Résultats et Discussion

IV. Résultats et discussion

4.1. Composition chimique des HEs étudiée

L'analyse de la composition chimique par chromatographie en phase gazeuse des HEs étudiées met en évidence une variabilité importante de la composition chimique ce qui reflète un polymorphisme chimique.

Tableau 3: Composition chimique des HEs étudiées en %.

Composition	nRI	pRI	<i>Artemisia herba-alba</i> %	<i>Jasonia tuberosa</i> %	<i>Thymus coloratus</i> %
<i>alpha</i> -Pinène	931	1022			5
Camphène	943	1066	5		9
Myrcène	979	1159			8
<i>para</i> -Cymène	1011	1268			5
Limonène	1020	1199			5
1,8-Cinéole	1020	1209	12		
<i>alpha</i> -Thujone	1097	1395	11		
<i>beta</i> -Thujone	1103	1422	5		
Camphre	1123	1517	37		20
Bornéol	1148	1698		29	9
Terpinèn-4-ol	1161	1600		5	
Acetate de Bornyl	1268	1574		5	
<i>beta</i> -Bisabolol	1653	2134		37	

L'HE d'*Artemisia herba-alba* (AHA) est dominé principalement par le camphre 37%, suivi du 1,8-cineole 12%, et d' α -Thujone 11%, indiquant un profil riche en composés mono terpéniques. En comparaison avec les données de la littérature, Cette huile est généralement caractérisée par une richesse en monoterpènes, en particulier en monoterpènes oxygénés dominés par le 1,8-cinéole contrairement à nos résultats qui montrent un profil différent, marqué par une prédominance nette decamphre. Cette variation met en évidence un polymorphisme chimique important au sein de l'espèce, souvent associés à des variations des activités biologiques, notamment antimicrobiennes, et lié aux facteurs environnementaux et géographiques (Dmour *et al.*, 2024).

Concernant l'HE de *Jasonia tuberosa* (JAZ), elle se caractérise par une forte teneur en β -Bisabolol (37%) et en bornéole (29%), avec des quantités plus faibles de terpinen-4-ol et d'acétate de bornyle. Cette composition suggère une dominance de composés présentant des activités potentielles anti-inflammatoires et antimicrobiennes. En raison du manque d'études scientifiques portant spécifiquement sur cette HE, la comparaison a été réalisée avec des espèces appartenant au même genre (*Jasonia spp*). Ces espèces sont généralement caractérisées par une richesse en composés oxygénés tels que le camphre, le bornéol et le 1,8-cinéole, identifiés comme constituants majeurs dans plusieurs études. Par ailleurs, certaines variations de composition ont été observées entre espèces proches (El-Bsoumy *et al*, 2021 ; Baraich *et al*, 2026).

L'HE de *Thymus coloratus* (THC) présente un profil chimique différent, dominé par le camphre 20%, le camphène 9%, le myrcène 8% et le bornéol 9%, avec également la présence d' α -pinène et de limonène. Cette composition indique une richesse en monoterpènes hydrocarbures et en composés oxygénés, contribuant à ses propriétés biologiques. En comparant nos résultats avec ceux de Benomari *et al.* (2020), ils se révèlent similaires car l'HE est dominé par les mêmes composés chimiques, notamment le camphre, le camphène, bornéole et le myrcène. La présence de ces composés confirme la prédominance de ces classes chimiques, comme cela a été documenté dans la littérature. Cependant, on note des différences quantitatives, en particulier une présence notable de bornéole, camphre par rapport à l'étude de référence où ces composés dominent. En outre, 1,8-cinéole, mentionné comme étant un élément majeur, n'est pas présent dans notre échantillon.

En conclusion, les variations observées dans la composition chimique des HEs étudiées confirment l'existence d'un polymorphisme chimique influencé par les conditions environnementales, l'origine géographique ainsi que la méthode d'extraction. Ces différences qualitatives et quantitatives en composés bioactifs peuvent moduler significativement les propriétés biologiques des HEs.

