

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU

FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT DE CHIMIE



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIÈRE
FILIÈRE : CHIMIE

MÉMOIRE DE MASTER

SPÉCIALITÉ : CHIMIE PHARMACEUTIQUE

THÈME

**Variabilités des huiles essentielles de deux espèces de *Lavandula*
(*Lavandula Stoechas* et *Lavandula Angustifolia* Miller), des trois régions
(Est, Ouest et Centre) d'Algérie.**

Présenté par : **Abderrahim** **Salima**
Arris **Lydia**

Soutenu publiquement, le 15 / 12 / 2020, devant le Jury composé de :

Ayati	Fadila	MCB	UMMTO	PRÉSIDENTE
Dahmani	Nacéra	PROFESSEUR	UMMTO	ENCADREUR
Benchoulak	Mounir	MAA	UMMTO	Co-ENCADREUR
Mamou	Marzouk	MCAHU	UMMTO	EXAMINATEUR

Résumé

Dans le cadre de la valorisation des plantes médicinales Algériennes. Nous nous sommes intéressés au genre lavandula (*L. Angustifolia* et *L. Stoechas*) de trois wilayas à savoir Tizi Ouzou, Tlemcen et Annaba. Notre étude a pour but, l'extraction des huiles essentielles, détermination de leurs compositions chimiques et l'évaluation de leurs activités biologiques. Le rendement d'extraction de *L. Angustifolia* varie entre 0,8 et 5,2% et *L. Stoechas* entre 0,66 et 2,08%.

L'analyse par CG-SM a permis d'identifier comme composé majoritaire le linalol, le camphre et le 1,8-cinéole dans l'huile essentielle de *L. Angustifolia*. Alors que l'huile essentielle de *L. Stoechas* prédomine par le fenchone, le 1,8-cinéole et le camphre

L'activité antioxydante des huiles essentielles a été déterminée par la méthode de piégeage de H₂O₂. Les HE de la *L. Angustifolia* Miller ont une activité antibactérienne plus importante que celles des HE de la *L. Stoechas*, et ces huiles essentielles ont une activité antibactérienne importante vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*, une activité moyenne par rapport *E-coli* et une activité faible aux *Pseudomonas aeruginosa*.

Abstract

As part of the valorization of Algerian medicinal plants, we were interested in the genus lavandula (*L. Angustifolia* and *L. Stoechas*) from three regions namely Tizi Ouzou, Tlemcen and Annaba. Our study aims at extracting essential oils, determining their chemical compositions and evaluating their biological activities. The extraction yield of *L. Angustifolia* varies between 0.8 & 5.2% and *L. Stoechas* between 0.66 & 2.08%.

Analysis by GC-MS identified that the major compounds in the essential oil of *L. Angustifolia* are linalool, camphor and 1,8-cineole, while the essential oil of *L. Stoechas* predominates by fenchone, 1,8-cineole and camphor. The antioxidant activity of the essential oils was determined by the H₂O₂ scavenging method. The essential oils of *L. Angustifolia* Miller have a greater antibacterial activity than those of the essential oils of *L. Stoechas*, and these essential oils have an important antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, an average activity compared to *E-coli* and low activity to *Pseudomonas aeruginosa*.

Remerciement

*En premier lieu, nous remercions **DIEU**, notre Créateur pour nous avoir donné le courage, la force et la volonté pour accomplir ce mémoire.*

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre encadreur, Madame **DAHMANI Nacéra**. Nous la remercions pour, son soutien, son attention, ses bons conseils et pour ses qualités humaines, de nous avoir encadrée, orientée, aidée et conseillée tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions aussi Monsieur **BENCHOUAK Mounir**; co-encadreur de ce travail; il s'est toujours montré à l'écoute et très disponible, ainsi pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à Madame **AYATI Fadila**, Maître de conférence à l'université Mouloud Mammeri d'avoir acceptée de présider le jury.*

*Nos vifs remerciements à Monsieur **MAMOU Marzouk**, professeur à l'université Mouloud Mammeri pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères gratitudes à monsieur **AIDI N** propriétaire de la distillerie VieBio/Blida, de nous avoir accueilli, guidé par ses interventions adéquates aux plans expérimental et moral.*

*Nos sincères remerciements à Mr **CHALHI R** propriétaire de la distillerie AROM'EST, Mr **ZENNAKI D** de GotraBio/Tlemcen, Mr **BELKADI M** de Yakouren/(Tizi- Ouzou), de nous avoir fourni la matière végétale. Ainsi Mme **BOUCHAREB D** propriétaire de la distillerie BioLera /Blida pour ses judicieux conseils.*

*Merci à Mme **BOUBRIT F**. maître assistante et chef médecin de service microbiologie-Parasitologie de nous avoir permis de travailler au sein du laboratoire du service Microbiologie au CHU de Tizi Ouzou.*

*Nous adressons aussi tous nos profond remerciements à Mr **ABDOUN A** du service Microbiologie au CHU de Tizi Ouzou, d'avoir assuré l'étude antimicrobienne. Un grand merci à Mr **Djafer** pour son soutien moral et toute l'équipe du laboratoire du service, de nous avoir enrichies par leurs connaissances.*

*Un grand merci à la technicienne de laboratoire cristallographie Mme **BELKADI S** pour son temps, sa disponibilité et sa patience.*

*Nous remercions également les techniciens de laboratoire de Chimie : **Houria, Djidji, Tounsia, Fariza et Arzeki**. Ainsi Mr **Fatmouche** pour sa disponibilité. Sans oublier de remercier Mr **Laib**, Mr **Goubi** et Mme **Yata**.*

Sans oublier tous les enseignants et tous les étudiants de la Faculté des Sciences.



Dédicace

À mon premier homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père Ahmed : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi mon cher papa. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

À ma très chère mère Noura : Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

À ma très chère sœur Yamina : Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour toi. Mon ange gardien et ma fidèle accompagnante dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse. Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À mon très cher frère Said : Mon cher petit frère, présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un avenir plein de joie, bonheur, réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

À mon amour, mon fiancé Khireddine : Qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de ce projet. Que Dieu te protège et t'offre la chance et le bonheur.

À ma grand-mère maternelle Lalla Yamina : À la mémoire de la grande dame qui nous aimons sans la voir.

À mes chers grands-pères, Si Said et El-Hadj Ali et ma grand-mère paternelle Lalla Fatima : À qui je souhaite une bonne santé et une longue vie.

À mes très chers oncles, tantes ainsi leurs familles : Vous avez toujours été présents pour les bons conseils. Votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.

À ma meilleure amie Chaféa : Pour son indéfectible soutien, sa patience infinie, son amitié et ses conseils précieux.

Un remerciement particulier à **Kenza Madouche**, pour l'amitié, l'amour et les câlins de chaque matin ainsi je remercie **Mimi**, ma confiante, ma confidente pour sa présence de surmonter tous les moments difficiles.

À mes ami(e)s : Qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès,

À mon cher binôme Lydia : Pour son soutien moral, sa sympathie, sa patience, sa positivité et sa compréhension tout au long de notre parcours universitaire.

À tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Salima

DÉDICACE



Je dédie cet humble travail avec grand amour, sincérité et fierté :

À ceux qui m'ont donnée la vie, la lumière de mes yeux « **mes très chers parents** » pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études et leur affection qui m'ont énormément aidée pour ma réussite. Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, **MAMAN** et **PAPA** je ne pourrai jamais égaler votre mérite et je prie Dieu de me les protéger.

À mes chers et adorables frères et sœurs, **MERIE** la prune de mes yeux, **TIHA**, la douce, au cœur si grand, **TIMA** l'aimable et la sensible, **ABDOU** le généreux, mon petit frère que j'adore. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

À mon cher mari **DJAMAL**, Ta bonté, ton précieux soutien, ton encouragement tout au long de mes années d'étude, ton amour et ton affection, ont été pour moi l'exemple de persévérance.

À la mémoire de mes **grands-pères** « **Mohand Saïd ARRIS** et **Mohand Saïd MENAI** » J'aurais tant aimé que vous soyez présents. Vous m'avez toujours fait preuve d'amour et d'affection, vous êtes toujours présents dans mon esprit et dans mon cœur Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde.

À mes **grands-mères** chéries qui m'ont accompagné par leurs prières, douceur, et amour inconditionnel. Merci pour tout et que Dieu vous donne bonne santé et longue vie parmi nous.

À mes chers **oncles**, **tantes**, leurs **époux** et **épouses**, à mes **chers cousins** et **cousines**, Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À Mes **beaux-parents** pour leur présence, leur sympathie et leurs encouragements qu'ils m'ont apportés.

À mes **petits cousins** et mes **petites cousines**, Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Puisse Dieu vous gardez, éclairez votre route et vous aidez à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

À ma seule et unique amie **MINA YASSA**, ma confidente merci pour ton encouragement, ton soutien et les beaux souvenirs, que dieu te protège et te guide vers le bonheur et la réussite.

À mon binôme **SALIMA** ma coco, avec qui j'ai passé des moments agréables et inoubliables, et qui a partagée avec moi les moments difficiles de ce travail. Merci pour ta patience, ton encouragement et ton soutien moral.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de ma vie, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, Merci d'être toujours là pour moi et de m'avoir permis de devenir ce que je suis.

À tous mes camarades de la promotion 2019-2020 chimie pharmaceutique.

LYDIA



SOMMAIRE

Glossaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1

CHAPITRE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Plantes et médecine	2
1.1.1 Phytothérapie	2
1.2 Substances naturelles.....	2
1.3 Étude botanique de la famille des lamiacées	3
1.3.1 Classification et répartition géographique des lamiacées	3
1.3.2 Intérêt thérapeutique	4
1.4 Étude botanique sur le genre lavandula.....	4
1.4.1 Classification botanique	4
1.4.2 <i>Lavandula Angustifolia</i> Miller	5
1.4.3 <i>Lavandula Stoechas</i>	7
1.5 Huiles essentielles	9
1.5.1 Définition des huiles essentielles.....	9
1.5.2 Localisation des huiles essentielles	9
1.5.3 Caractéristiques des huiles essentielles.....	10
1.5.4 Composition chimique des huiles essentielles	10
1.5.5 Propriétés et intérêts thérapeutiques des huiles essentielles	12
1.5.6 Toxicité des huiles essentielles.....	13
1.5.7 Conservation des huiles essentielles	14
1.6 Procédés d'obtention des huiles essentielles	14
1.6.1 Hydrodistillation.....	14
1.6.2 Entraînement à la vapeur d'eau	14
1.6.3 Extraction par micro-onde.....	15
1.6.4 Extraction par solvant organique	16
1.7 Méthodes d'analyses des huiles essentielles	16
1.7.1 Chromatographie en phase gazeuse.....	16

1.7.2 Chromatographie gazeuse couplée à la Spectrométrie de masse	17
1.7.3 Grandeurs de rétention.....	18
1.8 Études biologiques	19
1.8.1 Activité antioxydante	19
1.8.2 Activité antimicrobienne.....	20

CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Objectifs et méthodologie.....	22
2.2 Matériel botaniques	23
2.3 Présentation des régions d'étude.....	23
2.3.1 Situation géographique de la wilaya de Tizi Ouzou.....	23
2.3.2 Situation géographique de la wilaya de Tlemcen.....	24
2.3.3 Situation géographique de la wilaya d'Annaba.....	25
2.4 Séchage.....	26
2.4.1 Perte à la dessiccation	26
2.4.2 Détermination de la vitesse de séchage.....	26
2.5 Procédés d'obtention des huiles essentielles	26
2.5.1 Extraction des huiles essentielles par hydrodistillation	26
2.5.2 Extraction par entraînement à la vapeur	27
2.5.3 Détermination du rendement d'extraction	28
2.6 Caractérisation des huiles essentielles.....	28
2.6.1 Caractérisation organoleptique	28
2.6.2 Caractérisation physico-chimique	29
2.7 Composition chimique d'huile essentielle.....	31
2.7.1 Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse CG/SM.....	31
2.7.2 Identification des composés	32
2.8 Activité biologique	32
2.8.1 Évaluation de l'activité anti-oxydante par le piégeage de H ₂ O ₂	32
2.8.2 Étude de l'activité antibactérienne.....	33

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Séchage.....	36
3.1.1 Détermination du taux d'humidité.....	36
3.2 Cinétique de séchage	37
3.3 Détermination du rendement des huiles essentielles.....	38

3.4 Caractérisations organoleptiques des huiles essentielles.....	39
3.5 Caractères physiques	40
3.5.1 <i>Lavandula Angustifolia</i>	40
3.5.2 <i>Lavandula Stoechas</i>	41
3.6 Caractères chimiques.....	42
3.6.1 <i>Lavandula Angustifolia</i>	43
3.6.2 <i>Lavandula Stoechas</i>	43
3.7 Analyse des huiles essentielles par cg/sm	44
3.7.1 <i>Lavandula Angustifolia</i>	44
3.7.2 <i>Lavandula Stoechas</i>	48
3.8 Activité biologique	53
3.8.1 Évaluation de l'activité antioxydante	53
3.8.2 Évaluation de l'activité antibactérienne	53
Conclusion	57

Annexes

Références bibliographiques

GLOSSAIRE

Aérobie : Qui contient du dioxygène. Qui a besoin de dioxygène pour fonctionner.

Antibactérienne : Qui possédant la capacité de tuer des bactéries.

Anti-catarrhale : Qui lutte contre l'inflammation des muqueuses due à une hypersécrétion.

Antifongique (ou antimycosique): Qui agit contre les champignons ou les levures parasites.

Antihistaminique : Qui réduit ou élimine les effets allergiques.

Antihypercholestérolémiant: Qui régule du taux de cholestérol dans le sang.

Antiseptique : Qui désinfecte et tue les germes (bactéries, champignons, virus) corporel

Antispasmodiques : Qui combat les spasmes musculaires, les convulsions

Antitumoral : Qui lutte contre une tumeur ou stagner son évolution

Antivirale : Qui perturbe le cycle de réplication d'un ou de plusieurs virus

Anxiolytiques : sont des médicaments utilisés contre l'anxiété

Biogénétique : Qui crée un organisme vivant ou cellules à partir de ceux existants.

Cautérisation : Qui détruit des cellules anormales (cancéreuses) ou des vaisseaux sanguins boucher par l'utilisation de la chaleur ou de produit chimique

Chemotype : Qui signifie une entité chimique liée aux composés prédominant

Étamine : est l'unité de l'appareil reproducteur mâle chez les plantes à fleurs.

Hypnotique : Qui entraîne un effet sédatif, le sommeil narcotique ou un coma.

Hystérie : Qui se traduit par des manifestations psychiques pathologiques (délire, angoisse, mythomanie...).

Inoculum : Qui contient des germes vivants que l'on introduit dans un milieu favorable en vue de sa multiplication ou de son identification.

Oléifère : une plante qui contient une huile ou une graisse végétale.

Pharmacognosie : La science appliquée traitant des matières premières et des substances à potentialité médicamenteuse d'origine biologique ou minérale.

Sédative : Qui provoque un apaisement, une relaxation, une réduction de l'anxiété, une somnolence.

Stimulant : Qui augmente l'activité du système nerveux sympathique facilitant ou améliorant certaines fonctions de l'organisme.

Vermifuge : contre les parasites intestinaux

LISTES DES FIGURES

Figure 1. 1 : Répartition géographique de la famille des Lamiacées dans le monde	4
Figure 1. 2 : Différentes espèces de <i>Lavandula</i>	5
Figure 1. 3 : <i>Lavandula Angustifolia</i> Miller.....	6
Figure 1. 4 : Carte géographique de répartition de <i>Lavandula Angustifolia</i> Miller.	6
Figure 1. 5 : <i>Lavandula Stoechas</i>	8
Figure 1. 6 : Distribution géographique de <i>Lavandula Stoechas</i>	8
Figure 1. 7 : Structures chimiques de quelques monoterpènes extraits des HEs.....	11
Figure 1. 8 : Structures chimiques de quelques sesquiterpènes extraits des HEs.....	11
Figure 1. 9 : Structures chimiques de quelques composés aromatiques.	11
Figure 1. 10 : Appareil de Clevenger.....	14
Figure 1. 11 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau.	15
Figure 1.12: Montage de hydrodistillation assistée par micro-ondes.	15
Figure 1. 13 : Montage d'extraction par un solvant organique (Soxhlet).	16
Figure 1. 14 : Schéma de l'appareillage de la CG.	17
Figure 2.1 : Schéma illustrant la démarche expérimentale suivie dans cette étude.....	22
Figure 2.2 : <i>Lavandula Stoechas</i> et <i>Lavandula Angustifolia</i> Miller des trois wilayas.	23
Figure 2. 3 : Zones géographiques des récoltes à Tizi Ouzou.....	24
Figure 2. 4 : Zones géographiques des récoltes à Tlemcen.....	25
Figure 2. 5 : Zones géographiques des récoltes à Annaba.	25
Figure 2.6 : Montage Clevenger.	27
Figure 2.7 : Montage alambic.....	28
Figure 2.8 : Détermination de l'indice d'acide.....	31
Figure 2.9: Détermination de l'activité antioxydante.	33
Figure 2.10: Protocole des tests microbiologiques effectués au laboratoire.	35
Figure 3. 1: Teneur en eau de <i>Lavandula Angustifolia</i> Miller des trois régions.....	36
Figure 3. 2 : Teneur en eau de <i>Lavandula Stoechas</i> des trois régions.....	36
Figure 3.3 : Variation de la teneur en eau en fonction du temps.....	37
Figure 3. 4 : Rendements des huiles essentielles de <i>L. Angustifolia</i> et <i>L. Stoechas</i>	38
Figure 3. 5 : Chromatogramme de l'HE de <i>Lavandula Angustifolia</i> de Tizi Ouzou.....	44
Figure 3. 6 : Chromatogramme de l'HE de <i>Lavandula Stoechas</i> de Tizi Ouzou.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1: Classification botanique de genre <i>Lavandula</i>	5
Tableau 2. 1 : Situation géographique et bioclimatique des stations de Tizi Ouzou.....	24
Tableau 2. 2 : Situation géographique et bioclimatique des stations de Tlemcen.	24
Tableau 2. 3 : Situation géographique et bioclimatique des stations d'Annaba.....	25
Tableau 2. 4 : Conditions opératoires CG/SM.	32
Tableau 2. 5 : Souches bactériennes étudiées.....	34
Tableau 3. 1: Littérature des rendements de <i>L. Angustifolia</i>	38
Tableau 3. 2 : Littérature des rendements de <i>L. Stoechas</i>	39
Tableau 3. 3 : Caractères organoleptiques des huiles essentielles de <i>L. Angustifolia</i>	40
Tableau 3. 4 : Caractères organoleptiques des huiles essentielles de <i>L. Stoechas</i>	40
Tableau 3. 5 : Caractères physique des huiles essentielles de <i>L. Angustifolia</i> Miller.	41
Tableau 3. 6 : Caractères physique des huiles essentielles de <i>Lavandula Stoechas</i>	41
Tableau 3. 7 : Indices chimiques des huiles essentielles de <i>L. Angustifolia</i> et <i>L. Stoechas</i> ..	43
Tableau 3. 8 : Travaux intérieurs sur <i>L. Angustifolia</i>	45
Tableau 3. 9 : Composés chimiques des HE de <i>L. Angustifolia</i> obtenus par CG/SM.	46
Tableau 3. 10 : Travaux intérieurs sur <i>L. Stoechas</i>	49
Tableau 3. 11 : Composés chimiques des HE de <i>L. Stoechas</i> obtenus par CG/SM.	50
Tableau 3. 12 : Activité antioxydante des huiles essentielles de deux variétés.	53
Tableau 3.13 : Résultats des aromatogrammes des HE de <i>L. Angustifolia</i> des trois régions.	54
Tableau 3. 14 : Résultats des aromatogrammes des huiles de <i>L. Stoechas</i> des trois régions.	55

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique.

Amm : Autorisation de mise sur le marché.

APG III : Angiosperm Phylogeny Group troisième version.

CG/SM : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

HE : Huile essentielle.

Log : Logarithme.

m : mètre.

m/m : masse / masse.

mL/min : millilitre par minute.

mm : millimètre.

MPUP : Matières premières à usage pharmaceutique.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

RMN : Résonance magnétique nucléaire.

SM: Spectrométrie de masse.

TP3M : Triphényléméthyle.

UV-Visible : Ultraviolet-Visible

Introduction

Introduction

À travers des âges, l'Homme a pu compter sur la nature pour subvenir à ses besoins de base : nourriture, abris, vêtements et également pour ses besoins médicaux. L'utilisation thérapeutique des extraordinaires vertus des plantes pour le traitement des maladies de l'homme est très ancienne et évolue avec l'histoire de l'humanité.

En effet une plante est dite médicinale lorsque l'un de ses organes possède des activités pharmacologiques pouvant conduire à des emplois thérapeutiques.

Le pouvoir thérapeutique des plantes était connu par nos ancêtres de façon empirique, en ignorant la composition chimique des remèdes utilisés tous les jours par de nombreuses populations.

Le genre *Lavandula* est un membre important de la famille des Lamiacées, qui sont dans la plupart d'origine méditerranéenne.

Les espèces de *Lavandula* sont d'une grande valeur marchande due à leurs arômes plaisants. La matière végétale et son huile essentielle sont principalement utilisées en parfumerie, cosmétique et en industrie alimentaire. L'importance médicinale de la plante est bien documentée et les extraits préparés à partir de cette plante sont enregistrés dans beaucoup de pharmacopées.

Dans le cadre de la valorisation des plantes aromatiques et médicinales de la flore végétale spontanée qui pousse en Algérie, nous nous sommes intéressées aux espèces de la famille des Lamiacées.

L'objectif de notre travail consiste à caractériser et analyser la composition chimique de la partie volatile de la plante médicinale des deux espèces. Les plantes sur lesquelles a porté notre choix sont deux espèces de *Lavandula* : « *Lavandula Stoechas* » et « *Lavandula Angustifolia Miller* » récoltées dans trois régions (Est, Ouest et centre) d'Algérie.

Pour cela notre travail s'est porté sur trois chapitres distincts :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous abordons la synthèse bibliographique par la présentation des deux espèces de *Lavandula*, les huiles essentielles ainsi l'activité biologique.
- ✓ Le deuxième chapitre décrit la partie matériel et méthodes avec une présentation des techniques d'extractions, détermination de la composition chimique, la caractérisation organoleptique et physicochimique des huiles essentielles ainsi que l'évolution des différents propriétés antioxydants et antimicrobiennes.
- ✓ Les résultats et leurs discussions sont abordés dans le troisième chapitre.

Enfin, nous achevons ce travail avec une conclusion et des perspectives.

*Étude
bibliographique*

1.1 Plantes et médecine

Les plantes médicinales sont des drogues végétales au sens de la Pharmacopée Européenne dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Ces plantes peuvent aussi avoir des usages alimentaires, condimentaires ou hygiéniques [1].

Pour être reconnue comme « médicinale », une plante doit être inscrite soit à la Pharmacopée Européenne soit à la Pharmacopée Française. Il existe 546 plantes médicinales inscrites à la pharmacopée française, dont 148 peuvent être vendues en dehors du monopole pharmaceutique. Une plante peut être qualifiée de médicinale lorsqu'elle contient, au niveau de ses organes, un ou plusieurs principes actifs utilisables à des fins thérapeutiques [1].

