



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La
Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Ecologie et Environnement

قسم : البيئة و المحيط

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Effet insecticide des huiles essentielles de *Lavendula stoechas* L. et *Mentha pulegium* L. vis-à-vis du puceron noir de la fève

(*Aphis fabae*)

Présentée par : Hammoudi Yousra

Le : 24/06/2025

Khalfaoui Ibtihel

Jury d'évaluation :

Président : Mr Meliani A. MCB-UFMC1

Encadrant : Mme Benterrouche I. MAA- UFMC1

Examinateur : Mme Alatou H. MCB-UFMC1

Année universitaire

2024 – 2025

Dédicace

En ce jour où je récolte les fruits de mes efforts et où j'obtiens mon diplôme, je suis heureuse de dédier ce travail à tous ceux qui ont eu un impact sur mon parcours universitaire.

À ma mère et à mon père...

À ceux qui ont inculqué en moi l'amour du savoir et la patience, à ceux qui m'ont donné tout leur amour et leurs sacrifices, et qui ont été ma plus grande motivation pour atteindre ce stade. Merci pour vos prières et votre accueil, merci pour votre générosité indéfectible et pour tout ce que vous m'avez donné sans rien attendre en retour.

À ma tante, la professeure Assia.

Je dédie ce succès à ma bienveillante tante, que je remercie pour ses encouragements, ses soins et son soutien moral qui ne m'ont jamais quitté tout au long de l'année universitaire. Chacun de ses mots m'a motivé à travailler plus dur, car son soutien moral a été une source d'espérance à de nombreux moments.

À la directrice, Mme Zahwat...

À la parente et amie de ma mère, à cette femme au grand cœur et au statut social élevé, que je remercie pour ses paroles inspirantes et sa généreuse sollicitude, qui m'ont profondément marqué. Tous mes remerciements, mon respect et ma reconnaissance.

À ma chère amie Youssra

À Youssra, qui m'a soutenue à chaque instant.... À celle qui a partagé mes rires et mes larmes, ma fatigue et mes succès, à celle qui a fait de mes années universitaires des souvenirs inoubliables, merci pour chaque beau moment que tu m'as fait vivre, merci pour ton soutien, ton honnêteté, ta présence constante... Tu as été ma meilleure compagne de voyage, nous étions plus que deux collègues... Tu feras toujours partie de mon chemin, quelle que soit la distance.

À mes compagnons de route, au collège et au lycée... À ceux qui ont partagé mon ambition, mon assiduité, mes rires, mon espoir, mes échecs, mes frustrations et mes succès... À ceux qui ont toujours été une source de bonheur... Maïssa, Nada, Maya, Asma, Raounaka, Ines et Rachâ... Vous étiez plus que de simples camarades de classe, vous étiez des sœurs engagées dans un voyage inoubliable, transformant ces années d'apprentissage en souvenirs remplis d'amour. Je vous dédie ce succès, en signe de gratitude et d'appréciation. Grâce à votre compagnie, que j'apprécie tant, vous avez une place dans mon cœur et une part de ma réussite ...

Ibtihel

Dédicace

Je dédie ce travail et ce succès

À mon père,

L'amour de ma vie, j'ai toujours été ta princesse gâtée. Tout le bien que je suis maintenant, je le dois à toi seul. Merci pour tes efforts, ton amour inconditionnel et tout ce que tu m'as donné tout au long de ta vie. Je prie Dieu pour que tu sois satisfait de moi et je prie pour te rencontrer au plus haut des paradis. Que Dieu ait pitié de toi

À ma mère,

L'oxygène de ma vie et mon refuge dans chaque perte. Je ne t'ai pas remboursé et ne te rembourserai pas pour ton droit, tes efforts et ton don tant que je vivrai. J'espère que mon diplôme vous compensera, ne serait-ce qu'un peu, pour la joie que vous méritez

À mes sœurs,

Mes deux belles fleurs, je remercie Dieu pour votre présence malgré votre jeune âge, mais vous m'avez soutenu dans les jours difficiles

À ma grande famille,

Tu as toujours eu un impact sur ma vie, merci

À mes amis, collègues et confrères, je te dédie ce succès

À l'ami qui a partagé ce travail acharné et ce succès avec moi, merci d'être toujours là. Ce fut une année pleine de moments merveilleux grâce à toi, Ibtishal. Merci d'avoir créé des souvenirs inoubliables pour moi

Au Monsieur Ghana Mouhammad et à tous mes enseignants, je ne renierai pas votre faveur de m'avoir amené ici. Merci pour tout ce que vous m'avez donné tout au long de mes années d'études

Youssra

Remerciement

Avant tout, nous remercions notre Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force d'atteindre notre but et d'accomplir notre travail.

Que nos remerciements les plus sincères s'adressent tout particulièrement à notre encadrante Madame BENTERROUCHE Ilhem, qui a accepté de nous encadrer et de diriger ce travail, pour ses conseils, sa patience, son soutien permanent et ces encouragements qui nous a permis de mener à bien ce mémoire.

Nos vifs remerciements aux membres du jury, le président de jury Monsieur MELIANI Aziz et l'examinatrice Madame ALATOU Hana., pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques et propositions.