4.2. Résultats d'aromatogramme

L'activité antimicrobienne des HEs a été évaluée par la technique de diffusion sur gélose « Aromatogramme », en mesurant les diamètres des zones d'inhibition exprimés en mm.

Tableau 4: Résultats des zones d'inhibition en mm

Microorganismes	Huiles essentielles					
	<i>Artemisia. herba-alba</i>		<i>Thymus coloratus</i>		<i>Jasonia tuberosa</i>	
	Ø	Int	Ø	Int	Ø	Int
<i>S. aureus</i>	27	S	20	S	18	S
<i>E. faecalis</i>	20	S	16	S	7	R
<i>E. coli</i>	9	S	7	R	–	R
<i>K. pneumonia</i>	12	S	10	S	–	R
<i>P. mirabilis</i>	17	S	10	S	–	R
<i>C. albicans (c)</i>	19	S	10	S	–	R
<i>C. kefyr(CKF)</i>	18	S	9	S	7	R

Int : interprétation, R : résistant, S : sensible, - : non déterminé, Ø : diamètre

Selon les résultats obtenus, les trois HEs testées ont présenté des activités antimicrobiennes variables selon les souches étudiées. L'HE d'*Artemisia herba-alba* a montré la meilleure activité, avec des diamètres d'inhibition compris entre 9 et 27 mm, indiquant une forte sensibilité de la majorité des souches, notamment *Staphylococcus aureus* (27mm) et *Enterococcus faecalis* (20 mm). L'HE de *Thymus coloratus* présente une activité modérée, avec des zones d'inhibition variant entre 7 et 20 mm, traduisant une efficacité variable selon les microorganismes. Certaines souches comme *E.coli* montrent une faible sensibilité (7mm). En revanche, l'HE de *Jasonia tuberosa* est la moins active, avec des diamètres faibles ou nuls (-), indiquant une résistance de plusieurs souches, notamment *E. coli*, *K.pneumoniae* et *P.mirabilis*.

Globalement, la sensibilité des microorganismes suit l'ordre décroissant suivant : *Artemisia herba-alba* > *Thymus coloratus* > *Jasonia tuberosa*.

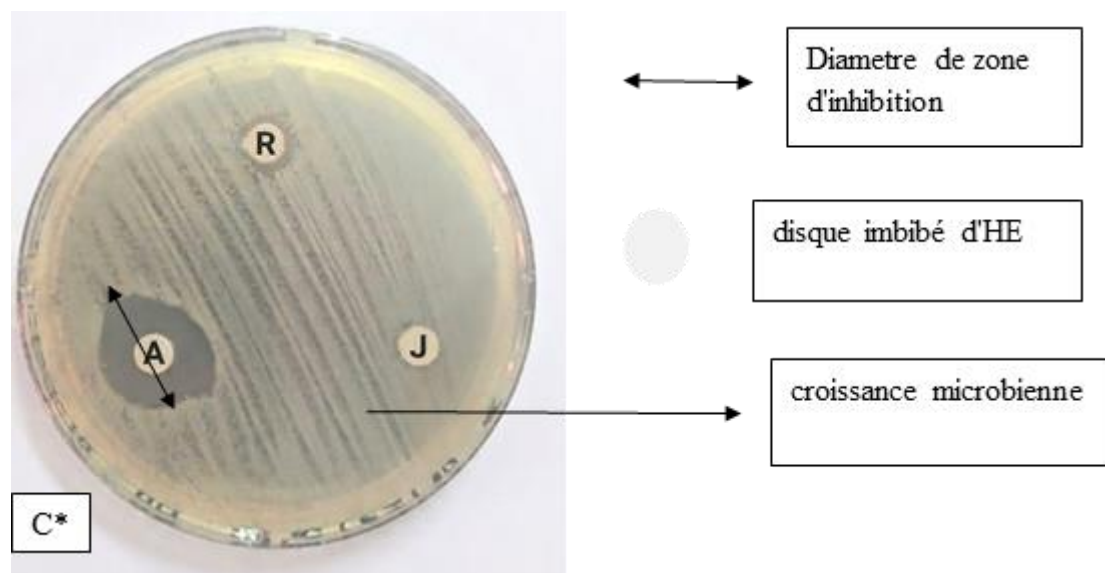


Figure 8: Diamètre des zones d'inhibition des HEs testées A : *Artemisia herba-alba*, J : *Jasonia tuberosa*, R : *Thymus coloratus* vis-à-vis l'espèce *Candida albicans*