1.1.1 Phytothérapie

La phytothérapie est une thérapeutique destinée à traiter certains troubles fonctionnels et certains états pathologiques au moyen de plantes, de parties de plantes et de préparations à base de plantes. Elle est inspirée de la médecine traditionnelle basée sur un savoir empirique enrichi au fil des générations. C'est ce qu'on appelle la « phytothérapie traditionnelle », qui est toujours grandement utilisée dans certains pays qui perpétuent les usages de leurs ancêtres [2]. La phytothérapie se partage en deux grands types :

➤ Une pratique traditionnelle, parfois très ancienne basée sur l'utilisation de plantes selon les vertus découvertes empiriquement [3]. Selon l'OMS, cette phytothérapie est considérée comme une médecine traditionnelle non conventionnelle du fait de l'absence d'étude clinique.

➤ Une pratique clinique, basée sur les avancées et preuves scientifiques des extraits actifs des plantes qui sont standardisés. Cette pratique conduit aux phytomédicaments selon la réglementation en vigueur dans le pays, leur circulation est soumise à l'AMM pour les produits finis, et à la réglementation de MPUP pour les préparations magistrales des plantes médicinales, celles-ci étant délivrées exclusivement en officine. On parle alors de pharmacognosie ou de biologie pharmaceutique [4].

1.2 Substances naturelles

La plante possède une composition chimique très complexe, elle est constituée de centaines de substances. Elle puise par ses racines des éléments dans le sol (eaux, minéraux, oligo-éléments) et grâce à la photosynthèse, elle élabore des molécules complexes appelées composés organiques.

Les substances, que la plante élabore, ont un niveau d'intérêt différent. On les classe en deux groupes :

- Métabolites primaires : les matériaux nécessaires à la vie végétale qui ne présentent qu'une activité pharmacologique de base (les glucides, les lipides, les enzymes.....)
- Métabolites secondaires ou spécialisés : les substances sont plus complexes. Parmi celles-ci on peut citer quelques grandes familles chimiques : les polyphénols, les flavonoïdes, les terpénoïdes et les alcaloïdes.

C'est dans ce dernier groupe de métabolites que l'on retrouve les molécules les plus intéressantes en thérapeutique. Elles ont également un intérêt pour la plante, en effet elles protègent des rayons du soleil et des oxydations et elles interviennent comme signaux d'échange avec son environnement par exemple pour se protéger des autres espèces ou pour attirer les insectes pollinisateurs.

Malgré des nombreuses recherches, une infime partie des substances présentes dans les plantes a pu être identifiée. Mais on sait que c'est grâce à l'action combinée de toutes ces substances que les plantes doivent leurs vertus thérapeutiques [5].

1.3 Étude botanique de la famille des lamiacées

1.3.1 Classification et répartition géographique des lamiacées

Selon la classification classique APG III de la règne végétal ; la famille des lamiacées appartient à l'ordre lamiales de la sous classe gamopétale dépendant de la classe dicotylédones de l'embranchement angiospermes.

L'ordre des lamiales est un ensemble important comprenant actuellement 17800 espèces réparties en 21 familles ; l'une des principales est celle des lamiacées. Elle contient 258 genres et 6900 espèces plus ou moins cosmopolites, mais particulièrement répandues du bassin méditerranéen jusqu'en Asie centrale (**Figure 1.1**). Les Lamiacées sont rares dans les régions arctiques et en hautes montagnes. C'est une famille très homogène, facile à reconnaître ; de nombreuses espèces sont cultivées dans les jardins, soit comme ornementales, soit pour leurs propriétés médicinales [6].

Dans la flore de l'Algérie, les Lamiacées sont représentées par 28 genres et 146 espèces, Certains genres sont de détermination délicate en raison de la variabilité extrême des espèces [8].

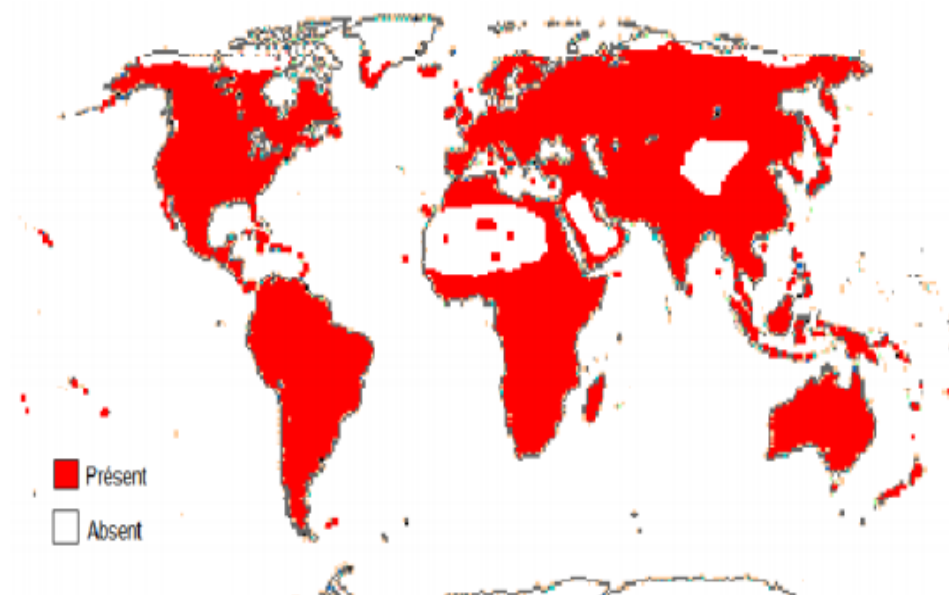


Figure 1. 1 : Répartition géographique de la famille des Lamiacées dans le monde [6].

1.3.2 Intérêt thérapeutique

En phytothérapie, on utilise les fleurs séchées des lamiacées dont les principaux composants pharmacologiques : l'hydroxy coumarine, les tannins, les dérivés d'acide caféique, ainsi que l'huile essentielle [9]. Cette huile est légèrement sédative, diurétique, sudorifique, vermifuge et stimulante. Elle donne des résultats probants contre les maux de tête, le vertige, la nausée et les bouffées de chaleur. En cas de manque d'appétit, de ballonnements, de nervosité, de neurasthénie, de palpitations cardiaques, d'asthme, de grippe, de faiblesse générale, de troubles du foie et de la rate, de jaunisse, de congestion, de pertes blanches et de faiblesse des yeux, elle fait merveille [10].

1.4 Étude botanique sur le genre *lavandula*

1.4.1 Classification botanique

De la famille des Lamiacées on distingue le genre Lavande, elle se décline en plusieurs variétés d'espèces du genre *Lavandula* contenant des chemotypes différents. La lavande peut être classée comme suit [11] :

Tableau 1. 1: Classification botanique de genre *Lavandula* [11].

Règne	Végétal
Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Gamopétales
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiacées
Genre	<i>Lavandula</i>

Le genre *Lavandula* est divisé en trois sous-genres selon les caractéristiques morphologiques, le sous-genre *lavandula* est divisé lui-même aussi en trois sections et la section *Lavandula* en 4 espèces (**Figure 1.2**) [12, 13].

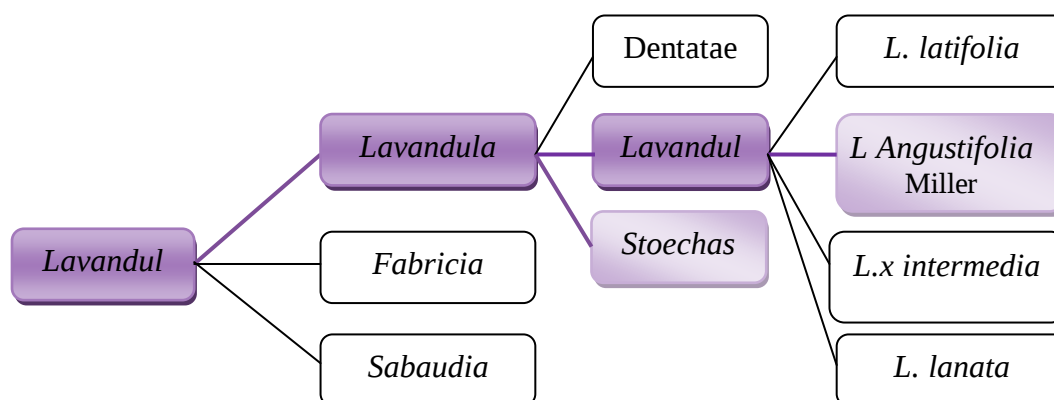


Figure 1. 2 : Les différentes espèces de *Lavandula* [11].

Dans ce travail, l'étude porte sur deux espèces à savoir :

- *Lavandula Angustifolia* Miller.
- *Lavandula stoechas*.

1.4.2 *Lavandula Angustifolia* Miller

1.4.2.1 Description botanique de *Lavandula Angustifolia* Miller

- Nom latin : *Lavandula Angustifolia* Miller.
- Nom français : Lavande officinale.
- Nom arabe : الخزامى.
- Nom kabyle : ⵜⴰⵎⴰⵣⴰⵢⵜ (Timerza).

- Nom vulgaires : *Lavandula vraie*, *Lavandula Angustifolia* Miller, *Lavandula fine*, *Lavandula commune*, *Lavandula femelle*.
- La floraison : Juin et juillet [13]

Ce sont des sous arbrisseaux de 20 à 80 cm croissants en masse. La racine est pivotante. Les tiges florales, courtes et fines, ne portant qu'un seul épi de 15 à 20 cm de longueur et longuement dépourvues de feuilles au-dessous des inflorescences (**Figure 1.3**) [10].



Figure 1. 3 : *Lavandula Angustifolia* Miller [10].

Les feuilles sont étroites ou ovales, longues de 2 à 5 cm. Les bractées sont d'un brun jaunâtre, marquées de 5 à 7 nervures principales très distinctes, dont le contour est triangulaire, se détachant facilement de l'axe de l'épi [14]. Les fleurs sont courtement pédonculées et disposées en épis de six ou dix groupes dont les plus inférieurs sont séparés des supérieurs. Elles sont portées par des bractées aussi larges que longues [15].

1.4.2.2 Répartition géographique de *Lavandula Angustifolia* Miller

La *L. Angustifolia* Miller pousse à une altitude de 500 à 1700 m. sur les versants ensoleillés des montagnes. La qualité de la lavande est réputée à augmenter avec l'altitude. Elle se développe sur des sols calcaires et jamais sur des sols acides (**Figure 1.4**) [14].



Figure 1. 4 : Carte géographique de répartition de *Lavandula Angustifolia* Miller [14].

1.4.2.3 Propriétés et emplois

En cosmétique et parfumerie : *Lavandula* fixe et stabilise toutes les essences de fleurs entre elles pour éviter que le parfum vire [16]. Son utilisation dans les crèmes et les gels permet de préserver ces cosmétiques grâce à leur activité antiseptique et antioxydante, tout en leur assurant leur odeur agréable [17].

En phytothérapie : *Lavandula* s'utilise pour la cicatrisation des plaies, la cautérisation des brûlures et même pour soulager les douleurs rhumatismales. Elle est conseillée pour soigner l'eczéma, l'asthme, les rhumes, pour favoriser la digestion, elle sert même à guérir les morsures de serpent, les piqûres d'insectes, et pour lutter contre les poux. Elle est aussi longtemps appelée « plante du cerveau », elle est utilisée pour traiter les crises d'hystérie ou d'épilepsie [18]. *Lavandula* tonifie les nerfs, calme et fait dormir ; Elle résout aussi les crampes. Elle excite les activités métaboliques [19].

En industrie alimentaire : la qualité organoleptique et la conservation soignée et de longue durée font partie des enjeux principaux. Afin de les assurer, une nouvelle technique pour réduire la prolifération des micro-organismes réside dans l'utilisation des HE [17]. *Lavandula* fine est consommable en : boissons (sirop, liqueur, limonade...), glaces, sucreries, chewing-gums..., elle peut aussi servir à aromatiser des plats cuisinés à agrémenter différentes préparations culinaires (miel, yaourt, thé, crème brûlée, confiture...) [20]. Son pouvoir antifongique peut être utilisé contre les moisissures des fruits secs [21].

En apiculture : Le nectar de sa fleur attire les abeilles qui en font un miel très doux, excellent pour la santé. Ce miel précieux conserve une partie des propriétés de la plante, très utilisé contre la grippe, les maladies pulmonaires et les ulcères [18].

1.4.3 *Lavandula Stoechas*

1.4.3.1 Description botanique de *Lavandula Stoechas*

- Nom latin : *lavandula Stoechas*.
- Nom français : Lavande.
- Nom arabe : الكحيلة.
- Nom kabyle : ⵍⵏⵓⵎⵎⵉⵔⵉⵏ (amezzir).
- Nom vulgaires : *Lavandula stoechade*, *Lavandula sauvage*, *Lavandula maritime*, *Lavandula papillon*, *Lavandula à toupet* [23].
- La floraison : Mars et juin

CHAPITRE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

La *L. Stoechas* est un sous-arbrisseau très ramifié, pouvant aller jusqu'à 60 cm de hauteur. Elle a été historiquement la première Lavande à être formellement décrite (**Figure 1.5**).



Figure 1. 5 : *Lavandula stoechas* [23].

Les tiges sont quadrangulaires, portent des feuilles grises denses et étroites (2 à 4 cm de long), persistantes et opposées. L'inflorescence se décrit par un épi dense, courtement pédonculé, portant des petites fleurs pourpres. L'épi est couronné de plusieurs bractées pétaloïdes violettes. Il a quatre étamines, une corolle tubuleuse et bilabée [24].

1.4.3.2 Répartition géographique de *Lavandula stoechas*

Elle se trouve en région méditerranéenne sur des terrains siliceux et elle est la Lavande dont le territoire géographique le plus vaste (**Figure 1.6**) [13].

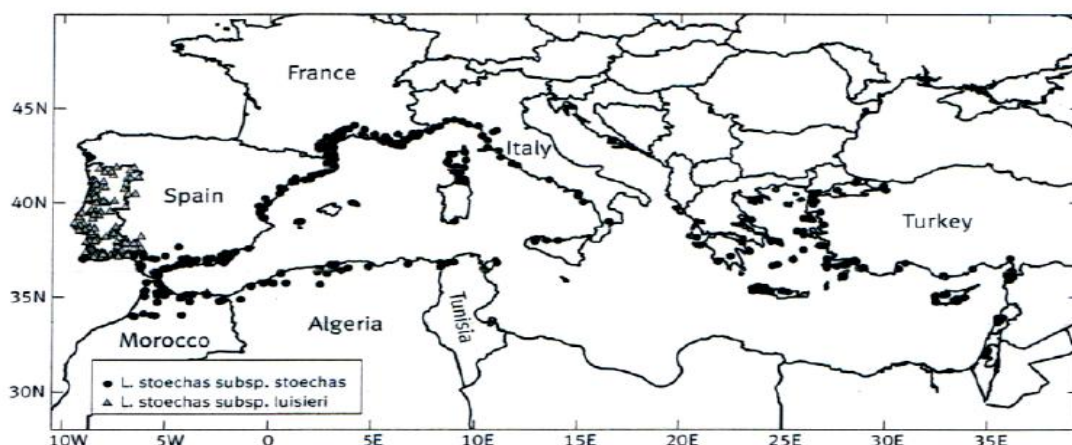


Figure 1. 6 : Distribution géographique de *Lavandula Stoechas* [24].

En Algérie, elle est très commune dans le Tell, on la trouve sur les sommets arides, les pelouses et les maquis [24].

1.4.3.3 Propriétés et emplois

En phytothérapie : L'huile essentielle de *L. Stoechas* est à employer avec précaution du fait de sa très grande teneur en cétones. Elle est cependant très efficace en cas de troubles respiratoires chroniques (bronchite, sinusite...) et d'otite, grâce à ses vertus anti-catarrhale et anti-inflammatoire. Elle est en outre utile en cas des cicatrices difficiles [25].

En parfumerie : *L. stoechas* fût la première lavande à être utilisée en parfumerie, son HE est aujourd'hui délaissé en raison de son odeur fortement camphrée et de la concurrence importante des autres lavandes qui se prêtent mieux à la culture intensive et dont l'odeur est plus agréable. La forte teneur en camphre généralement observée limite ses applications en cosmétologie [26].

1.5 Huiles essentielles

1.5.1 Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont les substances odorantes des plantes, elles sont volatiles et par évaporation peuvent retourner à l'état d'odeur sans laisser de traces. À l'état liquide, on les appelle «essences végétales» ou «huiles essentielles» ou «huiles volatiles» mais encore essences aromatiques, ces diverses appellations ne concernent qu'un seul et même produit. Elles ont parfois un toucher gras ou huileux mais ce ne sont pas des corps gras [25].

Elles sont obtenues à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par expression à partir du péricarpe des citrus soit par distillation à sec, ou par un procédé mécanique approprié sans chauffage. De composition généralement complexe, elles renferment des mélanges de nombreux composés chimiques comme les terpènes, les phénols, les méthyle-éthers, les oxydes, les esters, et les cétones... [26].

L'huile essentielle est souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique, n'entraînant pas de changement significatif de sa composition [27]. Les huiles essentielles ont en générales des applications importantes en médecine, grâce à leur qualité odorante, ainsi que leur efficacité physiologique aidant à soulager les douleurs [28].

1.5.2 Localisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles se rencontrent quasiment que chez les végétaux : cependant, elles sont particulièrement abondantes chez certaines familles telles que les Lamiacées, les Lauracées, les Rutacées, les Astéracées, les Apiacées, les Cupressacées, les Zingibéracées, les Pipéracées, les Myrtacées, et les Poacées [29].

Elles sont présentes dans différents organes végétaux producteurs, variant en fonction de l'organe du végétal, comme les sommités fleuries (Lavande, Menthe..), dans les racines ou rhizomes (Vétiver, Gingembre), dans les écorces (Cannelles), le bois (Camphrier), les fruits (Citron), les graines (Muscade) [30].

Les huiles essentielles sont contenues dans des structures spécialisées, à savoir, les poils, les canaux sécréteurs et les poches [8]. Les essences sont stockées soit dans ces cellules, soit dans des cellules de réserve, et ne deviennent huiles essentielles qu'après distillation [30].

1.5.3 Caractéristiques des huiles essentielles

L'aspect d'une HE dépend des produits qui la constituent. Elles sont liquides à température ambiante, généralement de couleur jaune au vert en passant par le rouge ou le marron foncé et sont très odorantes.

La densité des HE est en général inférieure à celle de l'eau à l'exception des HEs de sassafras, de cannelle, l'œillet, la moutarde et de girofle, d'indice de réfraction généralement élevé. Les HE sont le plus souvent optiquement actives, la plus part dévient la lumière soit vers la gauche (lévogyre) ou bien vers la droite (dextrogyre). Les huiles essentielles sont entraînables à la vapeur d'eau, mais très peu solubles dans l'eau mais totalement solubles dans les huiles grasses et les solvants organiques [32].

1.5.4 Composition chimique des huiles essentielles

La composition chimique des huiles essentielles montre qu'il s'agit des mélanges complexes et variables des constituants, qui sont due exclusivement à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques : les terpénoïdes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane, ainsi que d'autre composés d'origines diverses moins fréquents qui résument les composés aliphatiques [33].

1.5.4.1 Terpénoïdes

Les terpénoïdes, sont ceux qui ont la masse moléculaire pas élevé ; c'est à dire, ceux dont les molécules sont les plus volatils. Ils portent dans la plupart des cas la formule générale $(C_5H_8)_n$. Suivant les valeurs de (n), on a les hémiterpènes (n=1), les monoterpènes (n=2), les sesquiterpènes (n=3), les triterpènes (n=6), les tétraterpènes (n=8) et les polyterpènes. Les monoterpènes et les sesquiterpènes sont présents dans les huiles essentielles. Ils ont des propriétés antiseptiques (thymol, eugénol), spasmodiques et sédatives (citral, citronellal), irritantes (essence de térébenthine) [29]. On y trouve en plus

des terpènes, des hydrocarbures, des esters, des lactones, des aldéhydes, des alcools, des acides, des cétones, des phénols, des oxydes et autres (**Figure 1.7**) (**Figure 1.8**) [33].

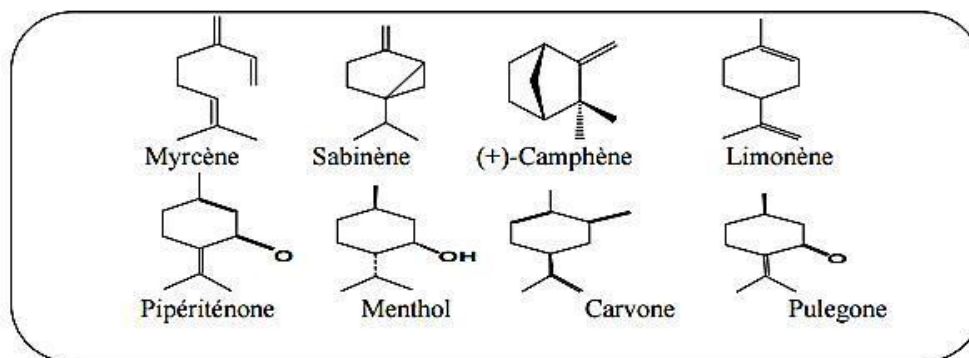


Figure 1. 7 : Structures chimiques de quelques monoterpènes extraits des HEs [33].

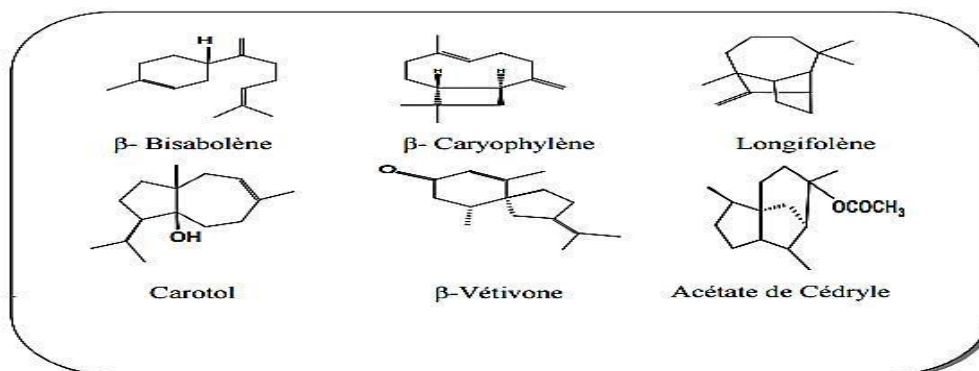


Figure 1. 8 : Structures chimiques de quelques sesquiterpènes extraits des HEs [33].

1.5.4.2 Composés aromatiques

Les composés aromatiques sont moins présents dans les huiles essentielles. Mais ils sont considérés comme un ensemble important car ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des HE. (**Figure 1.9**) [33].

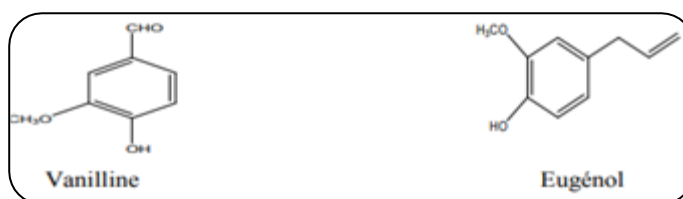


Figure 1. 9 : Structures chimiques de quelques composés aromatiques [33].

1.5.4.3 Composés d'origines diverses

Les huiles essentielles peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, entraînés lors de l'hydrodistillation. Ces produits peuvent être azotés, soufrés, des carotènes ou des acides gras [33].