Nous tenons aussi à remercier Madame BOUZIDI Nadjet Ingénieur de laboratoire pour sa gentillesse et son aide pour la réalisation de ce travail en meilleures conditions

On adresse aussi tous nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des abréviations

ASAL : Allium sativum lectin

HD : Hydro-distillation

HE : Huile essentielle

Mg : Milligramme

µL : Microlitre

DL50 : Dose létale qui provoque 50 % de mortalité

CL50 : Concentration létale qui provoque 50 % de mortalité

NC : le nombre des insectes présents sur la partie traitée uniquement à l'acétone

GNA : *Galanthus nivalis* agglutinin

NT : le nombre de ceux présents sur la partie traitée par les huiles essentielles

PR : pourcentage de répulsion

R : rendement de l'huile essentielle

SAR : Systemic Acquired Resistance

Sommaire

<i>Liste des abréviations</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>Error! Bookmark not defined.</i>
<i>Liste des tableaux</i>	
<i>Introduction</i>	1

Partie 1 : Synthèse bibliographique

<i>I.1 Définition des huiles essentielles</i>	2
<i>I.2 Localisation des huiles essentielles dans la plante</i>	2
<i>I.3 Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles</i>	3
<i>I.3.1 Propriétés physiques</i>	3
<i>I.3.2 Composition chimique</i>	4
<i>I.3.2.1 Terpénoïdes</i>	4
<i>I.3.2.2 Les composés aromatiques</i>	4
<i>I.4 Méthodes d'extraction des huiles essentielles</i>	6
<i>I.4.1 Extraction par entraînement à la vapeur d'eau</i>	6
<i>I.4.2 Extraction par hydrodistillation</i>	7
<i>I.4.3 Expression à froid</i>	8
<i>I.4.4 Extraction par solvant</i>	9
<i>I.4.5 Extraction assistée par micro-ondes</i>	10
<i>I.4.6 Extraction par fluide à l'état supercritique</i>	10
<i>I.5 Conservation des huiles essentielles</i>	11
<i>I.6 Domaines d'utilisation des huiles essentielles</i>	11
<i>I.6.1 Secteur de l'industrie pharmaceutique</i>	11
<i>I.6.2 Secteur de l'industrie agroalimentaire</i>	11
<i>I.6.3 Secteur de l'industrie de la parfumerie et du cosmétique</i>	12
<i>I.6.4 Secteur de l'industrie chimique</i>	12
<i>I.7 Toxicité des huiles essentielles</i>	12

Chapitre II: Généralité sur les plantes aromatiques étudiées

<i>II.1 Lavandula stoechas L.</i>	13
<i>II.1.1 Classification</i>	13
<i>II.1.2 Origine et distribution</i>	13
<i>II.1.3 Description botaniques</i>	14
<i>II.1.4 Composition biochimique de l'huile essentielle de <i>Lavandula stoechas</i></i>	14

II.1.5 Propriétés biologiques de l'huile essentielles de <i>Lavandula stoechas</i>	14
II.1.5.1 Ppropriétés antibactériennes	14
II.1.5.2 Propriétés antifongiques.....	14
II.1.5.3 Propriétés antioxydantes	15
II.1.5.4. Propriétés insecticides.....	15
II.2 <i>Mentha pulegium</i> L.	15
II.2.1 Classification.....	15
II.2.2 Origine et distribution	16
II.2.3 Description botanique.....	16
II.2.4 Composition biochimique de l'huile essentielle de <i>Mentha pulegium</i>	17
II.2.5 Propriétés biologiques de l'huile essentielles de <i>Mentha pulegium</i>.....	17

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève

III.1 Classification.....	19
III.2 Description du puceron noir <i>A. fabae</i>	19
III.3 Les plantes hôtes	19
III.4 Cycle biologique	20
III.5 Dégâts de puceron noir de la fève	21
III.5.1 Les dégâts directs	21
III.5.2 Les dégâts indirects	22
III.6 Moyens de lutte contre le puceron noir de la fève	22
III. 6.1 La lutte physique	22
III. 6.2 Plantes transgéniques.....	22
III.6.3 La lutte chimique.....	23
III.6.4 La lutte biologique	23
III.6.4.1 Utilisation des insectes entomophages	23
III. 6.4.2 Utilisation des micro-organismes entomopathogènes	24
III. 6.4.3 Utilisation des huiles essentielles comme bio pesticides	24

Partie 2 : Etude expérimentale

Chapitre IV: Matériel et méthodes

IV.1 Objectif.....	25
IV.2 Matériel animal	25
IV.3 Matériel végétal	26
IV.4 Méthode expérimentale	27

IV.4.1 Extraction des huiles essentielles	27
IV.4.2 Rendement en huile essentielle	28
IV.4.3 Préparation des concentrations d'huile essentielle	28
IV.4.4 Préparation des témoins	29
IV.4.5 Effet répulsif de l'huile essentielle sur papier filtre	29
IV.4.6 Effet Insecticide des huiles par contact et inhalation	30
IV.4.6.1 Mode opératoire	30
IV.4.6.2 Estimation de la mortalité	31
IV.4.6.3 Correction de la mortalité	31
IV.4.6.4 Calcul des doses létales (DL50) et (CL50).....	32