Les résultats obtenus avec l'HE d'*Artemisia herba-alba* sont globalement en accord avec ceux rapportés par **Bouzeghaya et al. (2017)**, où l'HE d'armoise (*Artemisia herba-alba*) a montré une activité antimicrobienne plus importante contre *Staphylococcus aureus* que contre *Escherichiacoli*. Cette similitude confirme que les bactéries à Gram positif sont généralement plus sensibles aux HEs que les bactéries à Gram négatif. Cette différence de sensibilité peut s'expliquer par des facteurs structuraux. En effet, la paroi des bactéries à Gram positif, comme celle de *Staphylococcus aureus*, est constituée principalement de peptidoglycane, ce qui facilite la diffusion des composés hydrophobes des HEs. En revanche, *Escherichiacoli*, bactérie à Gram négatif, possède une membrane externe riche en lipopolysaccharides qui agit comme une barrière limitant la pénétration des molécules actives, ce qui explique sa résistance relative (**Dorman et Deans, 2000**). Ainsi, la concordance entre nos résultats et ceux de la littérature confirme le potentiel antimicrobien significatif de cette HE, en particulier contre les bactéries à Gram positif.

La recherche menée par **Hessas et Simoud (2018)** a démontré que l'HE de *Thymus coloratus* présente une action antimicrobienne notable sur un large spectre de microorganismes. Lorsqu'on compare nos résultats concernant les souches examinées (*Staphylococcus aureus*,

Escherichia coli et *Candida albicans*) avec ceux mentionnés dans cette recherche, on constate que les diamètres des zones d'inhibition sont remarquablement supérieurs, dépassant les 32 mm et pouvant atteindre 50 mm. Cet écart peut s'expliquer par la grande quantité utilisée par les chercheurs (500 µl de l'huile / disque) par rapport à notre travail (5µl de HE/disque).

Les données de la littérature concernant l'activité antimicrobienne des HEs du genre *Jasonia* restent encore limitées. L'étude de **Hammerschmidt et al(1993)** a montré une activité antimicrobienne faible à modérée des HEs de *Jasonia candicans* et *Jasonia montana*. En comparaison avec nos résultats obtenus sur *Jasonia tuberosa* vis-à-vis les souches étudiées (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Candida albicans*), on observe des diamètres des zones d'inhibition globalement plus faibles que ceux rapportés dans notre étude, notamment de *Staphylococcus aureus* 18 mm selon les microorganismes et les composés testés. Cette variation peut être attribuée principalement aux différences de composition chimique des HEs entre les espèces du genre *Jasonia*, ainsi qu'aux concentrations utilisées dans l'étude de référence (20 mg/ml pour les HEs) par rapport à celles appliquées dans notre travail. Elle peut également s'expliquer par un effet synergique plus marqué des HEs totales utilisées dans la littérature, contrairement à une activité plus modérée observée pour *Jasonia tuberosa* dans nos conditions expérimentales.

4.3. Détermination des CMI

La concentration minimale inhibitrice (CMI) des HEs étudiées a été déterminée par la méthode de microdilution en milieu liquide. Il s'agit d'une technique quantitative permettant d'identifier la plus faible concentration capable d'inhiber la croissance des microorganismes. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau.

Tableau 5: Concentrations minimales inhibitrices de la croissance (%).