1.5.5 Propriétés et intérêts thérapeutiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont utilisées en aromathérapie, une branche de la phytothérapie qui utilise les huiles essentielles pour traiter un certain nombre de maladies. Beaucoup d'ouvrages décrivent des préparations à base des huiles essentielles diverses prescrites pour le traitement de plusieurs maladies. Cependant, ces prescriptions ne possèdent pas de bases scientifiques rigoureuses car elles sont souvent tirées de la pratique [34,35]. Une huile essentielle présente deux ou trois propriétés principales, et plusieurs propriétés secondaires [36].

1.5.5.1 Pouvoir antibactérien

Ayant des terpènes et des phénols, les huiles essentielles ont toujours été considérées comme étant douées de propriétés antibactériennes. En effet, leurs constituants étant lipophiles, ils se lient facilement aux membranes cellulaires des micro-organismes. Cette propriété est commune à toutes les huiles essentielles, mais elle est très marquée chez l'huile essentielle de thym à thymol. Les autres composants aux pouvoirs antibactériens sont les alcools monoterpéniques (linalol, géraniol, menthol, etc.), les aldéhydes aromatiques (aldéhyde cinnamique, aldéhyde cuminique), Les éthers (apiol, myristicine, ...), etc.

1.5.5.2 Pouvoir antiviral

Cette propriété est présente chez les HEs contenant des phénols, des alcools et des aldéhydes monoterpéniques. Citons : le thymol, le carvacrol, le menthol, le linalol, etc. Les HEs les plus reconnues pour leur activité virucide sont celles de basilic (variété *basilicum*), d'arbre à thé, de citron et de niaouli.

1.5.5.3 Pouvoir antifongique

Les HEs sont douées d'un pouvoir antifongique grâce aux phénols, aux alcools et aux aldéhydes monoterpéniques qu'elles renferment. Les HE avec cette propriété très marquée sont celles de l'arbre à thé, la cannelle de Ceylan, la sarriette et le géranium bourbon.

1.5.5.4 Pouvoir antioxydant

Les molécules aromatiques sont capables de piéger les radicaux libres efficacement. Résultant le plus souvent de la peroxydation lipidique. Les huiles essentielles de curcuma, de marjolaine à coquille ou de thym ont un pouvoir antioxydant marqué. De cette propriété découlent les pouvoirs hépato-protecteur et antihypercholestérolémiant.

1.5.5.5 Pouvoir antiparasitaire

Certaines huiles essentielles présentent un fort pouvoir antiparasitaire. L'avantage est que les germes ne présentent pas de résistance aux HEs, ce qui permettrait une application très intéressante en milieu hospitalier. Citons, les HEs d'*eucalyptus (globulus et radiata)*, de thym à thymol ou à carvacrol, ainsi que de giroflier.

1.5.5.6 Pouvoir cicatrisant, anti-brûlures

Les HEs contenant des aldéhydes et des alcools monoterpéniques, qui aident à la régénération cutanée.

1.5.5.7 Pouvoir neurotrope

Les éthers et les esters contenus dans les HEs agissent comme antispasmodiques, hypnotiques et anxiolytiques. Les aldéhydes monoterpéniques, les aldéhydes aromatiques, les coumarines et les composés azotés peuvent présenter également ce type d'effet.

1.5.5.8 Pouvoirs carminatif et digestif

Les huiles essentielles sont connues pour leur activité sur le système digestif, la réduction des ballonnements et des flatulences. Les HEs de menthe poivrée, d'armoise blanche, de cannelle et de sarriette sont efficaces pour ces problèmes digestifs.

La relation structure chimique – activité thérapeutique est reconnue par la plupart des chercheurs. Chaque famille de molécule a des propriétés plus ou moins marquées, d'où l'intérêt d'utiliser les huiles essentielles en synergie.

1.5.6 Toxicité des huiles essentielles

Les HE peuvent être plus ou moins toxique, soit in situ (irritation, réaction allergiques et photo toxiques), soit au niveau d'un organe (neurotoxicité, hépato toxicité, néphrotoxicité...etc.). Il est nécessaire d'évaluer le danger potentiel, qu'elles sont susceptibles de provoquer à un certain niveau d'exposition afin d'éviter tous risques [37].

Il est capital d'intégrer la notion de la dualité "Efficacité - Toxicité" car toute substance thérapeutiquement active est potentiellement toxique. Cela dépendra de la dose unitaire, journalière, de la voie d'administration, de l'état du patient... Néanmoins, un produit toxique peut sûrement intéresser la recherche fondamentale pour la mise en évidence et l'isolement de molécules toxiques qui dans certaines pathologies, apporteront des solutions

appréciables. C'est le cas du taxol isolé de l'if (*Taxus baccata*) dont l'activité antitumorale traite les cancers mammaires et utérins avec de bons résultats [37].

1.5.7 Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des substances très délicates, et s'altèrent facilement, se qui rend leurs conservations difficiles. Les risques de dégradation sont multiples : photo isomérisation, photo cyclisation, coupure oxydative de propénylphénols, peroxydation des carbures et décomposition en cétone et alcools (limonène), ces dégradations peuvent modifier leurs propriétés si elles ne sont pas enfermées dans des flacons propres et secs en verre teinté, à l'abri de la lumière et de la chaleur [38].

1.6 Procédés d'obtention des huiles essentielles

Plusieurs méthodes existent pour extraire les huiles essentielles. Elles sont basées principalement sur l'entraînement à la vapeur, l'expression, la solubilité et la volatilité. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de plusieurs paramètres tels que la nature de la matière végétale à traiter, les caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire [39].

1.6.1 Hydrodistillation

La plante est mise en contact avec de l'eau dans un ballon lors d'une extraction au laboratoire ou dans un alambic industriel. Le tout est porté à l'ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées dans un réfrigérant et les huiles essentielles se séparent de l'eau par différence de densité (**Figure 1.10**) [27, 39].

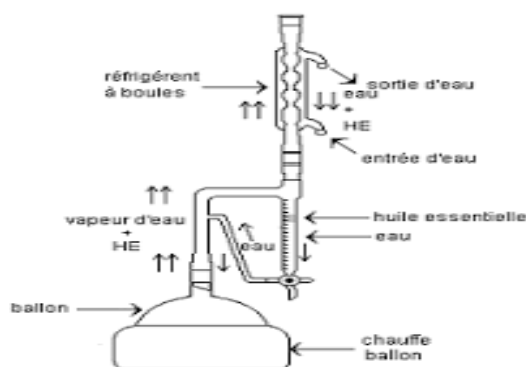


Figure 1. 10 : Appareil de Clevenger [27].

1.6.2 Entraînement à la vapeur d'eau

Le matériel végétal est placé sur une grille perforée au travers de laquelle passe la vapeur d'eau. La vapeur d'eau traverse le matériel végétal et libère ainsi les molécules

volatiles, qui sont ensuite entraînées vers le réfrigérant. Cette méthode apporte une amélioration de la qualité de l'huile essentielle en minimisant les altérations hydrolytiques. **(Figure 1.11)** [33].

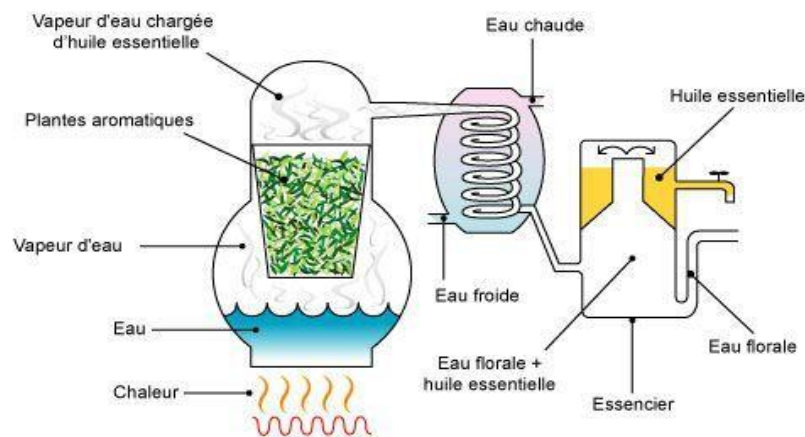


Figure 1. 11 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau [33].

1.6.3 Extraction par micro-onde

C'est une technique récente, développée dans le but d'extraire des produits naturels comparables aux HEs et aux extraits aromatiques. Dans cette méthode, la plante est chauffée par un rayonnement micro-ondes dans une enceinte, dont la pression est réduite de façon séquentielle: les molécules volatiles sont entraînées dans le mélange azéotropique, formé avec la vapeur d'eau propre à la plante traitée. Ce chauffage, en vaporisant l'eau contenue dans les glandes oléifères, crée à l'intérieur de ces dernières une pression qui brise les parois végétales et libère ainsi le contenu en huile **(Figure 1.12)** [39,40].

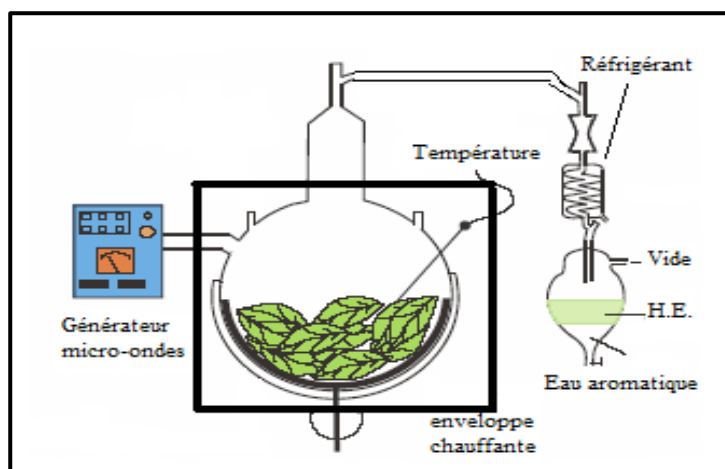


Figure 1.12: Montage de hydrodistillation assistée par micro-ondes [39].

1.6.4 Extraction par solvant organique

Le principe de cette méthode consiste à faire tremper les plantes dans un solvant organique volatil (**Figure 1.13**), soit pour obtenir des produits que l'on ne peut pas extraire par un autre procédé, soit en vue de rendement plus élevés [33].

Le choix du solvant est influencé par des paramètres technique et économique tels que la sélectivité, stabilité, inertie chimique et température d'ébullition (pas trop élevée pour permettre son élimination totale) [41].

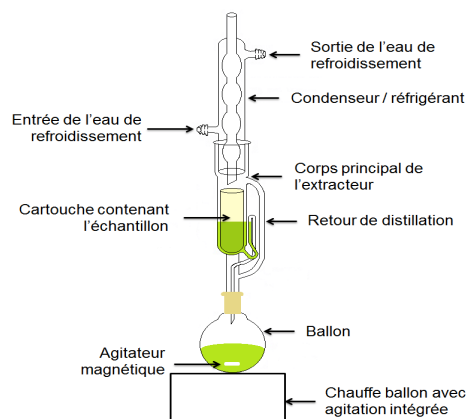


Figure 1. 13 : Montage d'extraction par un solvant organique (Soxhlet) [33].

1.7 Méthodes d'analyses des huiles essentielles

La connaissance de la composition chimique des huiles essentielles est très importante parce qu'elle est considérée comme une matière première destinée à divers secteurs d'activités. Plusieurs techniques et méthodes permettent l'analyse quantitative et qualitative des HE même à l'état de traces. Ces méthodes consistent à l'utilisation des techniques de séparation et d'identification des différents constituants d'une huile essentielle telles que : CG, CG/SM, RMN, etc. [41].

1.7.1 Chromatographie en phase gazeuse

La méthode la plus utilisée dans le domaine des huiles essentielles est la chromatographie. C'est une méthode de séparation des composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans subir une décomposition [42].

❖ Principe et Appareillage

La chromatographie en phase gazeuse (CG) est une technique de séparation chromatographique, reposant sur la distribution différentielle des espèces entre deux phases non miscibles, une phase stationnaire contenue dans une colonne et un gaz vecteur,

comme phase mobile, qui traverse cette phase stationnaire. Elle est fondée sur les mécanismes d'adsorption, de distribution de masse ou d'exclusion. [43]

L'appareillage se compose d'un injecteur, d'une colonne chromatographique placée dans un four, d'un détecteur et d'un système d'acquisition des données (ou d'un intégrateur ou enregistreur). Le gaz vecteur circule à travers la colonne à débit ou pression contrôlés, puis passe à travers le détecteur. La chromatographie peut se dérouler à température constante ou selon un programme de température donné (**Figure 1.14**) [43].

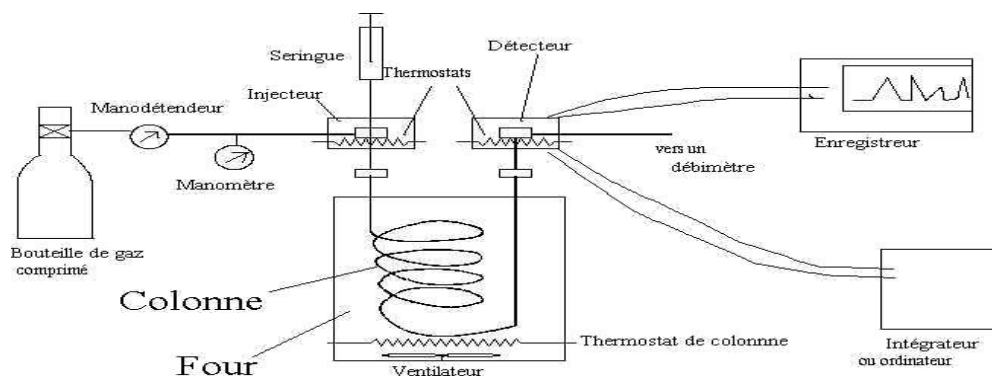


Figure 1. 14 : Schéma de l'appareillage de la CG [43].

1.7.2 Chromatographie gazeuse couplée à la Spectrométrie de masse

La spectrométrie de masse est une technique de détection extrêmement sensible qui permet de déterminer la structure moléculaire, la masse moléculaire et d'expliquer des mécanismes de rupture des liaisons. Elle est souvent couplée à la CG. L'association de ces méthodes de séparation et d'identification, permet d'étudier des mélanges complexes à l'état de traces et d'obtenir des informations sur la structure des molécules.

1.7.2.1 Définition et principe

En adaptant en sortie de colonne un détecteur de masse, on obtient le spectre de fragmentation de chacun des composés élués. À partir du courant ionique total, on peut tracer le chromatogramme représentatif des composés élués. Bien que cette méthode conduise à une sensibilité plus faible que les détecteurs classiques, elle est devenue irremplaçable dans un nombre important de dosages actuels. Le couplage du chromatographe et du spectromètre de masse est simplifié du fait de la nature de la phase mobile qui est gazeuse [44].

1.7.2.1 Appareillage

L'appareillage CG/SM permet de fournir un chromatogramme accompagné d'un ensemble de spectre de masse correspondant à chaque pic chromatographique, ce qui permet l'identification précise de la majorité des constituants séparés par la CG en comparant les spectres de masse obtenus avec ceux des produits de référence contenus dans les bibliothèques informatisées [45].

Lorsqu'on soumet un composé moléculaire à cette analyse, on déclenche plusieurs étapes en premier, l'ionisation où les molécules se volatilisent sous l'effet du vide et de la température (200°C), il résulte un mélange d'ions issus de la fragmentation de départ. En second, les ions formés se dirigent vers le dispositif de séparation sous l'effet d'un champ magnétique augmentant leur énergie cinétique, ensuite les ions sont séparés suivant leur rapport masse /charge, puis recueillis par un détecteur sensible aux charges électrique transportées. En dernier le signal sorti de l'appareil conduit au spectre de masse qui constitue la représentation conventionnelle de l'abondance des ions en fonction de leur rapport masse/charge qui sera traité [45].

1.7.3 Grandeurs de rétention

1.7.3.1 Temps de rétention

Le temps de rétention (t_r) c'est le temps écoulé entre le moment de l'injection et celui où le signal atteint son maximum. Un composé peut être identifié par son temps de rétention, dans des conditions parfaitement fixées, en comparant ce dernier à celui d'un composé témoin [46].

1.7.3.2 Indice de rétention

Ils comparent le temps de rétention de la substance identifiée à ceux de deux alcanes linéaires qui sont élués avant et après, ceci pour une phase stationnaire donnée. Cet indice est indépendant des conditions opératoires.

L'expression mathématique générale qui donne une meilleure approximation des indices de Kovats en chromatographie isotherme est la suivante [6,47]

$$I_x = 100 n + 100 \frac{\log (tr_x) - \log (tr_n)}{\log (tr_{n+1}) - \log (tr_n)} \dots (1. 1)$$

Van den Wool et Kratz ont par la suite introduit l'indice de rétention à température programmée [48,49]

$$I_x = 100 n + 100 \frac{(tr_x) - (tr_n)}{(tr_{n+1}) - (tr_n)} \dots (1.2)$$

Avec :

$t_r(x)$: C'est le temps de rétention du soluté (x) étudié.

$t_r(n)$: C'est le temps de rétention de l'alcane à z atome de carbone qui précède (x).

$t_r(n+1)$: C'est le temps de rétention de l'alcane à z+1 atome de carbone qui suit (x).

1.8 Études biologiques

L'activité biologique d'une huile essentielle dépend de sa composition chimique, des groupes fonctionnels de ses composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et des possibles effets synergiques entre ses composants. [50].

1.8.1 Activité antioxydante

La génération des espèces réactives de l'oxygène se produit naturellement au cours de la respiration cellulaire [52]. Elle inclut les radicaux libres et certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires dont la toxicité est importante [53]. Ces derniers endommagent la vie cellulaire en causant l'oxydation des lipides, des protéines et de l'acide désoxyribonucléique (ADN). L'évolution de cette oxydation semble être la cause de plusieurs maladies telles que le diabète, le cancer, les infections inflammatoires, les maladies cardiaques et accélèrent le processus de vieillissement [54].

1.8.1.1 Radicaux libres

Les radicaux libres sont des atomes ou des molécules portant un électron non apparié (électrons célibataires). Cette propriété rend ces éléments très réactifs du fait de la tendance de cet électron à se ré-apparier, déstabilisant ainsi d'autres molécules. Les molécules ainsi transformées deviennent à leur tour d'autres radicaux libres et initient ainsi une réaction en chaîne [54].

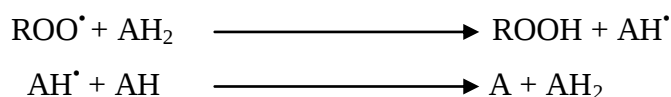
Les principaux radicaux libres sont l'oxygène, les ions superoxydes, les radicaux hydroxyles, le peroxyde d'hydrogène et les métaux de transition. Les radicaux libres, en oxydant les molécules dans les lipides, provoquent la mort des cellules. Toutefois le corps humain possède des mécanismes de défense contre les effets des radicaux libres.[55].

Les radicaux libres sont naturellement fabriqués par les cellules. Or, face à certains facteurs comme le tabac, la pollution ou les rayons UV du soleil, la fabrication peut être augmentée. L'excès de radicaux libres peut entraîner un vieillissement prématuré des

cellules, ou bien certaines maladies comme les cancers, les maladies neurodégénératives, les maladies cardiovasculaires... C'est là qu'interviennent les antioxydants ; en neutralisant les radicaux libres, ils empêchent la dégradation des cellules et protègent ainsi l'organisme

1.8.1.2 Antioxydants

Un antioxydant est défini comme une substance ajoutée à faible dose à un produit naturellement oxydable à l'air, et capable de ralentir ou d'inhiber le phénomène d'oxydation. Cette définition peut être élargie et le terme "antioxydant" englobe ainsi toutes les substances qui protègent les systèmes biologiques contre les effets délétères potentiels des processus ou réactions qui engendrent une oxydation excessive. Les antioxydants sont des corps donneurs d'atomes d'hydrogène [56], ou des molécules qui, par action sur les radicaux les transforment en corps stables selon les réactions suivantes :



Les antioxydants sont pour la plupart synthétiques (hydroquinone, pyrogallol, acide gallique et gallate), et sont rajoutés aux huiles dans l'industrie alimentaire. Ils peuvent par contre être présents à l'état naturel dans les huiles végétales (vitamine E, polyphénols de l'olivier et du chêne, flavonoïdes, certaines huiles essentielles) [53,54].

1.8.2 Activité antimicrobienne

Les maladies infectieuses représentent la cause majeure de mortalité dans le monde ; ce sont des infections provoquées par des microorganismes pathogènes telles que les bactéries, les virus, les parasites ou les champignons et touchent des millions de personnes dans le monde [55].

1.8.2.1 Propriétés antimicrobiennes

Un antimicrobien est une famille de substances qui tuent ou ralentissent, inhibe la croissance des microbes tels les bactéries, les mycètes, les virus, ou les parasites. Certaines espèces microbiennes pathogènes, sont de moins en moins sensibles aux antibiotiques et développent des résistances multiples à ces derniers. L'usage des huiles essentielles, grâce à leur forte action antimicrobienne développée depuis plus d'une vingtaine d'année, constitue un sérieux substitut au traitement par les antibiotiques dans les pathologies infectieuses [57].

Les huiles essentielles ont un spectre d'action très large puisqu'elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celles des moisissures et des levures. Leur activité antimicrobienne est principalement fonction de leur composition chimique, et en particulier de la nature de leurs composés volatils majeurs, parmi ces composés chimiques ayant une efficacité à large spectre antibactériennes et antifongiques sont les phénols, les aldéhydes, les alcools et les cétones terpéniques. Pour les terpènes les avis divergent encore [57].

1.8.2.2 Mode d'action contre les bactéries

Le mode d'action est assez complexe et difficile à cerner du point de vue moléculaire vu la complexité de la composition chimique des HEs, d'où la probabilité que chacun des constituants des HEs a son propre mécanisme d'action [17]. D'une manière générale, leur action se déroule en trois phases :

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

1.8.2.3 Méthode d'évaluation de l'activité antibactérienne

Il existe diverses méthodes pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne ; méthode de diffusion au milieu solide et la méthode de diffusion au milieu liquide.

❖ Méthode de diffusion sur disques

La méthode de diffusion sur disques, également appelée méthode de diffusion sur milieu d'agar, consiste à mesurer in vitro l'effet antibactérien des extraits et des huiles essentielles. Cette méthode est équivalente à un antibiogramme, dans notre cas l'antibiotique est remplacé par les huiles essentielles.

Cette méthode repose sur le pouvoir migratoire des huiles essentielles déposer sur un disque de papier de diamètre de 6mm, sur un milieu solide à l'intérieur d'une boîte de Pétri. Cette méthode permet de mettre en évidence, l'effet antibactérien de l'huile essentielle sur les bactéries, ainsi que la détermination de la résistance ou la sensibilité de ces bactéries vis-à-vis des huiles essentielles [58].