Chapitre V: Résultats et discussion

V.1. Rendement en huiles essentielles	33
V.2. Evaluation de l'effet insecticide des deux huiles essentielles.....	35
V.2.1. Effet répulsif sur papier filtre.....	35
V.2.1.1. Pourcentage de répulsion	35
V.2.1.2. Classes de répulsion.....	36
V.2.2. Activité insecticide par contact-inhalation	36
V.2.2.1. Moyenne des mortalités cumulées.....	36
V.2.2.2. Correction des Mortalités	38
V.2.2.3 Détermination de la DL50 et CL50	41
Discussion	46
Conclusion	48
Références	50
Résumé	56

Introduction

Introduction

Introduction

La problématique de lutter contre les ravageurs et autres bio agresseurs qui s'attaquent aux cultures représente un enjeu de taille pour la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale. Parmi ceux-ci, les pucerons figurent dans le groupe des ravageurs redoutables en raison de leur forte capacité à se reproduire, à transmettre des virus aux plantes et des pertes économiques engendrées, par leurs attaques sur une variété de cultures (**Blackman et Eastop, 2000**). *Aphis fabae*, le puceron noir de la fève, est considéré comme l'un des principaux ravageurs de la fève et d'autres légumineuses. Les attaques du puceron noir de la fève engendrent un enroulement des feuilles, une diminution de la photosynthèse et un affaiblissement général des plantes se répercutant sur les exploitations agricoles (**Van Emden et Harrington, 2007**).

L'utilisation répétée et intensive des insecticides chimiques de synthèse a certes permis de maîtriser efficacement les populations de pucerons, mais cela entraîne de nombreux effets indésirables : apparition de résistances chez les ravageurs, pollution de l'environnement, toxicité pour la faune auxiliaire et pour les polliniseurs, risques pour la santé humaine (**Pimentel, 2005 ; Isman, 2006**). Dans ce cadre, une priorité pour la protection des cultures est le développement d'alternatives écologiques et durables.

Extraites de plantes aromatiques, les huiles essentielles ont suscité un intérêt grandissant comme bio-insecticides naturels. En tant que mélanges complexes, principalement constitués de composés volatils tels que les monoterpènes et les sesquiterpènes, ces substances possèdent des propriétés insecticides, répulsives ou anti-appétences contre des ravageurs agricoles (**Regnault-Roger et al., 2012**). Ainsi, les huiles essentielles sont les produits les plus testés **actuellement** (**Akantetou et al., 2020 ; Ketho et al., 2004 ; Pavela et Benelli, 2016 ; Saifi et Belhamra, 2018**).

L'objectif principal de ce travail consiste à évaluer, dans des conditions de laboratoire, l'effet insecticide de l'huile essentielle de deux plantes aromatiques *Lavandula stoechas* et *Mentha pulegium* sur le ravageur de la fève *Aphis fabae* afin de développer des alternatives à la lutte chimique toxique. Cette étude se subdivise en deux parties, une partie synthèse bibliographique sur les huiles essentielles, les végétaux utilisés et l'insecte ravageur *Aphis fabae*. La deuxième partie est consacrée pour présenter le travail pratique que nous avons effectué la récolte des deux plantes aromatiques utilisées, l'extraction de leurs huiles essentielles, puis la recherche de l'existence éventuelle d'un effet insecticide de ces huiles sur le puceron noir de la fève.

Chapitre I

Généralités sur les huiles essentielles

I.1 Définition des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des éléments odorants volatils extraits de certaines espèces végétales par distillation, pression à froid ou incisions des tissus végétaux des plantes qui les contiennent. Elles sont formées dans un grand nombre de plantes comme sous-produit du métabolisme secondaire. Les huiles essentielles sont des liquides complexes, dont les propriétés ainsi que les modes d'utilisation spécifiques constituent une nouvelle branche de la phytothérapie : l'aromathérapie. Sur le plan chimique, ce sont des mélanges très complexes qui se caractérisent par des constituants différents dont des terpènes, esters, cétones, phénols, etc. (**Mahmout, 1992**).

Selon la pharmacopée française (1965), les huiles essentielles ou « essences » correspondent à des « produits de composition généralement assez complexe renfermant les principes volatiles contenus dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation ». La norme AFNOR T-7 5-006 en précise le mode d'obtention : entrainement à la vapeur d'eau, distillation sèche ou procédés (**Regnault-Roger, 2005**).

I.2 Localisation des huiles essentielles dans la plante

Les huiles essentielles sont produites dans des cellules glandulaires spécialisées. Elles sont alors stockées dans des cellules à huiles essentielles (Lauraceae ou Zingiberaceae), dans des poils sécréteurs (Lamiaceae), dans des poches sécrétrices (Myrtaceae ou Rutaceae) ou dans des canaux sécréteurs (Apiaceae ou Asteraceae). Elles peuvent aussi être transportées dans l'espace intracellulaire lorsque les poches à essences sont localisées dans les tissus internes (**figure1**) (**Bruneton, 1993**).