Microorganisme	Huiles essentielles	
	<i>Artemisia herba-alba</i>	<i>Jasonia tuberosa</i>
<i>S. aureus</i>	1.25	—
<i>E. faecalis</i>	1.25	—

<i>E. coli</i>	5	—
<i>K. pneumoniae</i>	10	—
<i>P. mirabilis</i>	2.5	—
<i>C. albicans (C)</i>	10	—
<i>C. Kefyr (CKF)</i>	2.5	—

— : non déterminée

Les résultats de la CMI montrent que l'activité antimicrobienne des HEs varie selon la nature de l'HE et le microorganisme testé. L'HE d'*Artemisia herba-alba* présente une activité inhibitrice importante, avec des valeurs de CMI comprises entre 1.25 et 5 %. Les plus faibles CMI observées étaient vis-à-vis *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis* (CMI=1,25%) indiquant une forte sensibilité de ces souches. En revanche, des valeurs plus élevées (CMI= 10%) ont été observées pour *Klebsiella pneumoniae* et *Candida albicans* traduisant une sensibilité modérée.

Cependant, aucune CMI n'a été déterminée pour l'HE de *Jasonia tuberosa*, ce qui indique une absence d'activité inhibitrice significative aux concentrations testées. Ainsi, l'HE d'*Artemisia herba-alba* apparaît donc comme la plus active et possède un fort potentiel antimicrobien, tandis que *Jasonia tuberosa* est considérée comme inactive dans ces conditions expérimentales.

La comparaison des résultats obtenus avec ceux des travaux d'**Aouchiche et al (2013)**, montre des différences, notamment vis-à-vis *Candida albicans*, pour laquelle une sensibilité plus marquée a été observée. Cette variation peut s'expliquer par la diversité chimique des HEs, influencée par les conditions expérimentales. En revanche, les CMI obtenues contre *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* restent comparables à celles rapportées par **Aouchiche et al (2013)**, suggérant une réponse similaire avec des valeurs de CMI faibles, confirmant une certaine stabilité de l'activité antimicrobienne vis-à-vis de ces souches.

Les recherches concernant le genre *Jasonia* demeurent limitées en ce qui concerne la détermination de la concentration minimale inhibitrice. Selon **Valero et al. (2013)**, il existe un manque de données pharmacologiques quantitatives sur *Jasonia*, ce qui confirme la rareté des

études déterminant la CMI. La majorité des recherches, y compris celle de **Hammerschmidt *et al* (1993,)** se sont focalisés sur l'activité antimicrobienne qualitative sans établir les concentrations minimales inhibitrices. Cela s'explique notamment par la nature hydrophobe des HEs, qui rend la détermination des CMI en milieu liquide plus difficile.

4.4. Détermination de CMB et CMF

Ce paramètre qui permet d'évaluer l'effet antifongique ou antibactérien des HEs analysées. Dans cette étude, la concentration minimale bactéricide (CMB) et la concentration minimale fongicide (CMF) ont été déterminées pour les HE ayant inhibé la croissance des souches examinées à une concentration de 10 % ou moins. Les résultats de ce test sont affichés dans le Tableau.

Tableau 6: Concentrations minimales bactéricides (CMB) et fongicide (CMF)

Microorganisme		<u>Huiles essentielles</u>	
		<i>Artemisia herba-alba</i>	<i>Jasonia tuberosa</i>
<i>S. aureus</i>	CMI	1.25	
	CMB	10	/
	CMB/CMI	8	
<i>E. faecalis</i>	CMI	1.25	
	CMB	--	/
	CMB/CMI	--	
<i>E. coli</i>	CMI	5	
	CMB	10	/
	CMB/CMI	2	
<i>K. pneumoniae</i>	CMI	10	
	CMB	--	/
	CMB/CMI	--	
<i>P. mirabilis</i>	CMI	2,5	
	CMB	10	/
	CMB/CMI	4	

<i>C. albicans</i> (C)	CMI	10	/
	CMF	--	
	CMF/CMI	--	
<i>C. Kefyr</i> (CKF)	CMI	2,5	/
	CMF	20	
	CMF/CMI	8	

– : non déterminée

Le rapport CMB/CMI et CMF/CMB permet de définir l'effet bactériostatique ou bactéricide et/ou fongicide. Lorsque ce rapport est inférieur à 4, l'HE est considérée comme bactéricide (**Chebaibi et al., 2016**).