Matériel et méthodes

2.1 Objectifs et méthodologie

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des produits naturels, issus des plantes médicinales méditerranéennes. Nous avons voulu apporter par la présente étude notre contribution à l'évaluation d'une meilleure huile essentielle relative aux activités biologiques, caractérisations physico-chimiques ainsi qu'à la composition chimique des deux espèces végétales de genre *Lavandula* (une spontanées et une autre cultivée), à caractère médicinal, du centre, de l'est et de l'ouest de l'Algérie. Dans le contexte de recherche des composés bioactifs, qui peuvent trouver des applications dans le domaine agroalimentaire et pharmaceutique. Notre démarche expérimentale est résumée à travers le schéma suivant (**Figure 2.1**) :

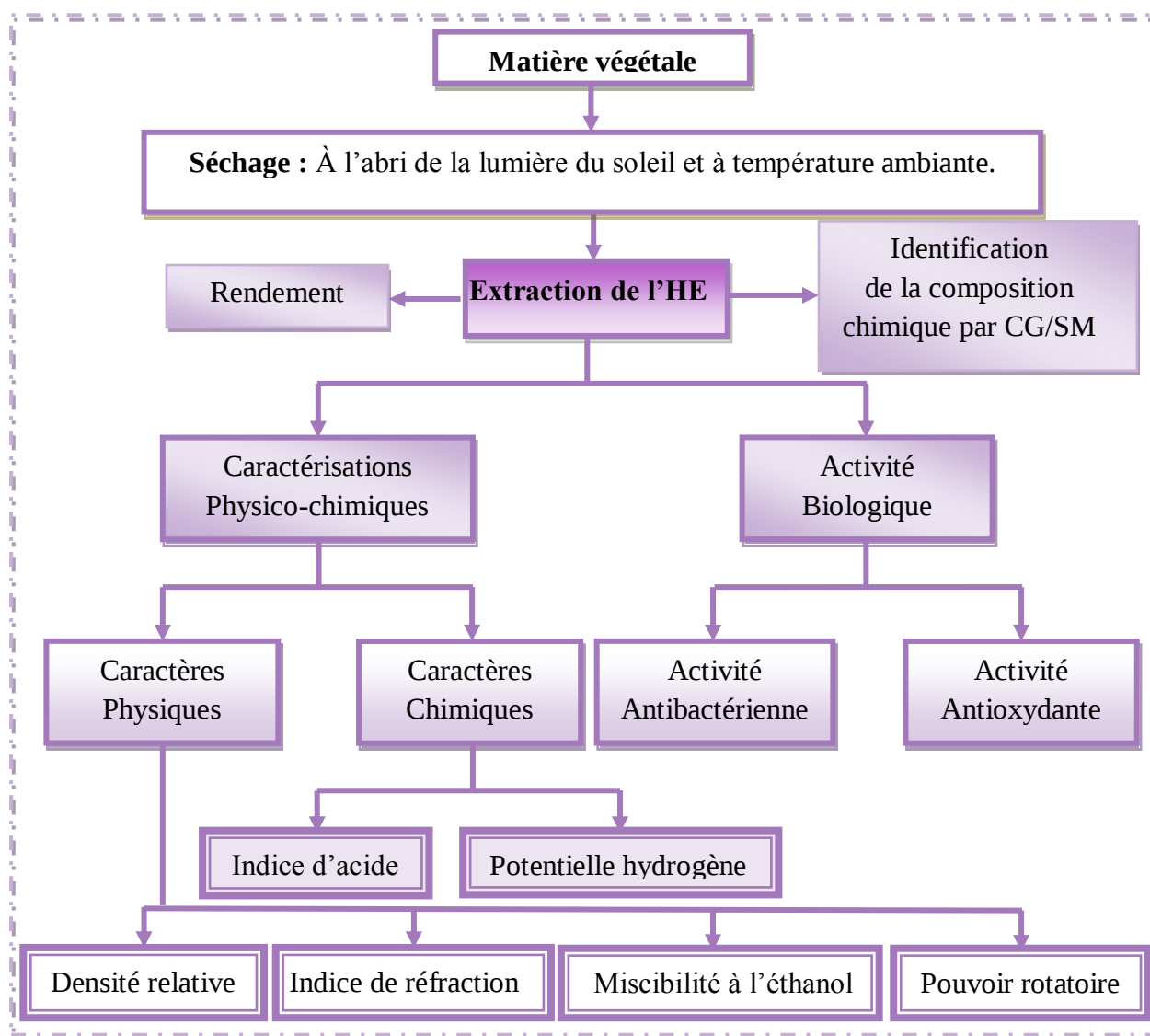


Figure 2.1 : Schéma illustrant la démarche expérimentale suivie dans cette étude.

2.2 Materiel botaniques

Notre étude a porté sur la partie aérienne (feuilles, fleurs et tiges) de deux espèces *Lavandula Stoechas* et *Lavandula Angustifolia* Miller, récoltées pendant le mois de juin-juillet dans deux lieux de trois wilayas différentes (Tizi Ouzou, Tlemcen et Annaba) (**Figure 2.2**). L'ensemble des matériels, équipements ainsi que des produits utilisés sont mentionnés dans l'annexe 1.

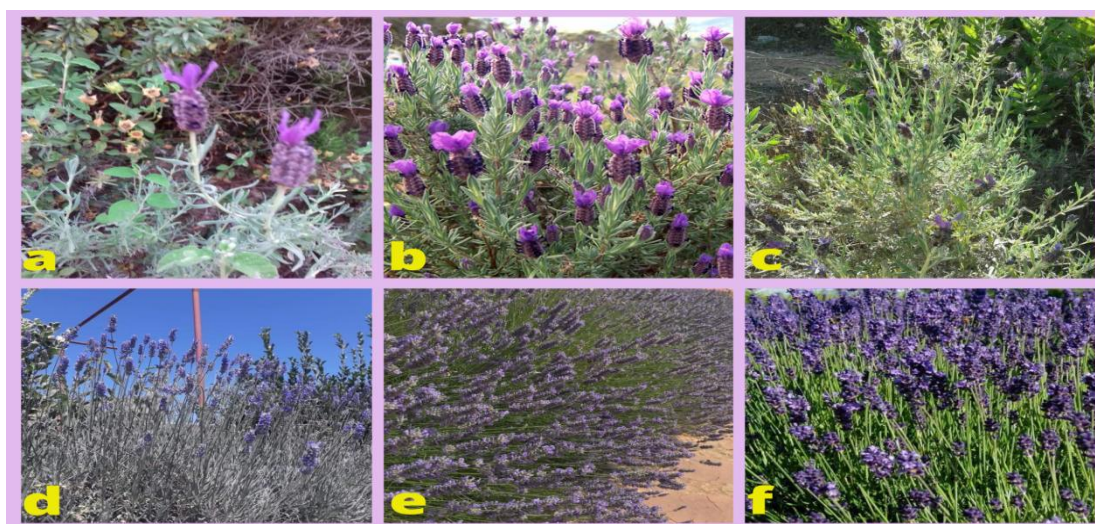


Figure 2.2 : *Lavandula Stoechas* et *Lavandula Angustifolia* Miller des trois wilayas.

a : *L Stoechas* de Tinsauine (Tizi Ouzou) ; **b :** *L Stoechas* de Ain Ghoraba (Tlemcen) ; **c :** *L Stoechas* de Oued El Aneb (Annaba) ; **d :** *L Angustifolia* Miller de Tiril't-N-Takhbirt (Tizi Ouzou) ; **e :** *L Angustifolia* M de Parc National de Tlemcen (Tlemcen) ; **f :** *L Angustifolia* M de Seraïdi (Annaba).

2.3 Présentation des régions d'étude

2.3.1 Situation géographique de la wilaya de Tizi Ouzou

Tizi Ouzou (ⵜⴰⵣⴰⵢⵔⵉⵣⴰⵢⵔⴰ ⵜⴰⵣⴰⵢⵔⵉⵣⴰⵢⵔⴰ) est une wilaya algérienne, située dans la Grande Kabylie, en plein cœur du massif du Djurdjura et à 88 km de la capitale. Elle est limitée au sud par la wilaya de Bouira, à l'est par la wilaya de Béjaïa, à l'ouest par la wilaya de Boumerdès et au nord par la mer méditerranée. Son climat est chaud en été et froid en hiver. Le sol est de type acide, principalement des terres bruyère [59].

La récolte des deux variétés de la *Lavandula* a été faite dans deux lieux différents de la commune de Yakouren, située à 46 km de l'est de Tizi Ouzou dont *Lavandula Stoechas* à Tinsauine et *Lavandula Angustifolia* Miller à Tiril't-N-Takhbirt (**Figure 2.3**). La Situation géographique est détaillée dans le **tableau 2.1** [60] :

Tableau 2. 1 : Situation géographique et bioclimatique des stations de Tizi Ouzou.

Lieu	Longitude	Latitude	Altitude	Étage bioclimatique
Tinsaouine	4°46'62'93 E	36°73'71 N	730 m	Humide
Tiril't-N-Takhbirt	4°42'91'72 E	36°74'44'70 N	780 m	Humide

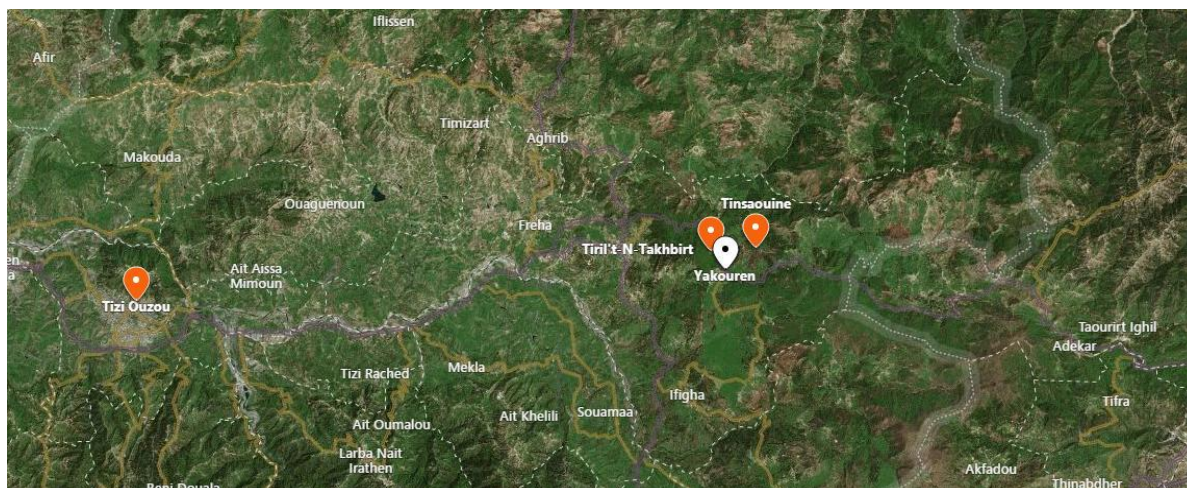


Figure 2. 3 : Zones géographiques des récoltes à Tizi Ouzou.

2.3.2 Situation géographique de la wilaya de Tlemcen

La wilaya de Tlemcen est située sur le littoral nord-ouest du pays, à 432 km de la capitale. Elle est limitée au nord par la mer méditerranée, au sud par la wilaya de Naàma, à l'ouest par la frontière Algéro-Marocaine et à l'est par les wilayas de Sidi-Bel-Abbès et Ain Témouchent. Son climat est méditerranéen avec un été chaud [61].

La récolte des deux variétés de la *Lavandula* a été faite dans deux lieux différents, dont *Lavandula Stoechas* à Ain Ghoraba et *Lavandula Angustifolia* Miller au Parc National de Tlemcen, à 27 km et 17 km respectivement du sud-ouest de Tlemcen (**Figure 2. 4**). La Situation géographique est détaillée dans le **tableau 2.2** [60]:

Tableau 2. 2 : Situation géographique et bioclimatique des stations de Tlemcen.

Lieu	Longitude	Latitude	Altitude	Étage bioclimatique
Ain Ghoraba	1°26'32'8 W	34°46'08'5 N	829 m	Subhumide
Parc National de Tlemcen	1°19'09.4 W	34°51'59'8 N	805 m	subhumide

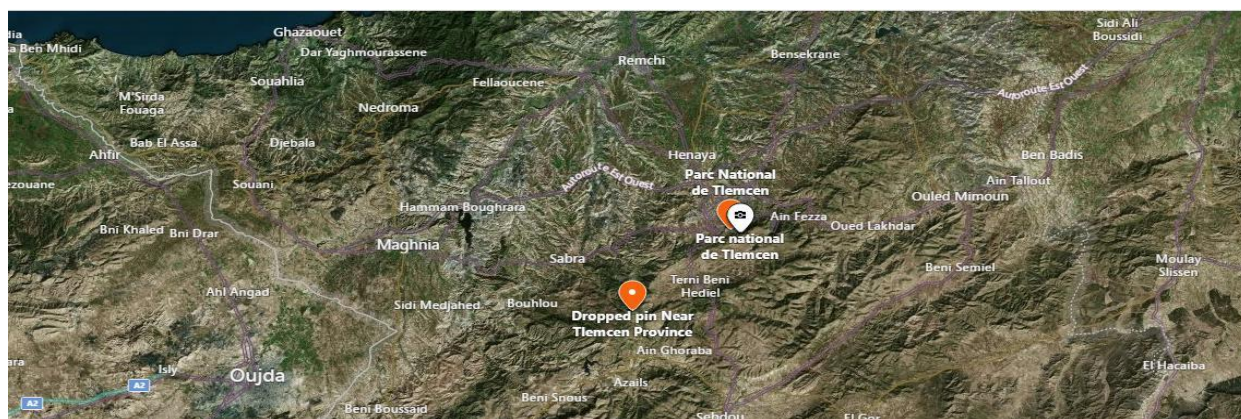


Figure 2. 4 : Zones géographiques des récoltes à Tlemcen

2.3.3 Situation géographique de la wilaya d'Annaba

Annaba se situe dans le nord-est de l'Algérie, à 600 km de la capitale. Elle est limitée géographiquement, au nord par la mer Méditerranée, au sud par la wilaya de Guelma, à l'est par la wilaya d'El-Taref et à l'ouest par la wilaya de Skikda. Son climat est du type méditerranéen, humide en hiver, chaud en été avec un sol argileux [61].

La récolte des deux variétés de *Lavandula* a été faite dans deux lieux différents, dont *Lavandula Stoechas* à Oued El Aneb et *Lavandula Angustifolia* Miller à Seraïdi située à 24 km et 13,3 km respectivement d'Annaba (**Figure 2.5**). La Situation géographique est détaillée dans le **tableau 2.3** [60]:

Tableau 2. 3 : Situation géographique et bioclimatique des stations d'Annaba

Lieu	Longitude	Latitude	Altitude	Étage bioclimatique
Oued El Aneb	7°31'48'1 E	36°50'46'9 N	128 m	subhumide
Seraïdi	7°40'34'1 E	36°54'20'8 N	850 m	subhumide

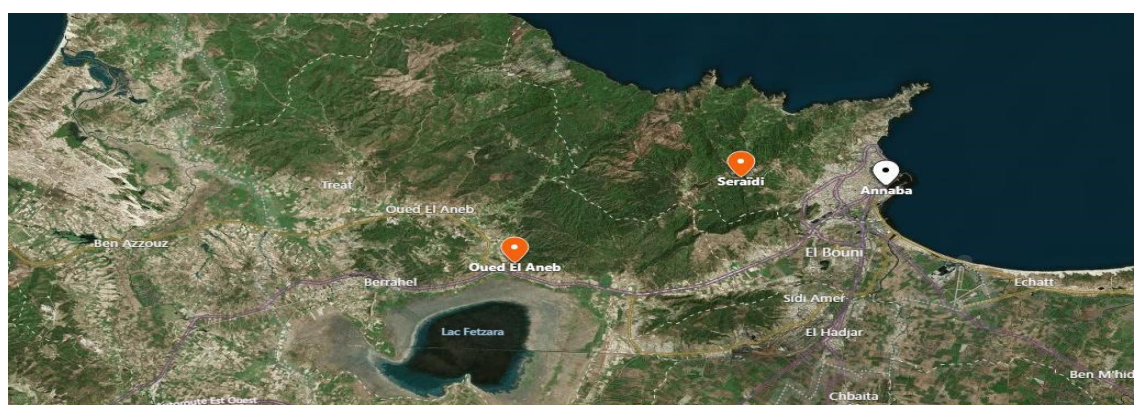


Figure 2. 5 : Zones géographiques des récoltes à Annaba.

2.4 Séchage

2.4.1 Perte à la dessiccation

Dans le but de déterminer le taux d'humidité, nous avons procédé à l'étude cinétique de la masse végétale en fonction du temps de la partie aérienne pour les 6 échantillons, en les pesant chaque jour jusqu'à atteindre une masse stable. Les échantillons sont séchés dans un endroit aéré et ombré. L'évolution de la perte de masse est obtenue par l'équation 2.1 [62] :

$$W\% = \frac{(m_h - m_s)}{m_h} * 100 \dots (2.1)$$

- W% : La teneur en eau du matériel végétal ou taux d'humidité (%).
- m_h : Poids du matériel végétal humide en fonction de temps (g).
- m_s : Poids du matériel végétal sec (g).

2.4.2 Détermination de la vitesse de séchage

La vitesse de séchage est la variation de la teneur en eau en fonction du temps, elle est définie comme suit [63] :

$$V = - \frac{dW}{dt} \dots (2.2)$$

V : la vitesse de séchage (% en poids d'eau/jour).

dW : la variation de la teneur en eau (%).

dt : la variation de temps (jour).

2.5 Procédés d'obtention des huiles essentielles

Le choix de procédé d'extraction des huiles essentielles a été fait selon les normes liées à son utilisation car la composition finale de l'huile est influencée par le procédé d'extraction [39] et la quantité de matière végétale. Nous avons procédé à deux méthodes d'extractions ; l'hydrodistillation classique et l'entraînement à la vapeur

2.5.1 Extraction des huiles essentielles par hydrodistillation

Elles ont été réalisées au laboratoire Viebio de Blida, c'est une entreprise artisanale d'extraction des huiles essentielles et végétales, et des hydrolats 100% purs et naturels.

❖ Mode opératoire

Une masse de 60g d'un échantillon (*L. Stoechas* ou *L. Angustifolia* Miller séchée) est placé dans un ballon dans lequel une eau de source est ajoutée jusqu'au 2/3 du volume total

de ballon, ce dernier est relié à un appareil de Clevenger et soumis à une température d'ébullition inférieure à 98°C à une pression atmosphérique pendant 2h30min. Les vapeurs formées montent le long de la colonne en entraînant les huiles essentielles. Ces vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et récupérées dans une ampoule à décanter. Les huiles essentielles obtenues sont conservées dans des flacons ombrés et hermétiques à température ambiante et à l'abri de la lumière pour éviter toute dégradation (**Figure 2. 6**).



Figure 2.6 : Montage Clevenger.

2.5.2 Extraction par entraînement à la vapeur

Les extractions par entraînement à la vapeur ont été réalisées à :

- Arom'Est à Annaba, une entreprise qui assure les extractions des huiles essentielles et fixes, la culture et séchage des plantes condimentaires et aromatiques.
- GottraBio à Oran, une entreprise spécialisée dans l'extraction des huiles essentielles.
- Yakouren, à Tizi Ouzou agriculteur indépendant. Spécialisé dans l'extraction des huiles essentielles 100% bio et naturelles, culture de plantes médicinales et aromatiques.

❖ Mode opératoire

Une masse de 15Kg à 30Kg d'un échantillon séché est placé dans une cuve en inox, et traversé par des vapeurs d'eau de source, à une température inférieure à celle d'ébullition d'eau (98°C), qui sont injectées de l'extérieur de l'alambic à une pression atmosphérique, pendant 2h30min. Cette vapeur libère les HEs, elle les entraîne avec elle vers le condenseur. L'HE est généralement moins dense que l'eau, elles se séparent dans l'essencier (**Figure 2.7**).



Figure 2.7 : Montage alambic.

2.5.3 Détermination du rendement d'extraction

L'évaluation de chaque extraction a été réalisée par le calcul de rendement, qui est défini comme étant le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue et la masse sèche de la matière végétale utilisée. Elle est donnée selon l'équation (2. 3) suivante [64] :

$$R_{HE} = \frac{M_{HE}}{M_S} \times 100 \dots (2. 3)$$

- R_{HE} : Rendement de l'huile essentielle (%).
- M_{HE} : Poids de l'huile essentielle extraite (g).
- M_S : Poids de la matière végétale utilisée pour l'extraction (g).

2.6 Caractérisation des huiles essentielles

Les plus anciens procédés d'évaluation de la qualité de l'huile essentielle sont le nez et le palais, qui permettent de classer les propriétés organoleptiques de l'essence. Mais pour éliminer toute subjectivité de jugement, une caractérisation plus précise s'est imposée par la suite; d'où la mise en place des normes internationales [62].

L'évaluation de la qualité des huiles est liée à la détermination des caractéristiques physiques (densité, indice de réfraction, pouvoir rotatoire et solubilité à l'alcool), des caractéristiques chimiques (indice d'acide et d'ester), du profil chromatographique et des constituants majoritaires de l'essence.

2.6.1 Caractérisation organoleptique

Elle est portée sur 3 volets ; l'aspect, la couleur et l'odeur.

2.6.2 Caractérisation physico-chimique

Dans le but d'estimer la qualité commerciale des essences étudiées, nous avons calculé suivant l'association française de normalisation AFNOR les indices physiques des six échantillons [62].

2.6.2.1 Caractères physiques

❖ Densité relative d_{20}^{20}

Elle constitue un point de repère important ; sa valeur permet d'avoir une idée sur la composition chimique de l'huile essentielle [64]. La densité relative à 20°C d'une huile essentielle est définie comme étant le rapport de la masse d'un volume d'huile essentielle à 20°C, à la masse d'un volume égal d'eau distillée à 20°C [27]

- Si la densité est inférieure à 0,9 les essences des plantes végétales sont riches en terpènes.
- Si elle est supérieure à 1, les essences contiennent des produits aromatiques, des sulfures et des nitrites.
- Si la densité est comprise entre 0,9 et 1, les essences ont une composition plus complexe

La densité relative de l'huile essentielle est calculée selon la loi suivante :

$$d_d^{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \dots\dots\dots (2. 4)$$

m_0 : masse du pycnomètre vide en g.

m_1 : masse du pycnomètre rempli d'eau purifiée en g.

m_2 : masse du pycnomètre remplie d'HE.

❖ Indice de réfraction n_d^{20}

L'indice de réfraction est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, passant de l'air dans l'huile essentielle maintenue à une température constante. La température de référence est de 20°C

L'indice de réfraction n_d^{20} à la température de référence est donné par la relation :

$$n_d^{20} = n_d^{t'} + 0.00045(T'-T) \dots\dots\dots (2. 5)$$

n_d^{20} : Indice de réfraction de référence ;

n_d' : Indice de réfraction mesuré de l'HE a une température T °C ;

T' : Température de mesure de l'indice de réfraction de l'HE ;

Il a été déterminé par la lecture directe à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe à une température de 20°C, indiquée par le thermomètre de l'appareil.

❖ Miscibilité à l'éthanol

La miscibilité à l'éthanol est un moyen rapide d'évaluation de la qualité de l'huile essentielle. Une huile essentielle est dite miscible à l'éthanol, quand le mélange d'un volume d'huile essentielle avec V volume d'éthanol donne une solution limpide

Elle a été réalisé sur 0,1 mL d'HE, on ajoute par fraction de 0,1 mL de l'éthanol jusqu'à dissolution complète puis on continue par des fractions de 0,5 mL jusqu'à 20 mL, sous une agitation magnétique, on note le volume d'alcool utilisé lorsque la solution devient limpide.

❖ Pouvoir rotatoire α_D^{20}

Le pouvoir rotatoire d'une huile essentielle est l'angle dont tourne le plan de polarisation de la lumière quand celle-ci traverse une épaisseur d'huile essentielle dans des conditions bien déterminées [81]. Elle est déterminée selon la relation :

$$\alpha_D^{20} = \frac{\alpha}{LC}$$

α : valeur lue sur l'appareil en milli degré

L : épaisseur du film en cm

C : concentration de l'essence (g/100 ml)

Il a été obtenu sur un polarimètre de Laurent équipé d'une lampe à raie du sodium de longueur d'onde 589 nm. La concentration des solutions de 0,2g d'HE dans 100mL d'éthanol.