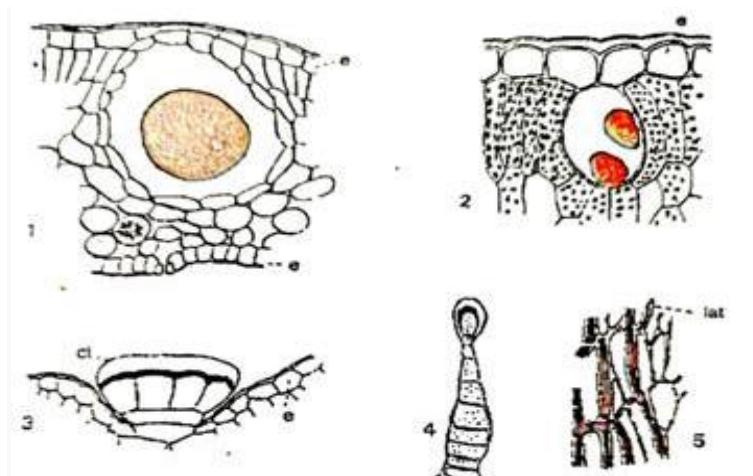


Figure 1 : Exemples d'appareil secteur des huiles essentielles : 1.poches sécrétrices, 2.cellules sécrétrices, 3 et 4 poils sécréteurs (**Bekhechi et Abdelouahid, 2010**)

Chapitre I : Généralités sur les huiles essentielles

D'après **Laiche et Mecheri (2023)**, les structures sécrétrices des plantes comprennent :

- les poils sécréteurs ou trichomes qui peuvent se présenter sous quatre formes : ils peuvent se composer de plusieurs cellules sécrétrices associées pour constituer un plateau porté par un pédicelle court, des poils peltés, des poils capités à pieds court oubosselé.
- Les cellules épidermiques : il s'agit de cellules plus petites que les autres cellules épidermiques. Elles sont davantage perméables car leur paroi ne contient pas de cutine ; ce type de cellules se rencontre généralement dans les pétales de fleurs chez la rose.
- Les poches sécrétrices : leur genèse débute par la division d'une cellule Parenchymateuse en quatre cellules, qui forment en leur centre une poche. Dès lors, il existe deux voies d'évolution pour cette poche : soit les cellules entourant la poche, continuent à se diviser tout en formant une seule rangée tout autour ; la poche est qualifiée de schizogène ; soit les cellules, entourant la poche, vont se diviser et s'organiser pour constituer des rangées successives autour de la poche, avec un phénomène de lyse pour les cellules de la rangée la plus interne formant alors une poche schizolysigène.

Sur le site de stockage, les gouttelettes d'huile essentielle sont entourées de membranes spéciales constituées d'esters d'acides gras hydroxylés hautement polymérisés, associés à des groupements peroxydes. En raison de leur caractère lipophile et donc de leur perméabilité extrêmement réduite vis-à-vis des gaz, ces membranes limitent fortement l'évaporation des huiles essentielles ainsi que leur oxydation à l'air (**Lavoisier., 1993**).

I.3 Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

I.3.1 Propriétés physiques

Les huiles essentielles sont solubles dans l'alcool, l'éther, le chloroforme, les huiles fixes, les émulsifiants et dans la plupart des solvants organiques, et peu solubles dans l'eau à laquelle, toutefois, elles communiquent leur odeur. Leur point d'ébullition varie de 160°C à 240°C et possèdent une densité généralement inférieure à celle de l'eau, elle varie de 0,75 à 0,99 (les huiles essentielles de sassafras, de girofle ou de cannelle constituent des exceptions). Elles ont un indice de réfraction élevé ; sont rarement inactives sur la lumière polarisée ; sont de conservation limitée (très altérables et sensibles à l'oxydation, mais ne rancissent pas). ; sont des substances de consistance huileuse, plus ou moins fluides, voire

résinoïdes ; très odorantes et volatiles. À température ambiante, elles sont généralement liquides, incolores ou jaunes pâles, il existe, cependant, quelques exceptions, exemple : huile essentielle à azulène de coloration bleue (**Bekhechi et Abdelouahid, 2010**)

I.3.2 Composition chimique

Les constituants des huiles essentielles appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, beaucoup moins dégradatifs mettant en jeu des constituants non volatils (**Bruneton, 1999**).

I.3.2.1 Terpénoïdes

Dans le cas des huiles essentielles, seuls seront rencontrés les terpènes les plus volatils : monoterpènes et sesquiterpènes.

Les monoterpènes

Les monoterpènes sont les constituants les plus simples de la série, les monoterpènes sont issus du couplage de deux unités « isopréniques ». Ils peuvent être acycliques (myrcène, ociméne), monocycliques (α et γ -terpinéne, p- cymène) ou bicycliques (pinène, camphène, sabinéne). Ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle. Les variations structurales justifient l'existence de nombreuses molécules : alcools (géraniol, α -terpinéol, bornéol, (thymol), aldéhydes (citronellal), cétones (cédryle), éthers (1,8- cinéole) (figure2) (**Bruneton, 1999**).

- Les sesquiterpènes**

Un grand nombre de sesquiterpènes sont des constituants habituels des huiles essentielles des végétaux supérieurs, ils peuvent intervenir dans les propriétés pharmacologiques attribuées à ces fractions volatiles. Biologiquement, bon nombre de structures sesquiterpéniques sont des phytoalexines, d'autres semblent agir comme des régulateurs de croissance, d'autres enfin attirent les insectes ou agissent à l'encontre de ceux-ci comme des facteurs antinutritifs (figure 3) (**Bruneton, 1999**).