D'après les résultats obtenus, basés sur les rapports CMB/CMI et CMF/CMI, une activité antimicrobienne significative de L'HE d'*Artemisia herba-alba* a été mise en évidence selon les souches étudiées. En effet, un effet bactéricide a été observé vis-à-vis des bactéries à Gram négatif, dont *E.coli* (CMB/CMI=2) et *P.mirabilis* (CMB/CMI= 4) supérieur à celle des bactéries à Gram positif, traduisant la capacité de cette huile à éliminer ces bactéries.

En revanche, un effet bactériostatique a été noté uniquement pour *S.aureus* (CMB/CMI = 8), indiquant une inhibition de la croissance sans destruction complète des cellules bactériennes. Pour *E.faecalis* et *K.pneumoniae*, l'absence de détermination de la CMB suggère une faible sensibilité ou une résistance aux concentrations testées.

Par ailleurs, aucune valeur n'a été déterminée pour l'HE de *Jasonia tuberosa*, ce qui confirme son inefficacité antimicrobienne dans les conditions expérimentales.

Ces résultats montrent que l'HE d'*Artemisia herba-alba* possède une activité antimicrobienne variable selon les souches, avec un effet bactéricide sur certaines bactéries à Gram négatif et un effet bactériostatique sur d'autres microorganismes, tandis que *Jasonia tuberosa* apparaît comme inactive.

Conclusion

Le présent travail a évalué l'activité antimicrobienne de trois HEs locales : *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus* et *Jasonia tuberosa* sur divers microorganismes, dont deux souches à Gram positif (*Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis*), trois souches à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*) ainsi que deux levures (*Candida albicans* et *Candida kefyr*). Le potentiel antimicrobien a été évalué par la méthode de l'aromatogramme, la détermination des concentrations minimales inhibitrices CMI et des concentrations minimales bactéricides /fongicide (CMB/CMF).

Les analyses chimiques ont mis en évidence un polymorphisme marqué entre les HEs étudiées. Chaque huile présente un profil chimique distinct, dominé principalement par des monoterpènes hydrocarbures et oxygénés (camphre, 1,8-cinéole, bornéol...). Ces variations de composition chimique justifient en grande partie les différences d'activités biologiques observées.

Parmi les trois HEs testées, l'huile d'*Artemisia herba-alba* a démontré la meilleure activité antimicrobienne *in vitro*, avec des zones d'inhibition importantes (jusqu'à 27mm), des CMI de 1,25 et 5 % selon les souches, ainsi que des rapports CMB/CMI indiquant un effet bactéricide contre plusieurs souches, notamment certaines Gram négatif. *Thymus coloratus* a montré une activité modérée et variable, tandis que *Jasonia tuberosa* s'est révélée peu active aux concentrations testées. Ces résultats confirment la tendance générale décrite dans la littérature, selon laquelle les HEs présentent souvent une meilleure efficacité contre les bactéries à Gram positif que contre certaines bactéries à Gram négatif, en raison des barrières structurales de ces dernières.

Les observations expérimentales et les comparaisons mettant en évidence plusieurs points importants : la composition conditionne fortement l'activité antimicrobienne, des effets possibles entre constituants peuvent renforcer l'action biologique des huiles totales et les paramètres d'extraction, de conservation...etc.

En conclusion, les HEs étudiées et plus particulièrement celle d'*Artemisia herba-alba* constituent une source naturelle prometteuse d'agents antimicrobiens *in vitro*, susceptible d'apporter des alternatives ou des adjuvants face à la montée de la résistance aux antibiotiques. Toutefois, avant toute application thérapeutique ou industrielle, des études complémentaires plus approfondies sont nécessaires.