Le pouvoir rotatoire est lié à la présence d'un ou plusieurs carbones asymétriques au sein de la molécule. On distingue deux types de substances optiquement actives [32]:

- Celle qui dévie le plan de polarisation d'un angle α vers la droite. Elle est dite dextrogyre.
- Celle qui dévie le plan de polarisation d'un angle α vers la gauche. Elle est dite lévogyre.

2.6.2.2 Caractères chimiques

❖ Indice d'acide

Une masse de 0,5 g de l'HE, un volume de 2,5 mL d'éthanol et 2 à 3 gouttes de la phénolphthaléine à 1% (Annexe 3) ont été introduit dans un erlenmeyer propre et sec, mélanger et homogénéiser, ensuite titré par une solution de KOH éthanolique 0,1N. (**Figure 2.8**).



Figure 2. 8 : Détermination de l'indice d'acide.

L'indice d'acide (I_A) est calculé par la formule suivante :

$$I_A = \frac{V \times N \times 56.11}{m} \dots (2. 6)$$

N: normalité de KOH.

V: le volume consommé de KOH en mL.

m : masse de l'huile en g.

❖ Potentielle d'Hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène mesure l'activité chimique des ions hydrogènes H^+ en solution. La mesure de pH a été faite à l'aide d'un papier pH.

2.7 Composition chimique d'huile essentielle

2.7.1 Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse CG/SM

L'analyse qualitative et semi-quantitative des HE par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse a été menée sur une colonne capillaire en silice fondue apolaire HP5 SM de 30 m équipée d'un détecteur à ionisation de flamme. Les conditions optimales d'analyse sont données dans le **tableau 2.4** :

Tableau 2. 4 : Conditions opératoires CG/SM.

CG/SM	
Chromatographie gazeuse • Appareil : Hewlett- Packard 6890. • Colonne : HP5 MS (30 m x 0.32 mm x 0.25 µm). • Gaz vecteur : Hélium. • Débit : 0.5 mL /mn. • Température de l'injecteur : 250°C. • Température du détecteur : 250°C. • Quantité injectée : 0.2 µL. • Température de colonne : 60°C/8 min à 250°C/15 min à raison de 3°C/min.	Spectrométrie de masse • Appareil : Agilent MSD 5973. • Mode d'ionisation : impact électronique. • Tension d'ionisation : 70 eV, basse résolution. • Balayage automatique : m/z 25 à 350. • Température de la source : 280°C. • Interface : Couplage direct. • Pression : 2.10-6 Torr.

Afin de calculer les indices de rétention des différents constituants, un mélange d'alcane a été injecté sous les mêmes conditions. Le pourcentage de chaque constituant dans l'essence est calculé par intégration des aires du chromatogramme.

2.7.2 Identification des composés

L'identification des composés séparés sur la colonne apolaire ont été déterminés par comparaison des spectres de chaque constituant à ceux donnés par les bibliothèques Wiley 7, NIST 02 et NIST 1.1 [65]. Les résultats ont également été confirmés par la comparaison de leurs indices de rétention, par rapport à C₇-C₂₈ n-alcane [66] injectés en CG/SM sur une colonne capillaire dans les mêmes conditions que les huiles. Certains constituants ont été confirmés par l'analyse des étalons dans les mêmes conditions décrites ci-dessus. Le pourcentage de la composition de chaque constituant dans les huiles a été estimé par la méthode de normalisation des aires des pics [65].

2.8 Activité biologique

2.8.1 Évaluation de l'activité anti-oxydante par le piégeage de H₂O₂

L'activité antioxydante exprime la capacité de réduction des radicaux libres. Elle a été évaluée par le piégeage du radical peroxyde d'hydrogène [67].

2.8.1.1 Protocole expérimental

- **Solution de peroxyde :** La solution de H₂O₂ (2mmol/L) a été préparée dans le tampon phosphate (pH=7.4, Annexe 4).

- **L'échantillon** : Une solution méthanolique (0.1 mL) de l'échantillon à évaluer de concentration de 1mg/L est mélangée avec 0,6mL de la solution de H₂O₂ et 3,3 mL de tampon phosphate (**Figure 2.9**), préparée en trois essais, agitée, maintenue et incubée pendant 10 min avant de prendre la mesure de l'absorbance dans un spectrophotomètre à 230 nm
- **Le blanc** : Le blanc a été préparé à partir de 0,6 mL de la solution de H₂O₂ et 3,3 mL de tampon phosphate dilué par 0,1ml de tampon phosphate ou d'alcool, La mesure de l'absorbance à 230 nm est prise après 10 min d'incubation à l'obscurité [67].

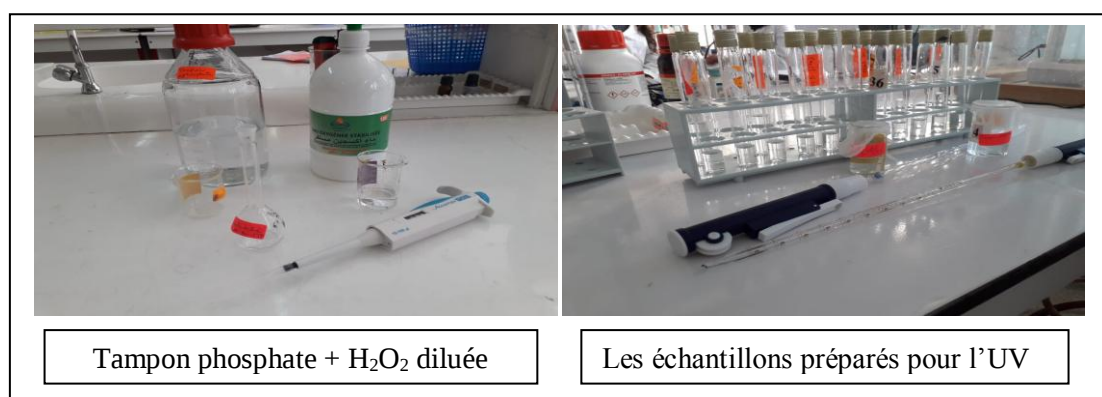


Figure 2. 9 : Détermination de l'activité antioxydante.

2.8.1.2 Détermination de l'inhibition du radical peroxyde

La moyenne sur trois essais des pourcentages de l'inhibition du radical libre de peroxyde a été calculée à partir de l'équation 2. 7:

$$\% \text{ IR}_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \dots \dots \dots (2. 7)$$

A₀ : représente l'absorbance de blanc.

A₁ : représente l'absorbance de l'échantillon.

2.8.2 Étude de l'activité antibactérienne

L'étude de l'activité antibactérienne a été réalisée au niveau de laboratoire de microbiologie de Centre Hospitalo-universitaire de Tizi Ouzou.

Dans notre travail nous nous sommes intéressées à la méthode de diffusion sur disques. Elle consiste à mesurer in vitro l'effet antibactérien des huiles essentielles. Cette méthode est équivalente à un antibiogramme, dans ce cas l'antibiotique est remplacé par les huiles essentielles, elle fournit des résultats préliminaires sur la sensibilité des souches et les

activités antibactériennes, grâce aux diamètres des zones d'inhibition apparaissant autour des disques mesurés en millimètres.

La sensibilité à l'huile a été classée par le diamètre des halos d'inhibition [58]:

- Non sensible (-) pour les diamètres inférieur ou égale à 8mm ;
- Sensible (+) pour des diamètres de 9 à 14mm ;
- Très sensible (++) pour des diamètres de 15 à 19mm ;
- Extrêmement sensible (+++) pour les diamètres plus de 20mm.

2.8.2.1 Matériel microbiologique

Les informations concernant les souches bactériennes testées dans notre présent travail et fournis par le CHU de Tizi Ouzou (laboratoire de microbiologie) sont détaillées dans le **Tableau 2.5** ci-dessous :

Tableau 2. 5 : Souches bactériennes étudiées.

Souches	Caractéristiques	Souche de référence
<i>Staphylococcus aureus</i>	Cocci à Gram+ ubiquitaire, commensal de l'homme, se révèle être pathogène. Responsable d'infections nosocomiales, d'intoxications alimentaires, sa résistance aux antibiotiques est parfois un grand problème pour patients.	ATCC 29213
<i>Escherichia coli</i>	Bacille aérobie à Gram- que l'on trouve couramment dans le tube digestif de l'être humain et des animaux à sang chaud.	ATCC 25922
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacille aérobie strict de genre <i>Pseudomonas</i> , regroupe des bactéries mobiles de Gram-, de 2 à 4 µm de longueur, en forme de bâtonnets renflés, avec un flagelle polaire qui joue un rôle important dans la pathogénicité.	ATCC 27853
		ABS

2.8.2.2 Procédure expérimentale

Le test de sensibilité des bactéries aux différentes fractions des extraits est réalisé in vitro par la méthode de diffusion en milieu gélosé. Les différentes souches bactériennes sont repiquées par la méthode des stries sur gélose Mueller Hinton, puis incubées à l'étuve à 37°C pendant 24 heures. A partir de ces cultures jeunes, des colonies pures sont isolées pour préparer l'inoculum bactérien. Chaque colonie est mise en suspension dans 2.5 mL d'eau physiologique stérile.

CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'ensemencement de l'inoculum est réalisé par écouvillonnage, en effectuant des stries serrées sur la gélose. Cette opération est répétée 3 fois en tournant la boîte de 60°. Tous les disques stériles de papier Wattman de 6 mm de diamètre sont déposés délicatement sur le milieu gélosé ensemencé préalablement avec une suspension bactérienne des souches testées. Ensuite, 10 μ L de l'HE sont déposées. Après incubation à 37 °C durant 24 heures, les diamètres des zones claires d'inhibition autour des disques sont mesurés (**Figure 2.10**).



Figure 2. 10 : Protocole des tests microbiologiques effectués au laboratoire de microbiologie.

Résultats et discussions

3.1 Séchage

Les plantes ont été séchées à l'air libre et à l'abri de la lumière, pour préserver un maximum des molécules et en évitant les altérations et la prolifération des micro-organismes.

3.1.1 Détermination du taux d'humidité

Le séchage apparaît comme une étape essentielle pour déterminer la teneur en eau dans *L. Angustifolia* Miller et *L. stoechas* fraîchement cueillit dans trois régions. A cet effet, nous avons calculé la teneur en humidité des plantes (Annexe 2).

Les plantes des deux variétés renferment une teneur en eau relativement supérieure à 50% (**Figure 3.1 et 3.2**). Ceci signifie que plus de la moitié du poids des plantes est constitué d'eau.

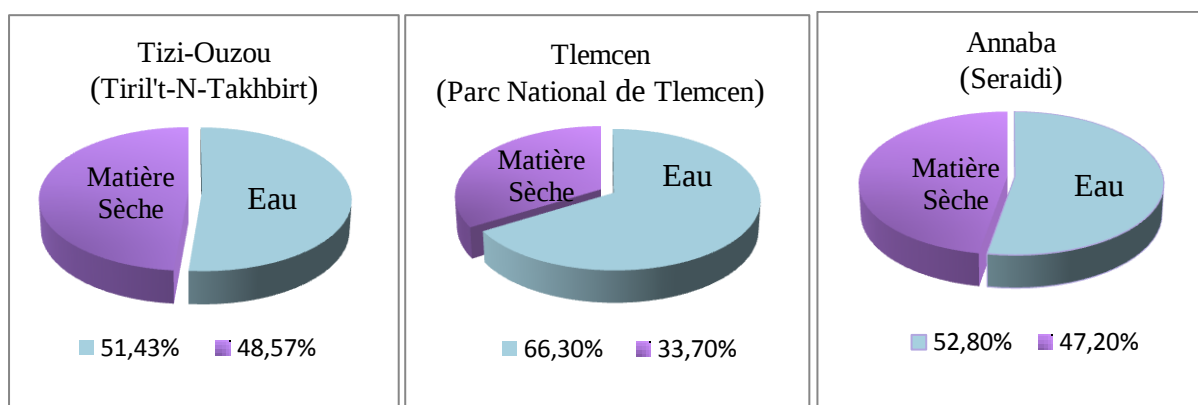


Figure 3. 1 Teneur en eau de *Lavandula Angustifolia* Miller des trois régions.

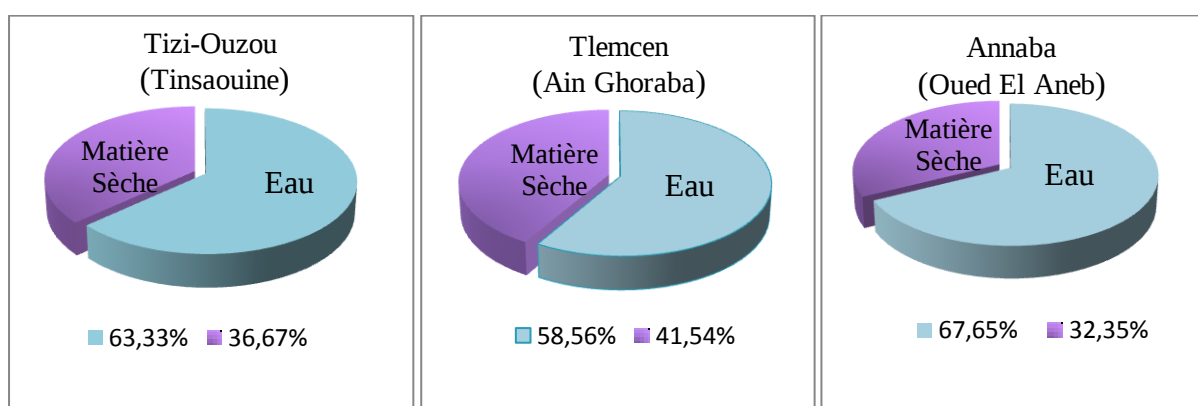


Figure 3. 2 : Teneur en eau de *Lavandula Stoechas* des trois régions.

Les végétaux sont riches en eau, les plantes fraîches renferment 60 à 80 % d'eau. Pour assurer une bonne conservation, la teneur en eau doit être inférieure ou égale à 10 % [68]. L'analyse de nos échantillons a révélé un taux d'humidité important de (51,43-66,30%) pour

L. Angustifolia et (58,56-67,65%) pour *Lavandula Stoechas*. Les résultats montrent des écarts entre les taux d'humidité enregistrés pour les trois régions de chaque espèce. La région de Tlemcen présente la teneur en eau la plus élevée 67,65% dans *L. Angustifolia* Miller. Par contre elle enregistre le taux d'humidité le plus faible pour *L. Stoechas*.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la teneur en eau et en matière sèche des plantes comme la nature des fibres, l'âge des plantes, l'état du sol et la durée de conservation du végétal après la récolte [69]. Après que le séchage est achevé, le taux d'humidité passe de 100 à 0 %. La teneur en eau, inférieure à 10% confère à notre plante séchée une meilleure conservation à long terme.

3.2 Cinétique de séchage

Les courbes de vitesse de séchage en fonction du temps nous a permis de distinguer deux phases. La première qui décrit une vitesse de séchage décroissante et une deuxième qui décrit la vitesse de séchage constante (**Figure 3.3**) (**Annexe 2**). Qui sont conformes à la description classique de séchage [63].

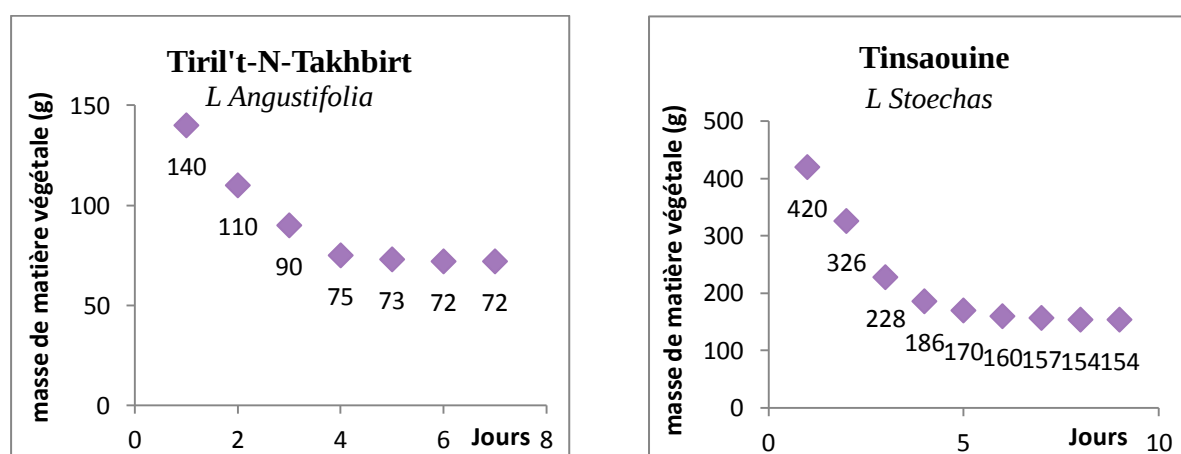


Figure 3.3 : Variation de la teneur en eau en fonction du temps.

Les courbes obtenues sont identiques, d'allure hyperbolique, constituées de deux phases :

- **Première phase :** Une diminution rapide de l'humidité de la matière végétale, correspondant à l'évaporation superficielle de l'eau.
- **Deuxième phase :** La teneur en eau diminue lentement, jusqu'à atteindre l'humidité d'équilibre qui tend vers zéro, à ce moment, le séchage est achevé.

3.3 Détermination du rendement des huiles essentielles

Les rendements moyens en huiles essentielles ont été calculés en fonction de la matière végétale sèche de la partie aérienne de la plante. Les résultats des rendements des huiles de deux variétés sont regroupés dans la **figure 3.4**.

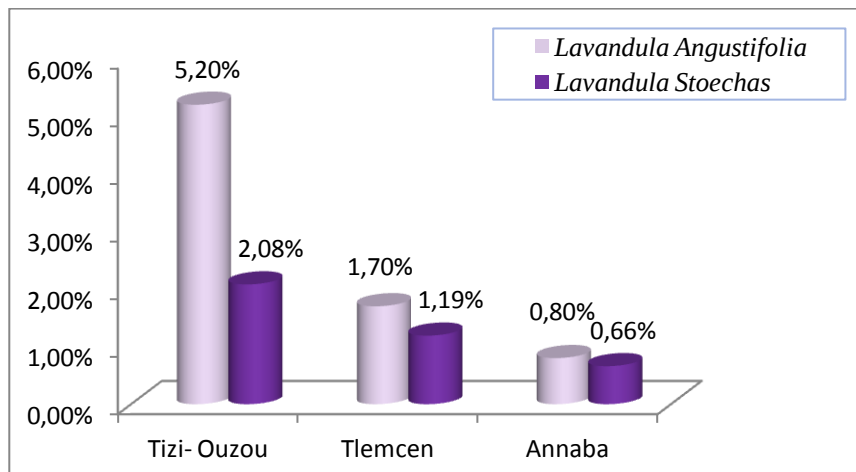


Figure 3. 4 : Rendements des huiles essentielles de *L. Angustifolia* et *L. Stoechas*.

3.3.1 *Lavandula Angustifolia*

D'après les résultats cités dans la littérature, il est bien évident que *L. Angustifolia* Miller renferme un bon rendement en huile essentielle (0,7- 4,7%) (**Tableau 3.1**). Les résultats obtenus dans ce travail (0,8-5,2%) sont compris dans l'intervalle cité. Néanmoins, ils montrent une variation importante des rendements des HE pour les trois régions.

Tableau 3. 1: Littérature des rendements de *L. Angustifolia*.

Régions	Constantine	Tlemcen	Skikda	Maroc	France	États-Unis
Rendements	1,36% [70].	0,70 - 0,94 % [71].	1,50% [72].	4,70% [73].	0,50% [74].	1,30% [75].

L'HE de la région de Tizi Ouzou extraite par Clevenger donne un rendement plus élevé 5,2 %, comparé à ceux obtenus pour les autres régions par un procédé industriel (un alambic) et ceux cités dans la littérature pour les régions d'Algérie (0,70-1,50%) et d'autre pays (1,30-4,70%) (Tableau 3.4). La teneur en huile essentielle de la région de Tlemcen 1,7 % est largement supérieure à celle déjà signalée dans cette région (0,94%-0,70%) [71].

3.3.2 *Lavandula Stoechas*

Au vu de nos résultats les rendements en HE de la *L. Stoechas* montrent une concordance avec ceux cités dans la littérature (0,06 – 2,5%) [76,77] (**Tableau 3.2**). Le rendement de l'HE de la région de Tizi Ouzou est plus élevé que ceux des deux régions de Tlemcen et Annaba.

Tableau 3. 2 : Littérature des rendements de *L. Stoechas*.

Régions	Jijel	Grèce	Turquie	Inde	Boumerdes	N. Algérie	Tlemcen
Rendements	2,5 % [77].	0,06-1,46% [76].	1,33% [78].	0,77-1,2% [79].	0,43 % [80].	0,34-1,63% [81].	1-2,01% [82].

Le rendement moyen de l'HE de la région de Tizi Ouzou 2,08% est similaire à ceux déterminés dans des études réalisées pour les régions d'Algérie, qui varie de (0,34 à 2,01%) [81,82] et (0,77 à 1,2%) [79]. Concernant les rendements des HEs des deux régions de Tlemcen et Annaba (1,19% et 0,66%) respectivement sont semblables à ceux trouver au Nord Algérien (0,34%-1,63%) [81], en Grèce (0,06%-1,46%) [76] et en Inde (0,77-1,2%) [79].

Les variations des teneurs en HE peuvent être dues à plusieurs facteurs cités dans la bibliographie notamment le degré de maturité des fleurs, méthode d'extraction l'interaction avec l'environnement (type de climat, sol, les parasites, virus et mauvaises herbes) [83,84], le moment de la récolte et l'origine géographique [85]. Et plusieurs travaux aussi relatifs au séchage des plantes aromatiques et médicinales indiquent des modifications considérables, particulièrement sur le plan quantitatif au niveau des HEs. Or, une plante si elle n'est pas séchée dans de bonnes conditions, elle risque de se dégrader, et par la suite, la perte de la totalité de ses HEs [86].

Même si toutes ces études indiquent une forte variabilité dans la teneur en HEs de genre *Lavandula*, mais elles sont toutes d'accord pour dire que ces espèces, comme quelques autres espèces de *Lavandula* sont riches en HEs et permet de les considérer comme des plantes aromatiques [87].

3.4 Caractérisations organoleptiques des huiles essentielles

Les caractères organoleptiques des huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller et de *L. Stoechas* des trois régions sont résumées dans les **tableaux 3.3 et 3.4**. Les paramètres organoleptiques de nos HEs sont en accord avec ceux répertoriés dans les normes AFNOR [62].

Tableau 3. 3 : Caractères organoleptiques des huiles essentielles de *L. Angustifolia*.

Caractéristiques	Tizi Ouzou (Tiril't-N-Takhbirt)	Tlemcen (Parc national de Tlemcen)	Annaba (Seraïdi)	ISO [88]
Aspect	Liquide mobile, limpide			Liquide, mobile, limpide.
Couleur	Jaune pâle		Jaune	Jaune clair.
Odeur	fraîche et aux notes fleuries.		fraîche et fleurie.	Très légèrement camphrée.

Tableau 3. 4 : Caractères organoleptiques des huiles essentielles de *L. Stoechas*.