I.3.2.2 Les composés aromatiques

Les dérivés du phénylpropane (C6-C3) sont beaucoup moins fréquents que les précédents. Ce sont très souvent des allyles- et des propénylphénols, parfois des aldéhydes. On peut également rencontrer dans les huiles essentielles des composés en (C6-C1) comme

Chapitre I : Généralités sur les huiles essentielles

la vanilline ou comme l'anthranilate de méthyle (figure4) (Bekhechi et Abdelouahid, 2010).

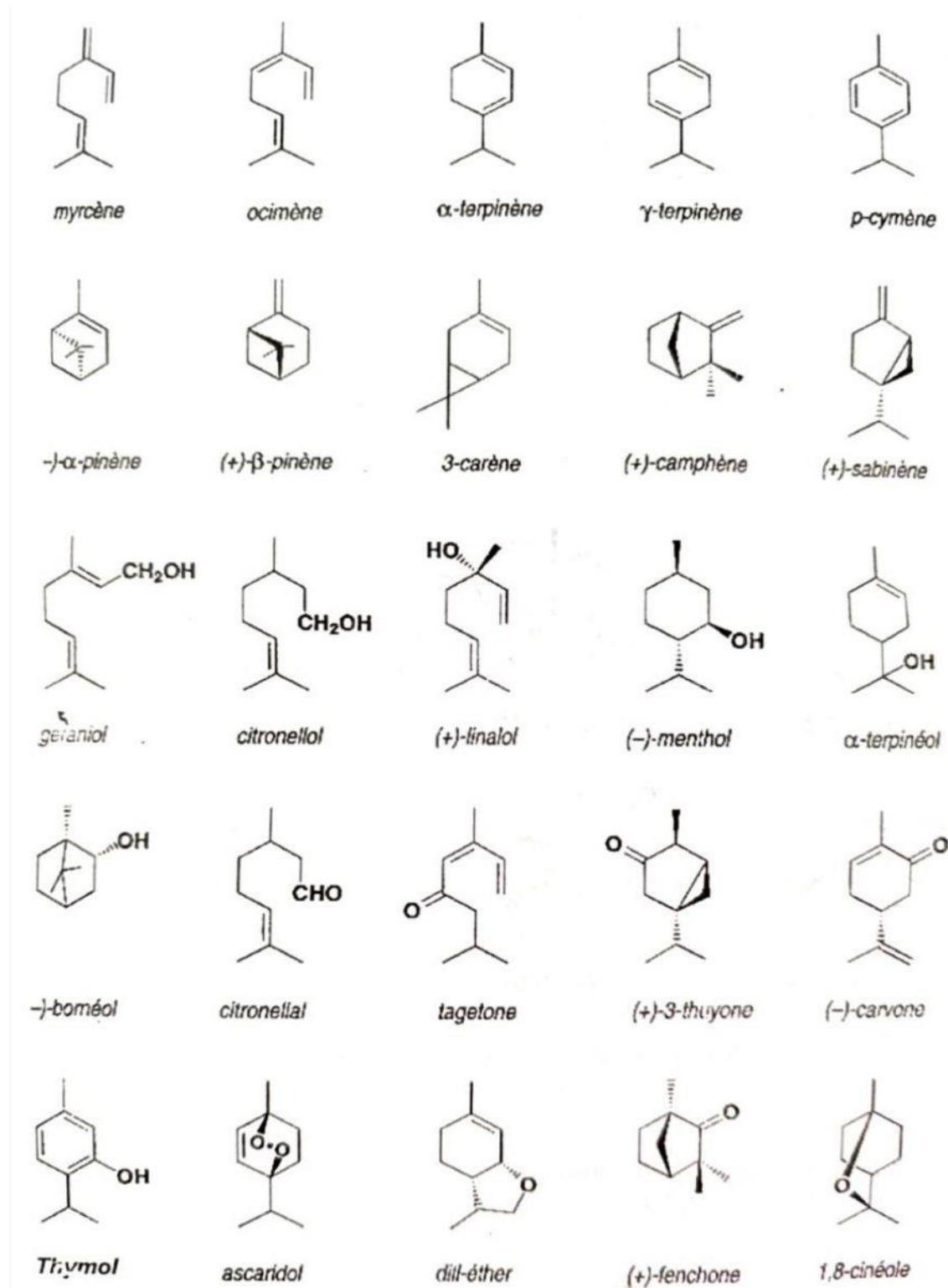


Figure2 : Exemples de structures des monoterpènes rencontrés dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999)