Références
Bibliographiques

- Aouchiche, M., Kechkar, I et Zaouani, M. 2013. Extraction et évaluations de l'activité antibactérienne et cicatrisante de l'huile essentielle *d'Artemisia herba alba* (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure Vétérinaire).
- Aouni, M., Pelen, F., et Soulimani, R. 2013. Étude de l'activité antimicrobienne d'un mélange de 41 huiles essentielles et domaines d'application. *Phytothérapie*, 11(4), 225-236.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D et Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- Baraich, A., Elbouzidi, A., Haddou, M., Taibi, M., Sadougui, I., Bayad, E. M..., et Saalaoui, E. 2026. Phytochemical and pharmacological elucidation of *Jasonia glutinosa* (L.) fourr. Essential oil: a promising therapeutic source against inflammation and cancer. *Medical Oncology*, 43(3), 149.
- Belkhodja, H.2016. Effet des biomolécules extraites à partir de différentes plantes de la région de Mascara : Evaluation biochimique des marqueurs d'ostéoarticulation et de l'activité biologique. These de doctorat LMD 3ème cycle en Sciences Biologiques.p32-33-38.
- Benayad, N. 2013 .Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines : Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse.
- Benomari, F, Z., Djabou, N., Moumani, M., Hassani, F., Muselli, A et Costa, J. 2020. Chemical variability of essential oils of three subspecies of *Thymus munbyanus* Boiss. Et Reut. From Western Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 32(5), 474-484.
- Bouaraba, K. 2017. Activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de *géranium* sur la conservation de la saucisse (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- BOUKHATEM, M, N., FERHAT, A ET KAMELI, A.2019. Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : Revue de littérature. *Revue Agrobiologia* (2019) 9(2): 1653-1659.
- Bousbia, N.2011. Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de coproduits agroalimentaires.Thèse de doctorat en chimie. Autre. Université d'Avignon; Institut national agronomique (El Harrach, Algérie).

- Bouzeghaya, A., Kiboua, M., Merkantia, A et Yahiaoui, F. 2017. Contribution à l'évaluation de l'activité antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle et du décocté d'*Artemisia herba alba* (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure Vétérinaire).
- Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
- Chami, F. 2005. Evaluation *in vitro* de l'action antifongique des huiles essentielles d'origan et de girofle et de leurs composés majoritaires *in vivo* application dans la prophylaxie et le traitement de la Candidose Vaginale sur des modèles de rat et de souris immunodéprimés. Thèse de doctorat.
- Chebaïbi, Z., Marouf, F., Rhazi-Filali, M., Fahim, A et Ed-Dra, A. 2016. Évaluation du pouvoir antimicrobien des huiles essentielles de sept plantes médicinales récoltées au Maroc. *Phytothérapie*. ; 14(6), 355-362.
- CLSI. 2012. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically; Approved Standard. Clinical and Laboratory Standards Institute. 63. P.
- Cosentino, S. C. I. G., Tuberoso, C. I. G., Pisano, B., Satta, M. L., Mascia, V., Arzedi, E., & Palmas, F. 1999. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian thymus essential oils. *Letters in applied microbiology*, 29(2), 130-135.
- Couic-Marinière, F., et Lobstein, A. 2013. Composition chimique des huiles essentielles. *Actualités pharmaceutiques*, 52(525), 22-25.
- Cristani, M., D'Arrigo, M., Mandalari, G., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Micieli, D., ... & Trombetta, D. 2007. Interaction of four monoterpenes contained in essential oils with model membranes: implications for their antibacterial activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(15), 6300-6308.
- Djenane, D., Lefsih, k., Yangüela, J et Roncalés, P. 2011. Composition chimique et activité anti-*Salmonella enteritidis* CECT 4300 des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, de *Lavandula angustifolia* et de *Satureja hortensis*. Tests *in vitro* et efficacité sur les œufs entiers liquides conservés à 7 ± 1 °C. *Phytothérapie*, 9(6) : 343–353
- Dmour, M, S , Ayesha, S, M, S , Saqr, A , Qaralleh, H, Alnaimat, M, S.....Almajali, I, S. 2024. Biological activities and chemical composition of essential oil isolated from *Artemisia herba-alba*. *Electronic Journal of General Medicine*. Modestum: 21 (1).
- Dorman, H, J, D et Deans, S, G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88p: 308-316.