Caractéristiques	Tizi Ouzou (Tinsaouine)	Tlemcen (Ain Ghoraba)	Annaba (Oued El Aneb)	AFNOR [62]
Aspect	Liquide mobile, limpide			Liquide mobile, limpide.
Couleur	Jaune pâle		Jaune	Jaune clair.
Odeur	Forte, agréable et propre à la plante.	Odeur caractéristique.	Forte, herbacée et agreste.	très légèrement camphrée.

3.5 Caractères physiques

3.5.1 *Lavandula Angustifolia*

Les indices physiques (densité d_{20}^{20} , indice de réfraction n_D^{20} , pouvoir rotatoire α_D^{20} et la miscibilité dans l'éthanol) de nos huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller des trois régions sont regroupées dans le **tableau 3.5**.

Les densités relatives des huiles essentielles de *L. Angustifolia* sont comparables aux valeurs de la norme ISO [88]. L'indice de réfraction de l'huile essentielle de la région d'Annaba est dans l'intervalle de la norme ISO [88]. Concernant les indices de réfraction des huiles essentielles des deux régions (Tizi Ouzou et Annaba) les valeurs sont légèrement élevées par rapport à celles de la norme. Ce qui indique une pureté moins attendu de ces huiles essentielles.

Le pouvoir rotatoire des 3 échantillons sont dextrogyre est compris dans l'intervalle [-12 et -16] de la norme ISO [88]. Les huiles essentielles de la région d'Annaba présentent des solutions limpides avec l'éthanol (96° et 80°) après ajout par fraction de 0,1ml puis 0,5ml

jusqu'à 20ml. Par contre les huiles essentielles des deux espèces de Tizi Ouzou et de Tlemcen, les solutions sont troubles à 80° et limpide à 96°.

Tableau 3. 5 : Caractères physique des huiles essentielles de *L. Angustifolia*.

	Tizi Ouzou (Tiril't-N-Takhbirt)	Tlemcen (Parc national de Tlemcen)	Annaba (Seraïdi)
d_{20}^{20}	0.8917	0.892	0.8702
AFNOR [62]	0,878 - 0,892		
η_D^{20}	1.474	1.475	1.466
AFNOR [62]	1.460 - 1.466		
α_D^{20}	- 10.8	- 8.9	- 7.8
AFNOR [62]	Compris entre -12 et -6		
M_E 96° (mL)	V/V	V/V	V/V
M_E 80° (mL)	2,3V/ 3V	V/4V	V/V

d_{20}^{20} : densité ; η_D^{20} : indice de réfraction ; α_D^{20} : pouvoir rotatoire ; M_E : miscibilité dans l'éthanol

3.5.2 *Lavandula Stoechas*

Les densités relatives, les indices de réfraction, les pouvoirs rotatoires ainsi que la miscibilité dans l'éthanol des huiles essentielles de *L. Stoechas* des trois régions déterminés selon les normes AFNOR [62]. Les résultats sont rassemblés dans le **tableau 3.6**.

Tableau 3. 6 : Caractères physique des huiles essentielles de *Lavandula Stoechas*.

	Tizi Ouzou (Tinsaouine)	Tlemcen (Ain Ghoraba)	Annaba (Oued El Aneb)
d_{20}^{20}	0.9375	0.9291	0.9418
AFNOR [62]	0,922 - 0,950		
η_D^{20}	1.467	1.468	1.473
AFNOR [62]	1.465 - 1.475		
α_D^{20}	- 7.8	- 11.4	- 7.8
AFNOR [62]	Compris entre -11.5 et -6		
M_E 96° (mL)	V/V	V/V	V/V
M_E 80° (mL)	3V/4V	V/V	V/V

d_{20}^{20} : densité ; η_D^{20} : indice de réfraction ; α_D^{20} : pouvoir rotatoire ; M_I : miscibilité dans l'éthanol

Les densités relatives de nos huiles essentielles de la *lavandula stoechas* des trois régions sont conformes à la norme ISO [88] et comprises dans l'intervalle [0,922 - 0,950].

Les indices de réfraction des HEs sont normatifs selon les standards français des huiles essentielles [1.465 - 1.475]. Ce qui assure la pureté de nos HEs.

La densité constitue un critère très important pour évaluer la qualité d'une huile essentielle. Elle peut facilement donner un aperçu sur la naturalité des produits, ainsi que les tentatives de fraudes et d'altération. Les densités relatives des huiles essentielles des deux variétés sont comprises dans les intervalles de la norme ISO [88]. Elles sont donc de composition chimique complexe (mélange de carbures terpéniques, d'alcools, d'aldéhydes, de cétones et d'esters), leurs indices de réfraction sont relativement proches.

L'indice de réfraction est un paramètre d'identification qualitative, et une manière de vérifier le degré de pureté des huiles essentielles. Chaque substance a son indice de réfraction spécifique. Plus l'indice de réfraction d'un produit est près de la valeur attendue, plus sa pureté est grande. Ce qui témoigne de la haute pureté des huiles essentielles de la *Lavandula stoechas* pour les trois régions. Par contre pour la *Lavandula Angustifolia* seule l'huile d'Annaba présente une pureté considérable.

La déviation de la lumière est vers la gauche (dextrogyre) pour tous les échantillons est comprise dans l'intervalle [-11.5 et -6] de la norme ISO [88].

Les huiles essentielles des trois régions présentent des solutions limpides avec l'éthanol 96° après ajout par fraction de 0,1ml puis 0,5ml jusqu'à 20ml. Par contre après l'ajout de l'alcool 80° seul l'huile essentielle de Tizi Ouzou est trouble. Alors que les solutions des huiles des deux variétés d'Annaba et de Tlemcen sont limpides.

3.6 Caractères chimiques

La densité et l'indice de réfraction sont deux valeurs propres constantes d'un liquide pur. Elles sont toujours mesurées, mais elles sont indiquées à titre indicatif, car la complexité des huiles essentielles ne permet pas de détecter les fraudes uniquement grâce à elles. Il en va de même pour le pouvoir rotatoire. L'analyse chimique reste donc indispensable et la mieux adaptée pour connaître la composition exacte de l'HE.

L'acidité est un critère de qualité d'une huile ; sa valeur dépend essentiellement des conditions de son stockage (lumière, humidité, température et oxygène) [89]. Les indices d'acide des huiles essentielles de *Lavandula Angustifolia* Miller et *Lavandula Stoechas* des trois régions sont regroupés dans le **tableau 3.7**.

Tableau 3. 7 : Indices chimiques des huiles essentielles de *L. Angustifolia* et *L. Stoechas*.

	Tizi Ouzou	Tlemcen	Annaba
V (mL)	0,2	0,15	0,35
I _A (<i>L. Angustifolia</i>)	2,24	1,68	3,93
V (mL)	0,1	0,2	0,2
I _A (<i>L. Stoechas</i>)	1,12	2,24	2,24
AFNOR	Maximum: 2		
pH	6 - 6,5		

3.6.1 *Lavandula Angustifolia*

L'indice d'acide de l'huile essentielle de *Lavandula Angustifolia* Miller de la région de Tlemcen est inférieur à 2. Qui est une preuve d'une bonne conservation de cette essence. Contrairement aux indices d'acide des huiles essentielles des régions de Tizi Ouzou et Annaba, qui sont supérieur à 2. Ceci peut-être due à la dégradation des huiles essentielles (hydrolyse des esters) durant leurs conservations.

3.6.2 *Lavandula Stoechas*

L'indice d'acide de l'huile essentielle de *Lavandula Stoechas* de la région de Tizi Ouzou est inférieur à 2. Ce qui confirme la bonne conservation de l'huile essentielle. Les indices d'acide des huiles essentielles des régions de Tlemcen et Annaba sont légèrement supérieurs à 2, ce qui est peut-être due à une dégradation de ces huiles essentielles.

Un indice d'acide élevé pour les huiles essentielles peut être bénéfique par addition de ces essences à un produit alimentaire possédant des matières grasses et des acides gras libres et oxydables. Cet effet stabilisateur se manifeste dans la mesure où l'oxydation affecte plutôt les acides libres de l'essence utilisée comme conservateur et protège ou limite donc l'oxydation des acides gras libres insaturés des produits alimentaires ce qui améliore à la fois la qualité nutritionnelle et organoleptique de ces produits [90].

Selon les normes AFNOR [62], les pH des HEs sont compris entre 5-6,5 (un caractère acide), et nos huiles essentielles sont conformes à cette exigence. Les pH des huiles essentielles des deux variétés est au voisinage de 6 mesuré à 20°C. Il convient de souligner que le pH joue un rôle déterminant au cours des réactions chimiques et biochimiques, et peut influencer les propriétés stabilisatrices d'une huile essentielle (effets antioxydant et antimicrobien). Par conséquent, ce résultat peut amener à un bon caractère stabilisateur contre les micro-organismes; ce qui permettra à ces huiles de jouer le rôle des conservateurs dans les produits alimentaires [90].

3.7 Analyse des huiles essentielles par cg/sm

La détermination des propriétés physico-chimiques est une étape nécessaire mais demeure non suffisante pour caractériser l'HE. Il est donc nécessaire de la compléter par des analyses chromatographiques : GC/SM, ces dernières, sont souvent utilisées comme moyen complémentaire pour l'analyse et l'identification qualitativement les huiles essentielles.

L'analyse qualitative et semi-quantitative des essences extraites par hydrodistillation a été effectuée à l'USTHB par CG/SM en impact électronique (IE) sur une phase stationnaire apolaire HP5MS (Poly méthyle siloxane, 30m x 0,25mm x 0,25µm) par la méthode de normalisation. L'identification a été réalisée par comparaison avec les spectres de masse déjà référenciés et à ceux de la banque de spectres (Nist02, 11 et Wiley 07) [65]. L'injection des n-alcanes, sous les mêmes conditions opératoires nous a permis de calculer les indices de rétention de tous les pics. Pour la composition semi quantitative des constituants, nous avons admis que le détecteur à ionisation de flamme réagissait de manière identique à tous les composés et que leurs coefficients de réponse étaient tous égaux à l'unité

3.7.1 *Lavandula Angustifolia*

L'analyse des huile essentielles de *L. Angustifolia* a permis d'identifier aux total 70 composés par ordre d'élution dont 55 communs aux trois huiles (Tableau 3.8), (68, LA1 représentant 99,35%), (64, LA2 ; 99,68%) et (61, LA3 ; 98,01%) de la composition totale des HEs des trois régions ; Tlemcen (LA1), Annaba (LA2) et Tizi Ouzou (LA3) respectivement.

La **figure 4.5** représente le chromatogramme de l'huile essentielle de *L. Angustifolia* de la région de Tizi Ouzou LA3. Les chromatogrammes de LA1 et LA2 sont représentés dans (**Annexe 5**) (**Figure A5.1**). Les huiles essentielles de *L. Angustifolia* des 3 régions présentent une prédominance en linalool, camphre, 1,8-cinéole, terpinene 4-ol, bornéol et linalyl acétate.

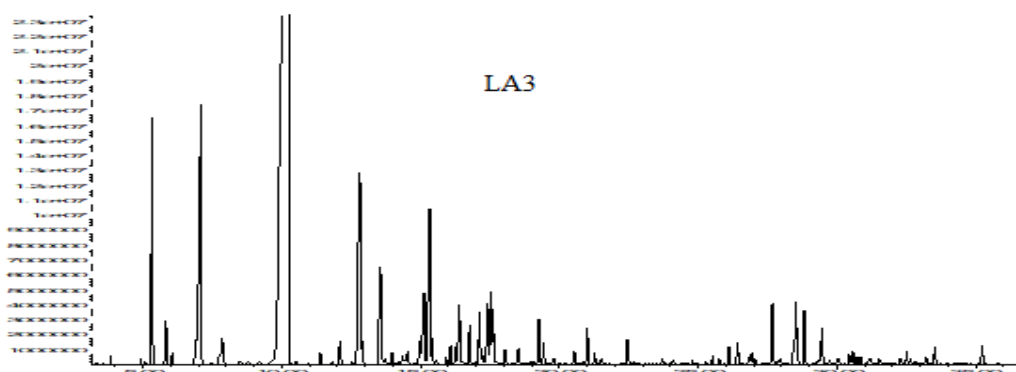


Figure 3. 5 : Chromatogramme de l'HE de *Lavandula Angustifolia* de Tizi Ouzou

L'huile essentielle LA1 présente des rendements en Linalol (34,32%), camphre (13,58%) terpinène 4 ol (8,58%) et 1,8-cinéole (7,44%). on trouve aussi : bornéol (5,29%), Linalyl acétate (4,506%), hexyl butanoate (2,116%) et Lavandulol (2,047%). Ce qui la classe dans un chemotype linalool/camphre L'huile essentielle LA2 contient majoritairement le linalool (37,36%) camphre (11,37%). On trouve aussi : terpinène 4 ol (9,20%) et 1,8-cinéole (6,42%), bornéol (5,09%) Lavandulol (2,25%) et hexyl butanoate (2,17%). Elle peut être classé dans le même chemotype que LA2 ; linalool/camphre L'huile essentielle LA3 prédomine en Linalol (35,91%), 1,8-cinéole (16,33%), camphre (10,15%) et terpinène 4 ol (3,68%). on trouve aussi : bornéol (2,42%), cis- β -ocimène (2,12%) et hexyl butanoate (1,52%). LA3 présente un chemotype différent linalool/1,8-cinéole/camphre.

En comparant nos résultats avec ceux des travaux antérieurs réalisés également en Algérie (**tableau 3.9**) on trouve une certaine différence. Pour la région de Constantine [70] L'huile essentielle présente comme composé majoritaire le linalyl acétate (15.26 %), linalool (10.68 %), 1,8- cinéole (10.25 %), γ -terpinene (11.2 %) et camphor (11.25 %). L'HE de Skikda [72] prédomine par le Linalyl acétate (32,98%)et le Linalool (28,92). L'huile de tizi ouzou une composition assez différentes des autres régions ainsi que pour celles étudiées dans notre travail avec la présence de 1,8-cinéole (37,8 %), β -caryophyllène (20,90 %) et le limonène (11,20 %)

Tableau 3. 8 : Travaux antérieurs sur *L. Angustifolia*.

pays	Composés majeurs	pays	Composés majeurs
Algérie Tizi Ouzou [91]	1,8-cinéole (37,8 %), β -caryophyllène (20,90 %), limonène (11,20 %)	Sud de France [94]	linalool (42,52 %), 1,8-cinéole (14,40 %) et bornéol (9,38 %)
Algérie Blida [92]	linalool (27,44%), acétate de linalyle (35,51 %)	Iran [95]	1,8-Cinéole (65,40 %), bornéole (11,50 %) et camphre (9,50 %)
Algérie Constantine [70]	linalyl acétate (15.26 %), linalool (10.68%), 1,8- cinéole (10.25%), Γ -terpinene (11.2%), camphre (11.25%)	Grèce [96]	linalool (20,10 %), acétate de linalyle (13,30 %) 1,8-Cinéole (12,40 %)
Algérie Skikda [72]	linalyl acétate (32,98%), linalool (28,92 %)	Inde [97]	linalyl acétate (47,56 %), linalool (28,06 %),
Algérie Tipaza [93]	1,8-cinéole (38,40 %),	Makdounia [98]	linalool (25,7%), linalyl acétate (23,2%), lavandulyl acétate (12,4%)

Nos résultats sont différents de ceux indiqués dans l'huile essentielle de Macedonia [98] avec une prédominance de linalool (25,7%), linalyl acétate (23,2%) et lavandulyl acetate (12,4 %). L'huile essentielle de l'Inde [97], présente comme composés majeurs le linalyl acétate (47,56%), linalool (28,06%). Les HE du sud de la France et de l'Iran présentent des rendements très élevés en linalool, 1,8-cinéole et le bornéol (tableau 3.8). D'après ces résultats, on remarque que la composition chimique de nos huiles essentielles sont différentes de celles obtenues dans de nombreux travaux sur la même espèce, avec une prédominance des composés mono terpéniques et la présence des hydrocarbures sesquiterpéniques et des dérivés oxygénés dans la plupart des cas, mais à des proportions différentes. Cette différence de composition est due probablement à diverses conditions notamment l'environnement, le géotype, l'origine géographique, la période de récolte, le lieu de séchage, la température et la durée de séchage, les parasites et la méthode d'extraction.

Tableau 3. 9 : Composés chimiques des HE de *L. Angustifolia* obtenus par CG/SM.

N°	IR	Composés	% LA1	% LA2	% LA3
1	917	tricyclène	0,05	0,053	0,04
2	919	α -thujène	0,30	0,28	0,14
3	928	α -pinène	1,06	1,07	2,44
4	941	camphène	0,70	0,71	0,52
5	964	sabinène	0,16	0,15	0,20
6	969	β -pinène	0,37	0,36	1,14
7	969	1 octen 3ol	0,21	0,22	0,35
8	980	3 octanone	0,30	0,31	0,15
9	984	β -myrcène	0,51	0,53	0,43
10	989	Butyl butanoate	0,16	0,16	0,16
11	998	α -phellandrène	0,10	0,07	0,01
12	1003	δ -3-carène	0,18	0,19	0,38
13	1010	α -terpinène	0,51	0,53	0,34
14	1018	p-cymène	0,57	0,56	0,99
15	1020	D-limonène	0,01	0,02	0,01
16	1021	1,8-cinéole	7,44	6,42	16,33
17	1028	cis Ocimène	1,98	1,96	2,12
18	1040	trans Ocimène	0,35	0,32	0,24
19	1050	γ -terpinène	0,26	0,28	-
20	1059	trans sabinène hydrate	0,17	0,19	0,27
21	1063	cis linalool oxyde	0,35	0,34	0,26
22	1079	Fenchone	-	0,02	0,71

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

N°	IR	Composés	% (LA1)	% (LA2)	% (LA3)
23	1080	α -terpinolène	0,74	0,75	-
24	1081	trans linalol oxyde	0,01	0,01	0,27
25	1090	linalool	34,32	37,36	35,91
26	1116	α -compholenal	0,06	0,05	-
27	1136	camphre	13,58	11,37	10,15
28	1139	hexyl isobutanoate	0,47	0,35	0,48
29	1158	bornéol	5,29	5,09	2,42
30	1159	Lavandulol	2,05	2,25	0,49
31	1168	terpinène 4 ol	8,58	9,20	3,68
32	1172	cryptone	0,29	0,30	0,41
33	1174	p-cymèn-8ol	0,05	-	0,02
34	1180	α -terpineol	0,59	0,63	0,15
35	1184	hexyl butanoate	2,12	2,17	1,52
36	1197	Verbenone	0,07	0,12	-
37	1207	trans carveole	0,02	0,01	0,08
38	1219	nerol	0,08	0,08	-
39	1225	hexyl 2-methyl butanoate	0,83	0,83	0,63
40	1235	hexyl isovalerate	0,34	0,35	0,35
41	1241	Piperitone	0,05	0,05	0,21
42	1247	Linalyl acétate	4,51	4,48	8,64
43	1276	α - Terpinen-7-al	0,02	-	-
44	1282	Bornyl acetate	0,04	0,03	0,11
45	1284	Lavandulyl acetate	1,00	0,99	0,96
46	1294	carvacrol	0,02	0,01	0,01
47	1307	Cis pinocarvyl acétate	0,01	-	0,04
48	1326	hexyl tiglate	0,51	0,52	0,22
49	1356	Neryl acétate	0,13	0,14	0,03
50	1370	α -copaene	0,01	-	0,01
51	1372	β -bourbonène	0,13	0,02	0,06
52	1374	géranyl acétate	0,15	0,03	0,01
53	1378	hexyl hexanoate	0,77	0,93	0,33
54	1396	sesquithujene	0,21	0,21	0,17
55	1413	trans caryophyllène	0,81	0,85	0,69
56	1417	lavandulyl isobutanoate	0,08	0,08	0,03
57	1426	β -gurjunene	0,03	0,01	.
58	1428	coumarin	0,18	0,21	0,11
59	1436	cis β -farnesene	0,08	0,08	-
60	1447	α -humulene	0,03	0,03	-
61	1450	trans β -farnesene	3,66	3,63	1,67

N°	IR	Composés	% (LA1)	% (LA2)	% (LA3)
62	1452	sesquisabinène	0,12	0,12	0,05
63	1478	D germacrène	0,33	0,38	0,07
64	1500	E,E- α - farnesene	0,02	-	0,02
65	1504	lavandulyl isovalerate	0,85	0,85	0,32
66	1518	δ -cadinene	0,04	-	-
67	1557	trans nerolidol	0,03	0,03	0,01
68	1578	caryophyllène oxyde	0,25	0,24	0,42
69	1588	Viridiflorol	-	0,03	0,10
70	1628	α -epi cadinol	0,07	0,08	0,01
Pourcentage d'identification totale			99,35	99,68	98,01

IR : Indice de rétention, LA1 : HE de Tlemcen, LA2 : HE de Annaba, LA3 : HE de Tizi Ouzou.

3.7.2 *Lavandula Stoechas*

Les composés identifiés, leurs indices de rétention ainsi que leurs teneurs relatives sont reportés dans le **Tableau 3.11**. Le chromatogramme de l'huile essentielle de *L. stoechas* de Tizi Ouzou LS3 est représenté sur la **Figure 3.5** et ceux de LS2 et LS3 sont représentés en (Annexe 5), (Figure A5.2).

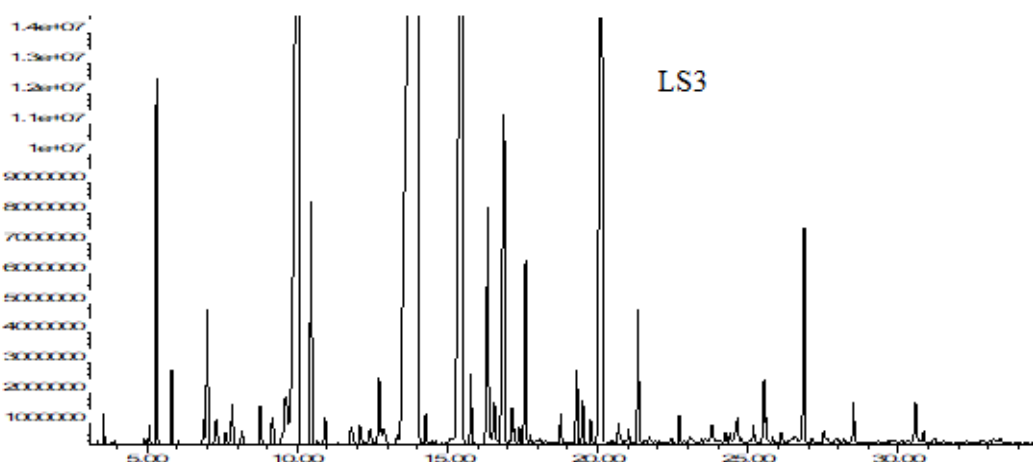


Figure 3. 6 : Chromatogramme de l'HE de *Lavandula Stoechas* de Tizi Ouzou.

L'analyse par CG-SM nous a permis d'identifier 98 constituants dont 62 commun aux trois huiles, représentant (90 dans LS1 ; 89,83%), (85 dans LS2 ; 100%) et (90 dans LS3 ; 98,55%) de la composition totale des HEs des trois régions ; Tlemcen (LS1), Annaba (LS2) et Tizi Ouzou (LS3) respectivement. D'une manière générale la composition chimique des huiles essentielles de *L. Stoechas* des trois régions montre une prédominance du fenchone, 1,8-cinéole et le camphre.