Chapitre I : Généralités sur les huiles essentielles

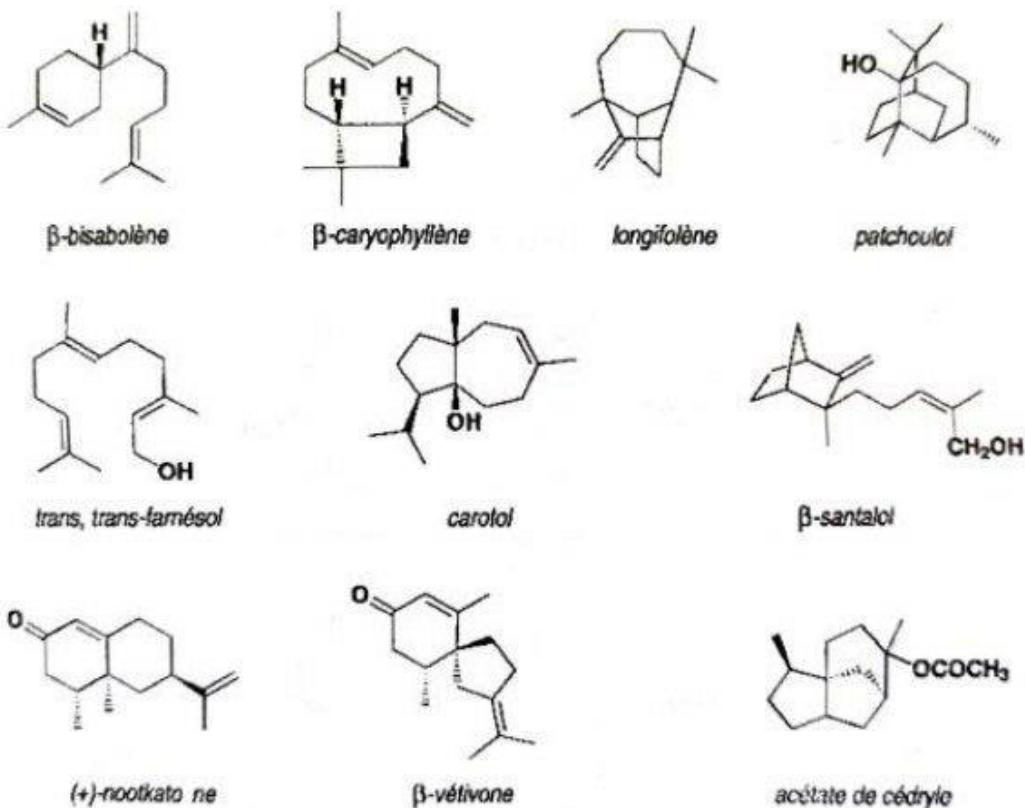


Figure3 : Exemples de structures des sesquiterpènes rencontrés dans les huiles essentielles
(Bruneton, 1999)

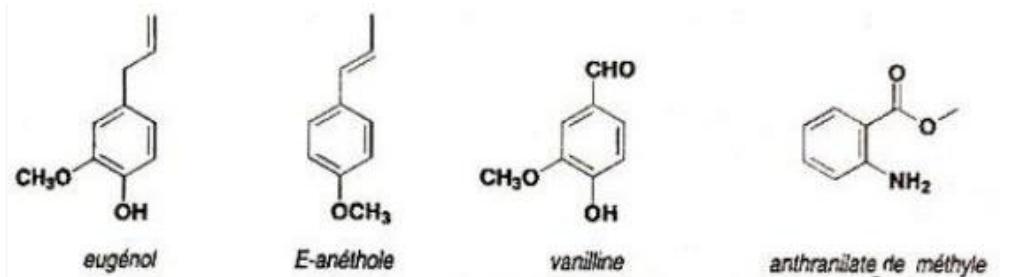


Figure4 : Exemples de structures des composés aromatiques rencontrés dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999)

I.4 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

I.4.1 Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

La méthode officielle par distillation à la vapeur est l'une des méthodes de référence pour l'obtention des huiles essentielles. Dans ce dispositif d'extraction, le matériau végétal est placé dans l'alambic sur une grille perforée en suspension au-dessus du fond de l'alambic où se trouve de l'eau. Le matériau végétal est donc en contact avec la vapeur d'eau saturée

mais pas avec l'eau bouillante. La vapeur provoque la rupture de nombreuses glandes permettant la libération de leur contenu aromatique. Les huiles essentielles circulent alors dans le matériau végétal puis elles entrent en contact avec la vapeur d'eau circulant dans la partie supérieure de l'alambic. Les vapeurs contenant les composés volatils sont ensuite condensées avant d'être décanté. En raison des différences de densité, les huiles essentielles et l'eau sont séparées en deux phases pour récupérer les huiles essentielles (Bouras, 2018). Cette approche permet d'éviter les réactions des constituants des huiles essentielles avec l'eau entraînant des modifications dans le contenu définitif de l'extrait. D'autre part, elle est plus efficace avec les huiles essentielles localisées dans les glandes situées en surface de la plante. La distillation à la vapeur des huiles essentielles non superficielles est plus longue et requiert davantage de vapeur que celle des huiles essentielles superficielles.

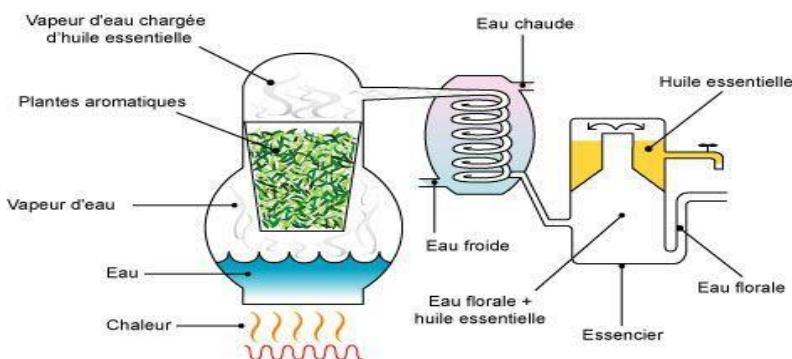


Figure 5 : Entraînement à la vapeur d'eau (<https://www.trenditude.fr/La-rectification.html>).