- El-Bsoumy, E. A. E. F., Habib, E. S., Ibrahim, A. K et Ahmed, S. A. E. 2021. Phytochemical constituents and biological activities of *Jasonia Montana* (Asteraceae). *Records of Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 5(Pharmacognosy-Microbiology), 1-11.
- Figueredo, G. 2007. Etude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (*Lamiaceae*) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Hammer, K. A., Carson, C. F et Riley, T. V. 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86(6), 985-990.
- Hammerschmidt, F. J., Clark, A. M., Soliman, F. M., El-Kashoury, E. S. A., Abd El-Kawy, M. M et El-Fishawy, A. M. 1993. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Jasonia candicans* and *J. Montana*. *Planta medica*, 59(01), 68-70.
- Hayes, A., et Markovic, B. 2002. Toxicity of Australian essential oil *Backhousia citriodora* (Lemon myrtle). Part 1. Antimicrobial activity and in vitro cytotoxicity. *Food and Chemical Toxicology*, 40(4): 535-543.
- Hesses, T et Simoud, S. 2018. Contribution à l'étude de la composition chimique et à l'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Thymus sp.* Doctorat en pharmacie.
- Jasset, D, P, M., Tatsadjieu, N, L., Tchinda Sonwa, E., Kuate, J., Amvam Zollo, P, H et Menut, C. 2008. Antiradical potentiel and antifungal activities of essential oils of the leaves of *Eucalyptus saligna* and *E. camaldulensis* against *Phaeoramularia angolensis*. *African Journal of Biotechnology*, 7: p 4045-4050.
- Kalemba, D et Kunicka, A. 2003. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10(10), 813-829.
- Kaloustian, J., Chevalier, J., Mikaili, C., Martino, M., Aboul, L et Vergnes, M.-F. 2008. Etude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne. *Pharmacognosie .Phytothérapie* (2008) 6: 160–164.
- Lamamra, M. 2018. Activités biologiques et composition chimique des huiles essentielles d'*Ammiopsis aristidis* Coss. (Syn. *Daucus aristidis* Coss.) et d'*Achillea santolinoides* Lag (Doctoral dissertation).
- Lawrencet, B. M. 2001. Essential oils: from agriculture to chemistry. *International Journal of Aromatherapy*, 10(3-4), 82-98.

- Naouel, O. 2015 .Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre de fénouil et de persil. Thèse de Doctorat en chimie organique.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R. et De Feo, V. 2013. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474.
- Omidbeygi, M., Barzegar, M., Hamidi, Z et Naghdibadi, H. 2007. Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus flavus* in liquid medium and tomato paste. *Food control*, 18(12), 1518-1523.
- Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L et Lacroix M. 2006. Mechanism of action of Spanish oregano, Chinese cinnamon, and savory essential oils against cell membranes and walls of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 69 (5): p 1046-1055.
- Reine. R, R, A, S., Line, E, M., Sophie, A, A. 2021. Les huiles essentielles. Institut de la pharmacopée et de médecine traditionnelle. Libreville /Gabon.
- Romane, A., Harrak, R et Bahri, F. 2012. Use thyme essential oils for the prevention of salmonellosis. *Salmonella—A dangerous foodborne pathogen*. Editor Mahmoud, *BSM It ed., Published by InTech, Croatia*. Pp, 305-332.
- Sikkema, J.A.N, de Bont, J, A, M et Poolman, B.1995. Mechanism of membrane toxicity of hydrocarbon s. *Microbiol. Rev.*, 59 : p. 201–22
- Smith-Palmer, A., Stewart, J ET Fyfe, L. 2001. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiol.*, 18(4) : p 463–70
- Souza, E, L., Guerr, N, B., Stamford, T, L, M. et Lima, E, O. 2006. Spices: alternative sources of antimicrobial compounds to use in food conservation. *Rev. Bras. Farm.*, 87 (1): p 22-25.
- Valero, M. S., Berzosa, C., Langa, E., Gomez-Rincon, C et López, V. 2013. *Jasonia glutinosa* DC (rock tea): Botanical, phytochemical and pharmacological aspects. *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat*, 12(Supl 6), 543-57.
- Wuryatmo, E., Klieber, A et Scott, E, S. 2003. Inhibition of citrus postharvest pathogens by vapor of citral and related compounds in culture. *J. Agric. Food Chem.*, 51: p2637–40
- Yakhlef, G., Laroui, S., Hambaba, L., Aberkane, M.-C., et Ayachi, A. 2011. Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurus nobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. *Phytothérapie*, 9(4), 209-218.