L'huile essentielle LS1 est constituée de fenchone (25,09%), 1,8-cinéole (8,99%) et camphre (8,89%) comme composés majoritaires, on trouve aussi le Selina-3,7(11)-diene (3,93%), α -pinène (3,11%) et pinocarvyl acétate (3,08%). Ainsi elle se présente comme chemotype à fenchone. L'huile essentielle de *L. Stoechas* LS2 contient majoritairement le 1,8-cinéole (52,18%), β -pinène (7,19 %) et fenchone (5,26 %). Elle est constituée également de camphre (3,88 %), de α -pinène (3,815%) et de linalool (2,202%). Elle présente ainsi un chemotype à 1,8-cinéole. Les composés majoritaires de LS3 sont le fenchone (31,26%), le camphre (15,88%) et le 1,8-cinéole (11,40%). On trouve aussi le camphène (4,674%), le α -pinène (3,82%) et le β -pinène (2,002%). LS3 présente un chemotype combiné fenchone/camphre/1,8-cinéole.

Beaucoup de travaux réalisés en Algérie (**Tableau 3. 10**) ont révélé la dominance de fenchone, de 1,8-cinéole et du camphre dans les huiles de la *L. stoechas* de différentes régions. Les travaux de la région de Tlemcen [82], ont noté comme composés prédominants le fenchone (27,6%), le 1,8-cinéole (18,9%) et le camphre (18,1%). L'huile essentielles du nord d'Algérie présente quant à elle cinq composés majoritaire : Acétate de linalyle (15,26%), Camphre (11,25%), γ -terpinène (11,2%), Linalol (10,68%), 1,8-Cinéole (10,25%). Par contre dans l'HE de *L. Stoechas* de Turquie [78] les composés majoritaires sont, le pulegone, le menthol et le menthone, cette composition est complètement différente aux travaux déjà fait quelques soit en Algérie ou dans les autres pays.

Tableau 3. 10 : Travaux antérieurs sur *L. Stoechas*.

pays	Composés majeurs	pays	Composés majeurs
Nord algérien [81]	acétate de linalyle (15,26%), camphre (11,25%), γ -terpinène (11,2%), linalol (10,68%), 1,8-cinéole (10,25%)	Espagne [103]	fenchone (37%), 1,8-cinéole (17,8%), camphre (15,6%), linalol (7,5%)
Algérie Tlemcen [82]	fenchone (27,6%), 1,8-cinéole (18,9%), camphre (18,1%).	Italie [104]	fenchone (37,0%), camphre (27,3%), acétate de cornyle (6,2%), 1,8 cinéole (6%)
Algérie Tiaret [99]	fenchone (39.0%), camphre (18.5 %), bornyl acetate (7.79 %)	Grèce [105]	fenchone (44,8%), 1,8-cinéole (16,7%), α -cardinol (7,2%), camphre (6,2%)
Maroc [100]	fenchone (30,5%), camphre (18,2%), 1,8-cinéole (8,6%)	Pakistan [106]	camphre (46,24%), borneol (6,71%)
Tunisie [101]	fenchone (34,3%), camphre (27,4%), acétate de lavandulyle (5,6%)	Turquie [78]	pulegone (40.37 %), menthol, (18.09 %), menthone (12.57)
Portugal [102]	fenchone (41,9%), camphre (34,6)	Inde [107]	fenchone (32,03%), camphre (14,71%) acétate de pyrtényle (11,7%), 1,8-cinéole (7,67%)

Concernant les travaux réalisés en dehors d'Algérie les résultats se rapprochent de ceux de notre travail excepté pour celle du Pakistan qui présente une composition complètement différente avec la prédominance du Camphre (46,24%) et le Borneol (6,71%), on remarque aussi la présence de l'Acétate de pyrtényle (11,7%) de l'HE de l'Inde [107]. Cependant l'HE de la Turquie présente une composition complètement différentes (pulegone, menthol et menthone) par rapport à nos huiles et aux huiles étudiées en Algérie ou dans d'autres pays. D'après ces résultats, on remarque que la composition chimique de nos huiles essentielles LS1 et LS3 sont identiques à celles obtenues dans de nombreux travaux sur la même espèce en Algérie par contre LS2 présente un rendement très élevé en 1,8-cinéole jamais signalé jusqu'à présent (**Tableau 3.11**). Mais avec une prédominance des composés mono terpéniques dans la plupart des cas, mais à des proportions différentes. Cette différence de composition est due probablement à diverses conditions notamment l'environnement, le génotype, l'origine géographique, la période de récolte, le lieu de séchage, la température et la durée de séchage, les parasites et la méthode d'extraction.

Tableau 3. 11 : Composés chimiques des HE de *L. Stoechas* obtenus par CG/SM.

N°	IR	Composés	% (LS1)	% (LS2)	% (LS3)
1	4,923	tricyclène	0,21	0,11	0,11
2	5,331	α -pinène	3,11	3,82	3,82
3	5,850	camphène	2,79	0,67	4,67
4	6,054	verbenène	0,14	0,19	0,19
5	6,887	sabinène	0,17	0,10	0,19
6	7,004	β -pinène	0,35	7,19	2,00
7	7,831	β -myrcène	0,32	0,80	1,80
8	8,472	α -phellandrène	0,13	0,13	0,13
9	8,770	δ -3-carène	0,70	0,09	0,89
10	9,143	α -terpinène	0,10	0,02	0,03
11	9,609	p-cymène	0,67	0,01	0,02
12	9,830	D-limonène	tr	tr	tr
13	9,982	1,8-cinéole	8,99	52,18	11,40
14	10,500	cis β -Ocimène	-	0,06	0,06
15	10,920	trans β -Ocimène	0,01	0,01	0,02
16	11,358	γ -terpinène	0,19	0,20	0,20
17	12,098	linalool oxyde	0,02	0,43	0,43
18	13,054	fenchone	25,09	5,26	31,26
19	13,608	linalool	2,48	2,20	2,24
20	13,975	fenchyl alcool	0,40	0,22	1,22

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

N°	IR	Composés	% (LS1)	% (LS2)	% (LS3)
21	14,330	trans pinène hydrate	0,14	0,26	0,25
22	14,546	α -compholenal	0,14	0,27	0,27
23	14,966	nopinone	-	0,44	0,44
24	15,121	trans sabinol	-	1,80	0,80
25	15,403	camphre	8,89	3,88	15,88
26	15,540	α -necrodol	-	-	0,10
27	15,927	Sabina ketone	-	0,14	0,15
28	16,102	Pinocarvone	0,06	0,14	0,31
29	16,265	bornéol	0,22	0,31	1,31
30	16,382	α -phellandrène- 8-ol	0,23	1,24	0,21
31	16,761	terpinène 4 ol	0,28	0,65	0,65
32	17,081	p methyl acetophenone	0,09	1,14	-
33	17,198	p-cymen 8ol	0,19	0,21	1,04
34	17,367	α -terpineol	0,29	0,99	1,39
35	17,480	Myrtenal	0,27	1,32	1,02
36	17,588	Myrtenol	0,91	0,84	0,86
37	17,852	10,11-epoxy Calamenene	-	0,04	-
38	18,043	verbenone	0,11	0,25	0,23
39	18,509	Fenchyl acetate	0,31	0,33	0,31
40	18,980	cis carvéole	-	0,10	0,11
41	19,250	cumin aldéhyde	0,03	0,73	0,43
42	19,424	carvone	0,22	0,33	0,63
43	19,803	piperitone	-	0,15	0,05
44	20,544	p menth-l-en-7-al	-	0,22	0,22
45	20,893	α - Terpinen-7-al	-	0,98	-
46	21,022	Bornyl acetate	1,69	0,58	0,18
47	21,310	lavandulyl acétate	-	0,11	0,21
48	21,546	carvacrol	0,06	0,12	0,13
49	21,639	verbinyll acétate	0,06	-	-
50	22,455	cis pinocarvyl acétate	3,07	0,44	2,46
51	22,624	p-Mentha-l,4-dien-7-o1	-	0,03	-
52	22,706	hexyl tiglate	-	0,04	-
53	23,236	α -cubebène	0,11	-	-
54	23,709	Cyclosativene	0,79	0,13	0,13
55	24,117	α -copaène	0,89	0,12	0,32
56	25,253	α -Funebrene	-	0,04	-
57	25,521	cis-caryophyllène	-	0,14	-
58	24,606	β -cubébène	0,46	0,06	0,09
59	24,680	γ -elemène	0,10	0,09	-

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

N°	IR	Composés	% (LS1)	% (LS2)	% (LS3)
60	25,218	α -gurjunène	0,20	-	0,21
61	25,527	trans caryophyllène	0,56	0,21	0,11
62	25,763	β -elemène	-	-	0,09
63	26,535	trans Muurola 3,5-diène	0,26	0,43	0,23
64	26,620	α -Humulène	0,10	-	-
65	26,856	Alloaromadendrène	0,57	0,14	0,33
66	26,938	cis Cadina-1 (6),4-diene	-	0,33	-
67	27,066	γ -curcumène	0,10	0,09	0,09
68	27,299	trans Cadina1,(6),4 diène	0,49	-	-
69	27,404	γ -Muurolène	0,16	-	-
70	27,520	D germacrène	0,44	0,06	0,04
71	27,678	β -selinène	0,84	1,00	1,00
72	27,975	epi cubebol	2,08	0,18	0,18
73	28,150	α -Muurolène	0,32	-	-
74	28,261	α -Bisabolène	0,22	0,92	0,91
76	28,471	α -farnecène	0,29	0,12	-
77	28,517	α -Chamigrene	-	1,64	1,64
78	28,628	cubebol	1,28	0,02	0,01
80	28,896	δ -cadinène	2,6	0,92	0,91
81	29,176	valancène	0,63	-	-
82	29,409	Selina-3,7(11)-diene	3,93	-	-
83	29,823	B Germacrène	0,75	0,01	0,01
84	30,044	α -copaène 8ol	1,83	-	0,19
85	30,452	spathulenol	0,02	0,17	0,16
86	30,592	caryophyllène oxyde	0,76	0,22	0,22
87	30,901	Veridiflorol	2,50	0,13	0,12
89	31,939	epi cubenol	1,16	0,14	0,14
90	32,323	α - epi Muurolol	0,71	-	0,10
91	32,446	cubenol	0,39	0,04	0,03
92	32,520	β -Eudesmol	0,11	0,20	0,20
93	32,650	α -cadinol	0,22	0,08	0,18
94	32,830	cis Calamenen-10-ol	0,05	0,08	0,08
95	33,041	trans Calamenen-10-ol	0,02	0,01	0,01
96	33,215	cadalène	0,43	0,20	0,40
97	33,320	Mustakone	0,30	0,02	0,04
98	33,510	cis 14-nor-Muurol-5-en-4-one	0,03	0,37	0,07
		Pourcentage d'identification totale	89,83	100	98,55

IR : Indice de rétention, LS1 : HE de Tlemcen, LS2 : HE de Annaba, LS3 : HE de Tizi Ouzou.

3.8 Activité biologique

3.8.1 Évaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des huiles essentielles de *Lavandula Angustifolia* Miller et de *Lavandula Stoechas* des trois régions sont regroupés dans les **tableaux 3.12**.

L'IC₅₀ est inversement lié à la capacité antioxydante d'un composé, car il exprime la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC₅₀ est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est grande.

Nos huiles essentielles des deux espèces possèdent une faible activité antioxydante avec des pourcentages d'Inhibition inférieur à 50% à une concentration de 1000 µg/mL.

Les études antérieurs sur les deux variétés de plantes présentent un pourcentage d'inhibition efficace IC₅₀ de 584±0.58µg/mL pour la *L. Angustifolia* Miller [108] et 5100µg/mL ; 32420µg/mL ; 26800µg/mL pour *L. Stoechas* Donc ces huiles essentielles ont un faible pouvoir antioxydant [81].

Tableau 3. 12 : Activité antioxydante des huiles essentielles de deux variétés.

	Tizi Ouzou	Tlemcen	Annaba
IR% (<i>L. Angustifolia</i>)	45.75%	44.40%	43.56%
IR% (<i>L. Stoechas</i>)	45.01%	44.31%	39.72%

IR% : pourcentage d'inhibition radicalaire.

L'activité antioxydante de nos huiles essentielles montrant une activité antioxydante inférieure à celle de la vitamine E. Il semble que d'après les résultats antérieurs sur l'activité antioxydante de la vitamine E est l'antioxydant le plus efficace avec un IC₅₀ de 384±0.76µg/ml [70], par rapport à nos huiles essentielles étudiées.

3.8.2 Évaluation de l'activité antibactérienne

Nous avons mis en évidence la variabilité des HE et de leurs constituants chimiques dans les différents échantillons provenant de différents sites bioclimatiques aussi bien sur le plan qualitatif que quantitatif. Ces résultats nous conduisent à penser que l'activité antimicrobienne de ces HE serait également variable tant sur le plan du spectre d'activité que de l'intensité de l'action

L'activité antibactérienne des huiles essentielles de la *L. Angustifolia* Miller et *L. Stoechas* est basée sur la méthode de diffusion en milieu gélosé Mueller Hinton agar. Elle est évaluée en termes de diamètre de la zone d'inhibition autour des disques contenant les huiles à testés

vis-à-vis de quatre souches bactériennes. L'échelle d'estimation de l'activité est classée par les diamètres d'inhibition de la croissance microbienne.

3.8.2.1 Activité de *L. Angustifolia*

Les résultats des aromagrammes des huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller des trois régions sont regroupés dans le **tableau 3.13**.

Tableau 3.13 : Résultats des aromagrammes des HE de *L. Angustifolia* des trois régions.

Souches microbiennes	Tizi Ouzou (Tiril't-N-Takhbirt)	Tlemcen (Parc national de Tlemcen)	Annaba (Seraïdi)
	Diamètre d'inhibition (mm)		
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	28	17	25
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	17	14	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 27853)	8	9	10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATB)	> 8		

AT.C.C: American Type Culture Collection; ATB: Antibiotique de référence.

Les résultats sont très satisfaisants notamment vis-à-vis de *Staphylococcus aureus* où on a constaté que la souche est extrêmement sensible aux huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller des régions de Tizi Ouzou et d'Annaba avec des zones d'inhibition de 28 mm et 25mm respectivement, et une sensibilité moyenne à celle de la région de Tlemcen avec une zone d'inhibition de 17mm. *Escherichia coli* a montré une sensibilité moyenne par rapport à l'huile essentielle de *L. Angustifolia* Miller de la région de Tizi Ouzou, avec une zone d'inhibition de 17mm. Alors qu'elle présente une sensibilité limitée vis-à-vis des huiles essentielles des régions de Tlemcen et Annaba avec des zones d'inhibition de 14mm et 12mm respectivement.

Le *Pseudomonas aeruginosa* a une grande résistance à l'HE de *L. Angustifolia* Miller de la région de Tizi Ouzou avec une zone d'inhibition de 8mm. Et il a une faible sensibilité par rapport à celles des régions de Tlemcen et d'Annaba avec des zones d'inhibition de 9 mm et 10 mm respectivement. Concernant le *Pseudomonas aeruginosa*, elle a une grande résistance contre toutes les huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller des trois régions avec des zones d'inhibition inférieure ou égale à 8mm.

3.8.2.2 Activité de *L. Stoechas*

Les résultats des aromagrammes des huiles essentielles de *L. Stoechas* des trois régions sont regroupés dans le **tableau 3.14**.

Tableau 3. 14 : Résultats des aromagrammes des huiles de *L. Stoechas* des trois régions.

Souches microbiennes	Tizi Ouzou (Tinsaouine)	Tlemcen (Ain Ghoraba)	Annaba (Oued El Aneb)
	Diamètre d'inhibition (mm)		
<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	21	19	15
<i>Escherichia coli</i> (ATCC 25922)	11	11	9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 27853)	10	9	8
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATB)	> 8		

AT.C.C : American Type Culture Collection; ATB : Antibiotique de références.

Le *Staphylococcus aureus* était extrêmement sensible à l'HE de *L. Stoechas* de la région de Tizi Ouzou avec une zone d'inhibition de 21 mm et une sensibilité moyenne à celles des régions de Tlemcen et d'Annaba avec des zones d'inhibition 19 mm et 15 mm respectivement. *Escherichia coli* a une sensibilité limitée vis-à-vis des HES de *L. Stoechas* des trois régions.

Le *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC) montre une sensibilité limitée par rapport aux HES de *L. Stoechas* des régions de Tizi Ouzou et Tlemcen avec des zones d'inhibition 10mm et 9mm respectivement. et une résistance à celle de la région d'Annaba avec une zone d'inhibition de 8mm. Le *Pseudomonas aeruginosa* (ATB) a une grande résistance aux HES de *Lavandula Stoechas* des trois régions qui ont des zones d'inhibition inférieurs ou égales à 8mm.

Les résultats indiquent que les HES de *L. Stoechas* possèdent une activité antibactérienne. Les aromagrammes obtenus semblent être en accord avec ceux des HES de *L. Stoechas* de Tunisie [109], de Turquie [78], de l'Italie [110] et de l'Australie [111].

Les valeurs obtenues montrent que l'activité antibactérienne varie en fonction de la bactérie testée. Il s'avère que toutes les bactéries testées avaient une sensibilité différente vis-à-vis des huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller et des huiles essentielles de *Lavandula Stoechas*. La grande résistance des bactéries à gram (-) est liée en partie à la complexité de la

paroi cellulaire de ces microorganismes, qui contient une double membrane, contrairement à la structure membranaire simple des bactéries à gram (+) [112]. Ces résultats ont montré que les huiles essentielles de *L. Angustifolia Miller* ont une activité antibactérienne plus importante que celle des huiles essentielles de *L. Stoechas*.

Conclusion

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances et composés naturels bioactifs qualifiées de métabolites secondaires. Leur répartition qualitative et quantitative est inégale selon les espèces.

Notre étude a pour but d'extraire les huiles essentielles, de déterminer la composition chimique et d'évaluer l'activité biologique de deux espèces de *Lavandula* : *L. Angustifolia* Miller et *L. Stoechas* de trois wilayas d'Algérie (Tizi Ouzou, Tlemcen et Annaba).

Les huiles essentielles extraites par hydrodistillation classique et en utilisant un alombic obtenus, montrent une variation importante des rendements en fonction de la région de récolte pour les deux espèces. *L. Angustifolia* varie entre 0,8 et 5,2% et *L. Stoechas* entre 0,66 et 2,08%. On note que les rendements les plus élevées de chaque variété sont enregistrés pour les régions de Tizi Ouzou, dont l'extraction est faite par Clevenger.

L'analyse des échantillons étudiés par CG-SM a mis en évidence des différences remarquables dans leurs compositions chimiques du point de vue qualitative et quantitatives pour les deux variétés de *Lavandula* des trois wilayas. L'huile essentielle de *L. Angustifolia* de Tlemcen est prédominée par le linalol (34,32%), le camphre (13,57%), le terpinène 4-ol (8,58%) et le 1,8-cinéole (7,43%), celle d'Annaba contient majoritairement le linalool (37,36%) et le camphre (11,37%) et l'huile essentielle de Tizi Ouzou est prédominée par le linalol (35,91%), le 1,8-cinéole (16,32%) et le camphre (10,15%). L'huile essentielle de *L. Stoechas* de Tlemcen est constituée principalement, de fenchone (25,09%), de 1,8-cinéole (8,98%) et du camphre (8,88%), celle d'Annaba contient majoritairement le 1,8-cinéole (52,179%), le β -pinène (7,19 %) et le fenchone (5,25 %) alors que celle de Tizi Ouzou est prédominée par, le fenchone (31,26%), le 1,8-cinéole (11,40%) et le camphre (15,88%).

Le potentiel antioxydant des huiles essentielles a été déterminé par la méthode de piégeage de H_2O_2 dont les résultats montrent que les huiles essentielles de *L. Angustifolia* Miller ont une activité antioxydante plus importante que celle des huiles essentielles de *L. Stoechas*. L'évaluation de l'activité antibactérienne a permis de mettre en évidence que le pouvoir des HEs de *L. Angustifolia* est relativement plus important que celui des HEs de *L. Stoechas*, avec des zones d'inhibition variantes. *Staphylococcus aureus* est très sensible aux différentes HEs des deux *Lavandula*, contrairement à *Escherichia coli* qui a montré une sensibilité moyenne. Alors que les deux types de *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC et ATB) ont montré une résistance vis-à-vis de toutes les huiles essentielles des deux variétés.

Perspectives :

Élargir l'étude des huiles essentielles et suivre leur composition chimique dans d'autres régions d'Algérie, ainsi approfondir l'étude biologique des extraits de *Lavandula*.

Annexes

Annexe 1 : Matériel et produits utilisés.

Étapes	Équipements & Matériels	Verrerie	Produits	Outils Logistiques
Dessiccation et Séchage	• <i>L. Stoechas</i> • <i>L. Angustifolia Miller</i>			• Excell®
Extraction	• Chauffe-ballon • Pincés • <i>L. Stoechas</i> • <i>L. Angustifolia Miller</i>	• Ballons • Clevenger	• Eau de source	
Caractérisation	• CPG-SM • Spectrophotomètre UV-Visible			• Excell®
Caractères physiques	• Balance analytique • Refractomètre • Agitateur et barreau magnétique • Balance analytique • Polarimètre	• Pycnomètres • Erlenmeyer • Becher • Burette • Pro-pipette • Fiole jaugée • Pipette	• Huile essentielle • Eau distillée • Acétone • Éthanol 96° • Éthanol 80 °	
Potentiel d'hydrogène Indice d'acide	• Balance analytique • Agitateur magnétique • barreau magnétique	• Burette • Becher • Erlenmeyer • Pipette • pro-pipette	• Huile essentielle • Papier pH • Hydroxyde de potassium • Phénol phtaléine • Éthanol 96°	
Étude Antioxydante	• Balance analytique • Spectromètre UV	• Micropipette • Tubes essais • Fioles jaugées • Burettes • Bécher	• Méthanol • H₂O₂ • Tampon phosphate	
Étude Antibactérienne	• Boite de pétrie • Écouvillons • Bec bunsen • Étuve	• Micropipette • Boites de pétrie	• Eau physiologique • Gélose MH • Gaz butane • Papier Watman 6mm	

Annexe 2 : Cinétique de séchage.

Tableau A2. 1 : Cinétique de séchage de *Lavandula Angustifolia* Miller.

JOURS	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈
Tizi Ouzou								
MASSE (g)	140	110	90	75	73	72	72	
Tlemcen								
MASSE (g)	250	167	141	126	121	119	118	118
Annaba								
MASSE (g)	1000	754	528	420	380	351	337	337

Tableau A2. 2 : Cinétique de séchage de *Lavandula Stoechas*.

JOURS	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈	
Tizi Ouzou									
MASSE (g)	420	326	228	186	170	160	157	154	154
Tlemcen									
MASSE (g)	1276	1014	842	700	607	552	536	530	530
Annaba									
MASSE (g)	170	132	103	85	74	65	60	55	55

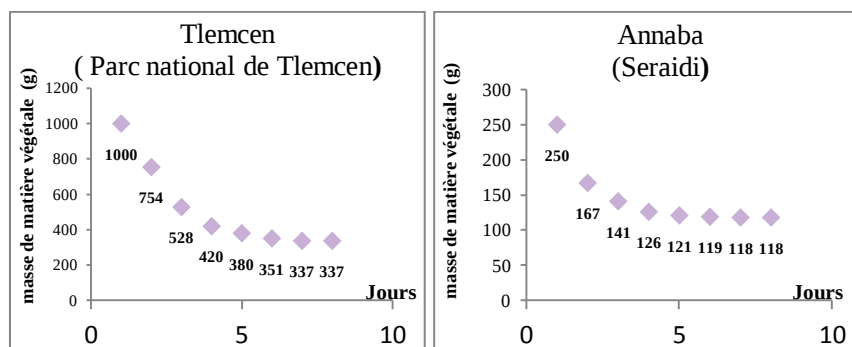


Figure A2. 1 : Variation de la teneur en eau de *Lavandula Stoechas*.