I.4.2 Extraction par hydrodistillation

Dans un premier temps, l'hydrodistillation consiste à porter à ébullition la matière première au contact de l'eau. Puis, la matière première est séparée de l'eau : soit l'eau est placée au fond de la cuve avant d'être portée à ébullition, afin qu'un courant de vapeur d'eau à haute température traverse la matière première, c'est la vapo-hydrodistillation ; soit la vapeur d'eau est fournie par une chaudière située à l'extérieur de l'alambic, c'est la vapo-distillation. Dans tous les cas, une fois chargée en huile essentielle, la vapeur d'eau est dirigée vers un condenseur, formé généralement d'un serpentin ou de tubes parallèles dans lesquels circule de l'eau à basse température. Eau et huile essentielle, une fois condensées, sont ensuite recueillies dans un essencier ou vase florentin, l'eau aromatisée et l'huile essentielle étant non miscibles, la séparation se fait par simple décantation (Besombes, 2008).

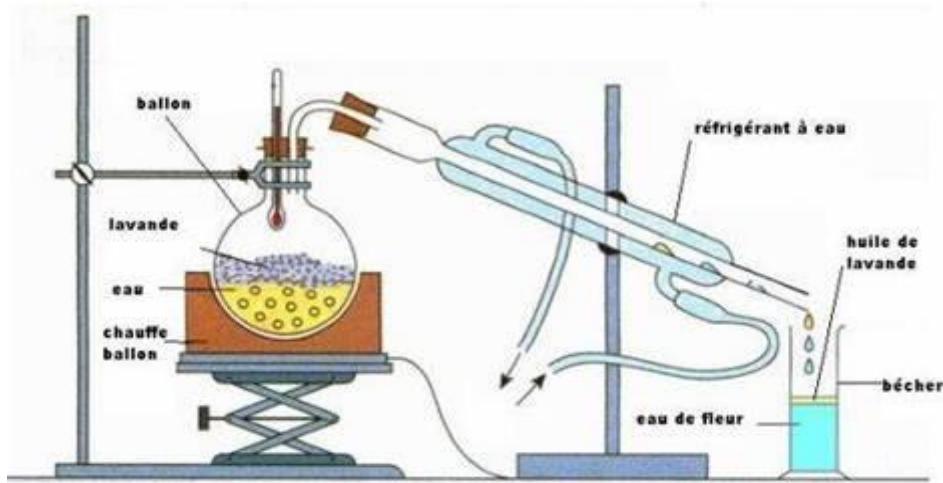


Figure 6 : Entraînement par Hydrodistillation (<https://industrieelectronique.blogspot.com/2017/08/extraction-des-huiles-essentielles-par.html>).

I.4.3 Expression à froid

La technique de l'expression à froid est uniquement dédiée à l'extraction des essences volatiles contenues dans le péricarpe d'agrumes au moyen d'un traitement mécanique consistant à déchirer ces derniers. Il s'agit de rompre ou déchirer les parois des sacs oléifères présents dans le mésocarpe, situé juste sous l'écorce du fruit, l'épicarpe, afin de recueillir ainsi son contenu, qui ne sera pas altéré. Les essences de Citrus sont longtemps extraites manuellement et la mécanisation de l'industrie, l'industrialisation de la méthode d'expression à froid ne sera mise en place qu'au début du XXème siècle, pour diminuer le coût de production du jus et améliorer leurs rendements afin d'atteindre une capacité au regard de la demande de consommation importante des heures passées. Les systèmes récents comme le « Food Machinery Corporation-in-line » (FMC) permettent d'extraire le jus de fruit et l'essence de manière quasi-simultanée, sans contact des deux. Voilà pourquoi l'expression à froid est la méthode privilégiée pour l'extraction de ces essences, particulièrement alors que la distillation n'est plus la technique la plus appropriée. En effet, la distillation produit une huile aromatique de moindre qualité en raison d'une importante teneur en aldéhydes, ces composés étant sensibles à l'oxydation et à la chaleur (**Boukhatem et al., 2019**).



Figure 7 : Entraînement par Expression à froid

(<https://www.science-et-vie.com/article-magazine/lhuile-premiere-pression-a-froid-est-elle-meilleure>).

I.4.4 Extraction par solvant

La méthode d'extraction « classique » par solvatation implique de placer dans un appareil d'extracteur, un solvant volatil et la matière végétale. Grâce à plusieurs lavages, le solvant va charger en molécules aromatiques, avant d'être transféré vers le concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique. L'extraction par solvant organique volatil est la méthode la plus couramment utilisée. Les solvants utilisés couramment aujourd'hui sont l'hexane, le cyclohexane, l'éthanol, le méthanol, le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant, en plus d'être à usage autorisé, doit avoir une certaine stabilité à la chaleur, contre la lumière et l'oxygène ; avec une température d'ébullition le plus bas possible pour une élimination facile et ne doit faire aucune réaction chimique avec l'extrait. L'extraction est faite avec un appareil de Soxhlet ou un appareil de Lickens-Nickerson (**Raynaud, 2006**).