الملخص

تعد مقاومة الكائنات الحية الدقيقة للمضادات الحيوية مشكلة صحية عالمية متزايدة، مما يستدعي البحث عن بدائل علاجية طبيعية مضادة للميكروبات. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للميكروبات للزيوت الأساسية العطرية المستخلصة من *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus* et *Jasonia tuberosa* تم استخراج الزيوت الأساسية بواسطة التقطير المائي، وتم تقييم فعاليتها باستخدام اختبار الانتشار على الأقراص. ضد عدة سلالات بكتيرية وفطرية *Artemisia herba-alba* (الأروماتوغرام)، إضافة إلى تحديد التركيز المثبط الأدنى و التركيز القاتل للبكتيريا و الفطريات. أظهرت النتائج أن الزيت الأساسي لـ *Artemisia herba-alba* نشطاً ضعيفاً. وتبرز هذه النتائج الإمكانات الواعدة *Jasonia tuberosa*، في حين سجل *Thymus coloratus* يمتلك أقوى نشاط مضاد للميكروبات، يليه *Artemisia herba-alba*، كمصدر طبيعي لمركبات مضادة للميكروبات يمكن أن تساهم في مواجهة مقاومة المضادات *Artemisia herba-alba* للزيوت الأساسية، خصوصاً زيت الحويصة

الكلمات المفتاحية: مقاومة المضادات الحيوية، النشاط المضاد للميكروبات، الزيوت الأساسية *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus*, *Jasonia tuberosa*

Résumé

La résistance croissante des microorganismes aux antibiotiques constitue d'aujourd'hui un problème majeur de santé publique, nécessitant la recherche de nouvelles alternatives antimicrobiennes d'origine naturelle. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'activité antimicrobienne des HEs d'*Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus* et *Jasonia tuberosa* vis-à-vis de différentes souches bactériennes et fongiques. Les HEs ont été obtenues par hydrodistillation. Leur activité antimicrobienne a été évaluée par la méthode de diffusion sur gélose (aromatogramme), ainsi que par la détermination des concentrations inhibitrices (CMI) et bactéricides /fongicides (CMB/CMF). Les résultats ont montré que l'HE d'*Artemisia herba-alba* présente la meilleure activité antimicrobienne, suivie de celle de *Thymus coloratus*, tandis que *Jasonia tuberosa* a montré une activité plus faible. Cette étude met en évidence le potentiel prometteur des HEs, en particulier celle d'*Artemisia herba-alba*, comme source naturelle d'agents antimicrobiens pouvant contribuer à la lutte contre la résistance microbienne.

Mots clés : Résistance aux antibiotiques, activité antimicrobienne, Huiles essentielles, *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus*, *Jasonia tuberosa*

Abstract

The increasing resistance of microorganisms to antibiotics has become a major public health concern, highlighting the need to explore new natural antimicrobial alternatives. The aim of this study was to evaluate the antimicrobial activity of the essential oils of *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus*, and *Jasonia tuberosa* against several bacterial and fungal strains. The essential oils were extracted by hydro distillation. Their antimicrobial activity was assessed using the disk diffusion method (aromatogram), as well as by determining the Minimum Inhibitory Concentrations (MICs) and the Minimum Bactericidal/Fungicidal Concentrations (MBCs/MFCs). The results showed that the essential oil of *Artemisia herba-alba* exhibited the strongest antimicrobial activity, followed by *Thymus coloratus*, whereas *Jasonia tuberosa* demonstrated weak activity. These findings highlight the promising potential of essential oils, particularly that of *Artemisia herba-alba*, as a natural source of antimicrobial agents that may contribute to combating microbial resistance.

Keywords: Antibiotic resistance, antimicrobial activity, essential oils, *Artemisia herba-alba*, *Thymus coloratus*, *Jasonia tuberosa*.