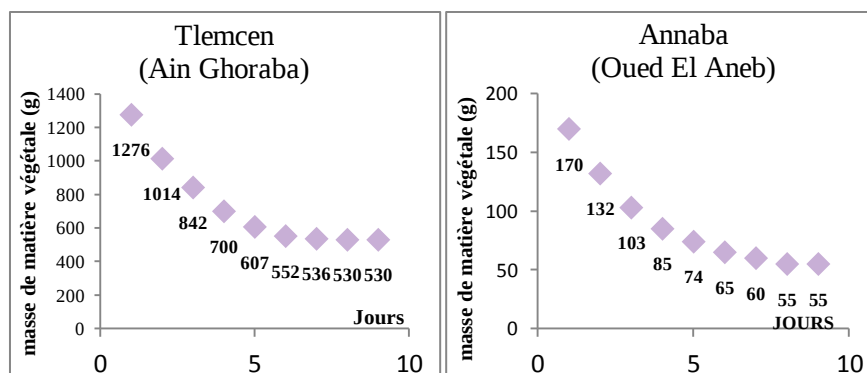


Figure A2. 2 : Variation de la teneur en eau de *Lavandula Angustifolia*.

Annexe 3: Indice d'acide.

Solution de phénolphtaléine à 1% : Dissoudre 0,1 g de phénolphthaléine dans 80 mL d'alcool et compléter à 100 mL avec de l'eau distillée.

Annexe 4: Activité antioxydante.

Solution tampon phosphate pH 7.4 : on mélange, 393.4 mL d'hydroxyde de sodium 0.1 M et 250mL de phosphate monopotassique 0.2 M, sous une agitation magnétique.



Figure A4. 1 : Préparation de tampon phosphate pH=7.4.

Hydroxyde de sodium 0.1 M : dissoudre 2g d'hydroxyde de potassium dans 500ml d'eau distillé sous agitation magnétique (Figure A4.2).

Solution de phosphate monopotassique 0.2 M : dissoudre 13.61 g de KH_2PO_4 dans 500 mL d'eau distillé sous agitation magnétique (Figure A4.3).

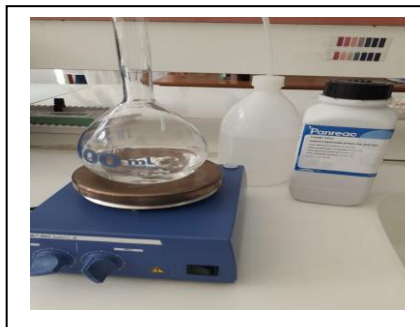


Figure A4. 2 : Préparation de l'hydroxyde de sodium à 0.1 M.



Figure A4. 3 : Préparation une solution de phosphate monopotassique 0.2 M.

Annexes 5 : Analyses chromatographiques.

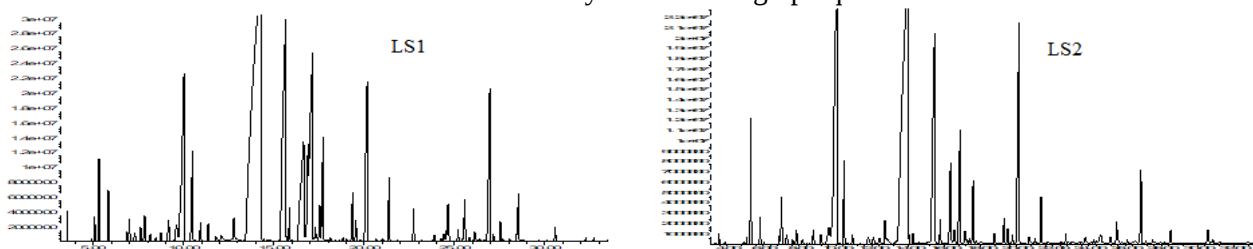


Figure A5.1 : Chromatogramme de *L Stoechas* (1: Tlemcen ; 2: Annaba)

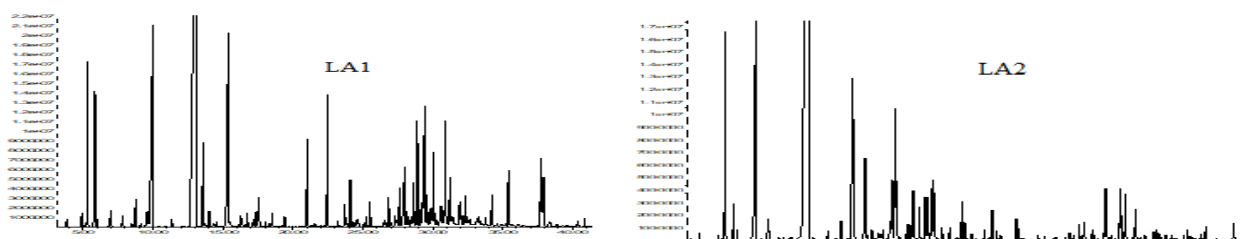


Figure A5.2 : Chromatogramme de *Lavandula Angustifolia* (1: Tlemcen ; 2: Annaba)

Références Bibliographiques

- [1] Pharmacopée Française (11ème Édition).
- [2] Gruffat X. Définition de la phytothérapie [Internet]. 2017. Disponible sur <https://www.creapharma.ch/phytotherapie.html>
- [3] Prescrire. Bien utiliser les plantes en situations de soins, numéro spécial été 2007, T. 27, N° 286.
- [4] Moreau B. 2003. Maître de conférences de pharmacognosie à la faculté de pharmacie de Nancy. Travaux dirigés et travaux pratiques de pharmacognosie de 3^{ème} année de doctorat de pharmacie.
- [5] Les Huiles essentielles "des mystérieux métabolites secondaires": manuel de formation destiné aux étudiants de master. 1990. Ed. presses académiques francophones Grèce, P: 64.
- [6] Bonnier G. et al. Labiée in la grande flore en couleur. Ed. Belin Paris, 4, P: 892-951.
- [7] Dupont F. et al. 2012. Abrégés de pharmacie. Botanique, les familles de plantes. Ed. Elsevier Masson, P : 336.
- [8] Bendif H. 2017. Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in vitro des extraits actifs de quelques Lamiaceae: *Ajuga Iva* (L) Schreb., *Teucrium Polium* L, *Thymus Munbyanus* subsp. *Coloratus* (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet et *Rosmarinus Eriocalyx* Jord & Fourr., Doctorat école normale supérieure Kouba. Alger, P : 26.
- [9] Grunwald J. et al. 2004. Guide de la phytothérapie .Édition Marabout. P: 293.
- [10] Djerroumi A. et al. 2004. 100 Plantes médicinales d'Algérie .Edition Houma.
- [11] Classification Classique Apg III.
- [12] Lis-Balchin M. 2002. Lavender: The Genus *Lavandula*. (1st Ed.). Taylor and Francis Inc, New York.
- [13] Upson T. et al. 2004. The genus *Lavandula*. (1st Ed.). Timber Press, Inc, USA.
- [14] https://occitanie.chambreagriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/ITK-LR-LavandeOfficinale-HuileEssSansIrrig-CA11_2014.pdf
- [15] Fabiani T. et al. 2002. Mémoires de la *Lavande*. Barbantane : Equinoxe, p: 131.
- [16] Botineau M. 2010. Botanique systématique et appliquées des plantes à fleurs, Ed Tec & Doc. Lavoisier, p: 1355.
- [17] Schauenberg et Paris. 2010. Guide des plantes médicinales : Analyse, description et utilisation de 400 plantes. Delachaux et Niestlé.
- [18] Rhayour K. 2002. Etude du mécanisme de l'action bactéricide des huiles essentielles sur *Escherichia Coli*, *Bacillus Subtilis* et sur *Mycobacterium Phlei* et *Mycobacterium Fortuitum*. Fès.
- [19] Jaegly G. 2003. La lavande « L'âme de la provence ».
- [20] Palikan. 2002. L'homme et les plantes médicinales. Triades.
- [21] Kothe W. 2007. 1000 Plantes aromatiques et médicinales. Terres Editions. Laboratoire Hevea. (S.D). Les huiles essentielles.
- [22] Philippe J.-M. 1993. Le Guide de l'apiculture. La calade : Ed sud.

- [23] Schonfrder P. 1989. Guide de la flore méditerranéenne. Edit. Sa. Fribourg. Suisse, P: 314.
- [24] Quezel P. et al. 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome I, Cnrs, p : 1-566.
- [25] Bruton J. 1993. Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales 2^{ème} Ed. Lavoisier, Illinois, USA.
- [26] Isman M. 2002. Problème et perspectives de commercialisation des insecticides d'origine botanique. biopesticides d'origine végétales. Cbjr Renault-Roger, end Cv Phylogène, Ed., Tec and Doc Editions, Lavoisier, Paris, France. 300-311.
- [27] Pharmacopée Européenne. 2008. Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé.
- [28] Valnet. 2003. Les huiles essentielles, une santé toute naturelle. Phytothérapie de la recherche à la pratique. 1(1) : 12.
- [29] Bruneton J. 1999. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3^{ème} Édition, Technique & Documentation, Paris, p : 274, 654-655.
- [30] Joanna H. 2012. Le guide des huiles essentielles et leurs applications thérapeutiques. Le courrier du livre, Paris.
- [31] Marija M. et al. 2008. Morphology, distribution and histochemistry of trichomes of *thymus lykae* degen& jav. (lamiaceae) arch. biol. sci., belgrade, 60(4): 667-672.
- [32] Kaloustian J. et al. 2012. La connaissance des huiles essentielles : Qualitologie et aromathérapie entre science et tradition pour une application médicale raisonnée springer Paris Berlin Heidelberg New York. Springer-Verlag France, Paris.
- [33] Croteau R. et al. 2000. Natural products in biochemistry and molecular biology of plants. Rockville, Md: American society of plant physiologists, p: 1250-1318.
- [34] Teisseire P.J. 1991. Chimie des substances odorantes. Technique et documentation-Lavoisier.
- [35] Fine D.H. 2010. Listerine: Past, Present and future – A test of *thyme*. Journal of dentistry 38, S2–S5.
- [36] Gainard A. 2016. [Thèse]: *Lavandes* et *Lavandin*, Utilisation en aromathérapie. Enquête auprès des pharmaciens d'officine sciences pharmaceutiques. Dumas-01304457, p : 25-27.
- [37] Degryse A.C. et al. 2008. Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Atelier santé environnement -IGS- EHESP, p : 87.
- [38] Baali K. et al. 2017. [Mémoire] : Activité antioxydant des huiles essentielles extraites De quelque plantes de la famille des *Lamiaceae*. Univ. Bejaia. p :1 8.
- [39] AFNOR. 1980. Association Française de Normalisation, Europe, Cedex 7 - 92080 Paris.
- [40] Hernandez O. 2005. [Thèse]: Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine «Solvant/Actif» d'origine végétale, institut national polytechnique de Toulouse.

- [41] Lucchesi M. et al. 2004. Solvent-free extraction of essential oil from aromatic herb: comparison with conventional hydro distillation. *Journal of chromatography*, 1043, p: 323-327
- [42] Marrouf, G. et al. 2009. *Abrégé de biochimie appliquée*, Ed. Sciences.
- [43] Bencheikh S. E. 2017. [Thèse] : Etude de l'activité des huiles essentielles de la plante *Teucrium Polium Ssp Aurasianum* Labiatae. Génie des procédés et environnement, Univ. Ouargla. p : 29.
- [44] Laforet J. 2012. [Thèse] : Connaissance du profil chromatographique d'huiles essentielles pour un meilleur conseil à l'officine : Relation structure / activité – Toxicité, Univ. Aix-Marseille.
- [45] <https://www.masterchimie1.universite-paris-saclay.fr/Chromatoweb/Generalites%20chromato.html#A04>
- [46] Dari A. 2016. Cours de techniques chromatographique, Génie agroalimentaire, p : 48-53. Uni. Hassan II de Casablanca.
- [47] Evans M.B. et al. 1989. Review, recent developments in the gas chromatographic retention index scheme, *Chrom.*, 472, p : 93-127.
- [48] Kovats E, 1958. *Helv. Chim. Acta.* 41, 1915.
- [49] Van Den Dool H. et al. 1963. *Chromatogr* 11. 453.
- [50] Tarnawski M. et al. 2006. HPLC determination of phenolic acids and antioxidant activity in concentrated peat extract - a natural immunomodulator. *Pharm. Biomed. Anal* ,41, p: 182–188.
- [51] Favier A. 2003. Le stress oxydant: intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité.
- [52] Dasgupta N. 2007. Antioxidant activity of some leafy vegetables of India: a comparative study. *Food Chem.* 101, p : 471 – 474.
- [53] Hubert R. 1998. *Biochimie de l'aliment, acides aminés et oligopeptides*. Ensia.
- [54] Serteyn D. et al. 2002. La nature chimique et la réactivité de l'oxygène. *Annale de médecine vétérinaire*, 137 (53) p : 146.
- [55] Park P. J. et al. 2001. Purification and characterization of antioxidative peptides from proteinhydrolysate of lecithin-free egg yolk. *Journal of the american oil chemists society*, 78(6) p: 651-656.
- [56] Hilcentr. 2003. *Chimie organique hétérocyclique*, Ed. Sciences.
- [57] Alwash M. S. et al. 2013. Identification and mode of action of antibacterial components from *melastoma malabathricum linn* leaves. *American journal of infectious diseases*, 9(2), p: 46-58.
- [58] Ponce A.G. et al. 2003. Antimicrobial Activity of essential oils on the native *microflora* of organic swiss chard. *Lebensm.-Wiss.U.-Technol.* 36, p: 679-684.
- [59] INRF. 2020. Station régionale de recherche forestière localisée à Azazga wilaya de Tizi Ouzou.

- [60] Bing cartes 2020: Bing.com/maps
- [61] La classification de Köppen. 1900. Une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures.
- [62] AFNOR. 2000. « Recueil De Normes » : Les huiles essentielles, tome 2, Monographies relatives aux huiles essentielles, Paris, p : 661-663.
- [63] Belghit A. et al. 1999. Approche expérimentale de la cinétique de séchage de la Verveine (*Lippia Citriodora*). Revue des énergies renouvelables, 2(2), p : 87-97.
- [64] Jean B. 2009. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 4^{ème} Éd. Tec & Doc.
- [65] National Institute of Standards and Technology. 1999. Pc Version 1.7 of the NIST/EPA/NIH mass spectral library. The perkin elmer corporation.
- [66] Stein S. E. 2008. «NIST Standard Reference Database 1a,». Manuel User's.
- [67] Ruch R.J. et al. 1989. Prevention of cytotoxicity and inhibition of intercellular communication by antioxidant catechins isolated from chinese *Green Tea*, *Carcinogenesis*, 10 (6), p: 1003-1008.
- [68] Paris R. et al. 1965. Précis de matière médicinale. Collection de précis de pharmacie.
- [69] Bachiri L. et al. 2016. Étude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de Lavande Autochtones au Maroc : «*Lavandula Stoechas L.* et *Lavandula Dentata L.*». European scientific journal edition, 12(30), p: 313.
- [70] Laib I. 2012. Étude des activités antioxydante et antifongique de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula Officinalis* : application aux moisissures des légumes secs. Nature & technologie.
- [71] Sidi Boulenouar K. et al. 2003. Mémoire : Étude phytochimique des huiles essentielles de *Lavandula Stoechas L.* de la région de Tlemcen. Études supérieur en biologie. Uni. Tlemcen.
- [72] Boughendjioua H. 2017. Composition chimique et activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Lavandula officinalis* cultivée dans la région de Skikda-Algérie. Bultein de la société royale des sciences de lièges, 86, p : 88-95.
- [73] <https://www.agrimaroc.net/2018/09/14/valorisation-de-la-lavande-du-maroc/>
- [74] Maud B. 2013. *Lavandula angustifolia M.*, *Lavandula latifolia M.*, *Lavandula x intermedia E.* : études botaniques, chimiques et thérapeutiques. Sciences pharmaceutiques.
- [75] Guangyao D. 2020. Study on *Lavender* essential oil chemical compositions by GC-MS and improved pGC. MDPI.
- [76] Christos N. 2010. Chemical compounds and essential oil release through decomposition process from *Lavandula Stoechas* in Mediterranean region. Elsevier. p: 1-9.
- [77] Teboub M. et al. 2016. [Doctorat] : Exploration de la Lavande et du Romarin à usage insecticide pour contrôler la Cochenilles des Agrumes. Univ. Jijel.
- [78] Gören A.C. et al. 2002. The chemical constituents and biological activity of essential oil of *Lavandula Stoechas Ssp.* Natur Forsch, 57(9),10, p: 797-800.

- [79] Sharma Sd. et al. 1983. Morphological and oil content variation in *Lavender* introduced in Kashmir. Indian perfumary, 27, p: 28–31.
- [80] Tiachadine W. 2016. [Mémoire] : Caractérisation phytochimique de parité aérienne et des huiles essentielles de *Lavandula stoechas* L. (Lamiaceae) de la région de Timezrit (Boumerdes). Uni. Boumerdès.
- [81] Benabdelkader T. et al. 2011. Essential oils from wild population of Algerian *Lavandula Stoechas*: composition chemical variability and in vitro biological properties. Chem Biodivers. p : 937-53.
- [82] Mohammedi Z. 2010. [Magistère] : Etude de pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plants médicinaux de la région Tlemcen. Option : produits naturels, activité biologique et synthèse, p: 81-89. Univ. Tlemcen.
- [83] Svoboda K.P. et al. 1999. Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and other related pharmacological activities. Plant biology department, sac *auchincruive*, ayr, Scotland, UK.
- [84] Smallfield B. 2001. Introduction to growing herbs for essential oils, medicinal and culinary purposes. Crop Et Food Research (45): 1-4.
- [85] Besombes C. 2008. [Thèse] : Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermo-mécanique d'herbes aromatiques. Application généralisées.
- [86] Aghfir M. et al. 2007. Séchage solaire convective pour la conservation des feuilles du *Romarin (Rosmarinus Officinalis)*. 13^{ème} Journée internationale de séchage thermique. Albi, France.
- [87] Lis-Balchin M. 2002. *Lavender: The Genus Lavadula*. London & New York: Taylor And francis, p: 268.
- [88] Norme ISO 3515:2002
- [89] Wolff J.P. 1991. Analyses et dosage des lipides in technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaire. Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- [90] Bazizi M. 2016. [Mémoire] : Extraction d'huile essentielle de l'espèce végétale *Salvia Officinalis* L. par hydrodistillation : caractérisation physicochimique et modélisation paramétrique.
- [91] Djenane D. 2011. Composition chimique et activité anti- salmonella enteritidis CECT 4300 des huiles essentielles d' *Eucalyptus globulus* , *Lavandula angustifolia* et *Satureja hortensis* . Tests in vitro et efficacité sur œufs entiers liquides conservés à 7 ± 1 ° C. Springer Link, **9**, p : 343–353.
- [92] Boumdal Z. 2015. [Master] Formulation et contrôle d'une crème cosmétique réparatrice BIO à activité cicatrisante à bas d'huile essentielle de Lavande vraie. Univ Blida.
- [93] Dob T et al. 2006. Essential oil composition of *Lavandula Stoechas* from Algeria. Pharmaceutical biology, 44(1), p : 60–64.
- [94] Sahraoui N. et al. 2016. Mise au point d'un procédé d'extraction d'huiles essentielles par micro-ondes. Resarche Gate, 853, 24.

- [95] Hajhashemi V. et al. 2003. Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. J Ethnopharmacol, 89, p: 67–71.
- [96] Hassiotisa C.N et al. 2010. Etherio, a new variety of *Lavandula angustifolia* with improved essential oil production and composition from natural selected genotypes growing in Greece. Ind. Crops Prod., 32, p : 77–82
- [97] Sun Kim N. et al. 2002. Comparison of different extraction methods for the analysis of fragrances from *Lavandula* species by gas chromatography–mass spectrometry", *Journal of Chromatography*, 982, p: 31–47.
- [98] Kozjak. 2000. Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia.19(2), p:165-169.
- [99] Noureddine A. 2019. Chemical composition, mineral content and antioxidant capacity of phenolic extracts and essential oils of *Lavandula Stoechas* L. Chemistry & chemical engineering, biotechnology, food industry, 20(3), p: 423 – 437
- [100] Zrira S et al. 2003. Les constituants des huiles de *Lavandula stoechas* L. ssp. *atlantica* Br.-Bl. et *L. stoechas* ssp. *Stoechas* du Maroc. J essentiel oil res. 15, p: 68–9.
- [101] Messaoud C et al. 2012. Composition chimique et activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits de méthanol de trois espèces sauvages de *Lavandula* L. Nat. Prod. Res, 26(21), P: 1976–84.
- [102] Fabíola M et al. 2013. Pouvoir antioxydant des huiles essentielles de *L. luisieri*, *L. stoechas* ssp. *lusitanica* L. *luisieri* et *L.viridis* cultivés en Algarve, Portugal. J essentiel oil res. 21, p: 327–36.
- [103] Alejandro C et al. 2015. Huile essentielle de *L stoechas* d' Espagne: profil aromatique déterminé par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse, bioactivités antioxydantes et inhibitrices de la lipoxigénase. Indus Crop Prod. 73, p: 16–27.
- [104] Maffei M. et al. 1993. Fatty acids from some *Lavandula* hybrids growing spontaneously in north west Italy. Phytochemistry 33, p: 373–376.
- [105] Melpomeni S. 1996. Variation d'huile essentielle de *Lavandula stoechas* L. ssp. *Stoechas* poussant à l'état sauvage en Crète, Grèce. Biochem. Syst. Ecol. ; 24(3), p: 255–60.
- [106] Zaheer UK. et al. 2002. Potentiels antibactériens de certains constituants de *Lavandula stoechas* L. Pak J Bot. 34(4), p: 359–66.
- [107] Sultan G. E. 2008. Comparaison de l'effet de l'extraction de l'eau sous-critique avec des procédés classiques d'extraction sur la composition chimique de *Lavandula stoechas*. Talanta, 74, p: 930–5.
- [108] Laib B. 2011. Composition chimique et activité antioxydante de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula Officinalis*. Agriculture N° 2, 89.
- [109] Bouzouita N et al. 2005. Volatile constituents and antimicrobial activity of essential oil *Lavandula Stoechas* L. from Tunisia. Journal of essential oil research, 17(5), p: 584-586.

- [110] Angioni A. et al. 2006. Chemical composition, seasonal variability and antifungal activity of essential oils *Lavandula Stoechas L. Ssp.* from Stem/Leaves and flowers. Journal of agricultural and food chemistry, 54(12), p: 4364-4370.
- [111] Moon T. et al. 2007. Antifungal activity of australian grown *Lavandula Ssp.* Essential oils against *aspergillus nidulans*, *trichophyton mentagrophytes*, *leptosphaeria maculans* and *sclerotinia sclerotiorum*. J. Essent. Oil Res, 19(2), p: 171-175.
- [112] Ouis N. 2015. [Thèse] : Étude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil. Univ. d'Oran 1.