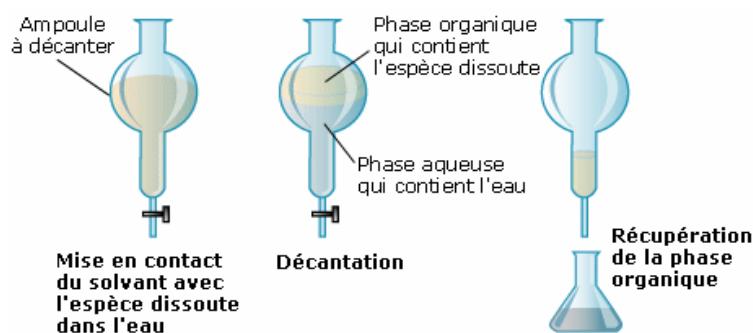


Figure 8 : Entraînement par solvant (<https://www.maxicours.com/se/cours/extraction-d-une-espece-chimique-d-un-solvant/>)

I.4.5 Extraction assistée par micro-ondes

Tout à la fin du XXe siècle, plus précisément au début des années 90, a été développée une nouvelle technique de distillation : l'hydrodistillation par micro-ondes sous vide. Dans ce procédé, la matrice est soumise à un échauffement par micro-ondes dans une enceinte close dans laquelle la pression est successivement réduite. Les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau issue de l'eau propre à la plante et récupérés par des procédés classiques comme la condensation, le refroidissement et la décantation (Zenasni, 2014).

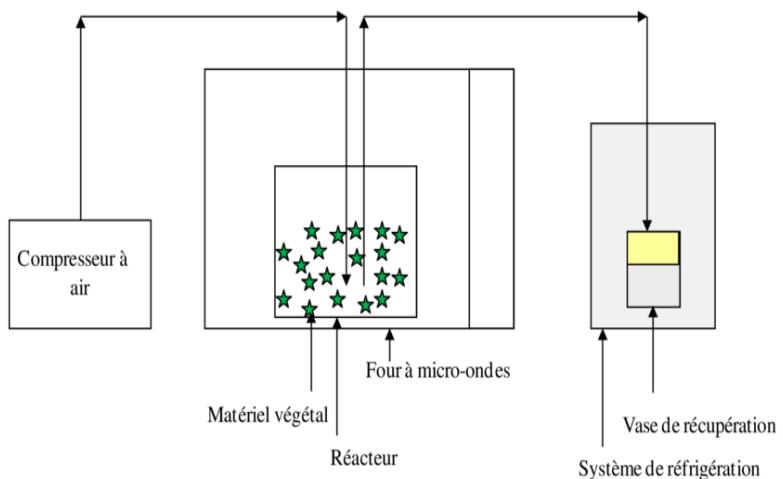


Figure 9 : Entraînement par micro-ondes

(https://www.researchgate.net/figure/Entrainement-a-lair-assiste-par-micro-ondes-CAMD_fig6_278635494).

I.4.6 Extraction par fluide à l'état supercritique

Selon Bouras (2018), le processus d'extraction passe par une compression du CO₂ à des températures et à des pressions qui franchissent son point critique (P=72.8 bars et T=31.1°C). Sous état supercritique, le CO₂ n'est plus ni un liquide ni un gaz et il devient un excellent solvant d'extraction avec des propriétés modulables à plaisir via une simple manipulation de la température du procédé. Les solvants supercritiques comme le CO₂ supercritique constituent un bon solvant dans le domaine supercritique et un mauvais solvant dans le domaine gazeux. Les avantages du procédé sont nombreux :

- Le CO₂ est totalement inerte chimiquement, il est naturel, peu onéreux et non toxique ;
- En fin de cycle, il est facile de séparer le solvant du soluté (une simple détente ramenant le CO₂ à la phase gazeuse), avec des rendements très élevés et peu onéreux ;

Chapitre I : Généralités sur les huiles essentielles

- L'extraction des huiles essentielles au CO₂ supercritique procure des huiles de qualité supérieure et de temps d'extraction relativement courts au regard des méthodes classiques. Pourtant, l'installation industrielle de ce procédé est coûteuse en équipements, et l'appareillage est lourd.

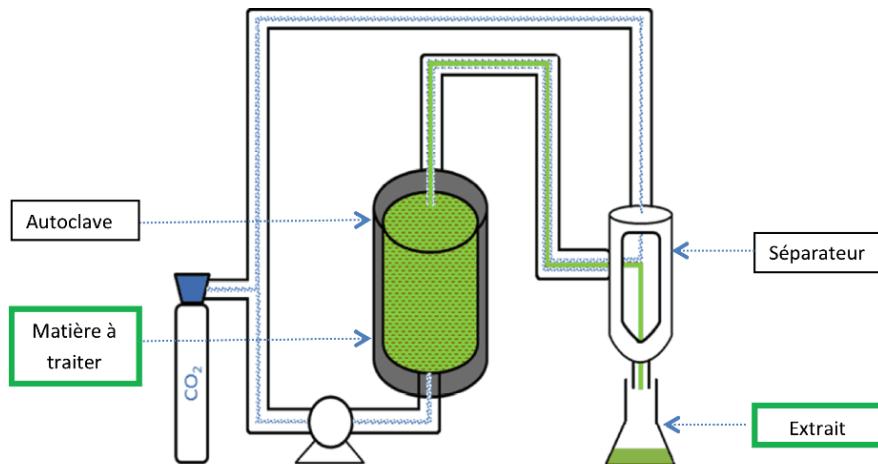


Figure 10 : Entraînement par fluide à l'état supercritique.

I.5 Conservation des huiles essentielles

Les flacons utilisées pour la conservation des H.E. doivent être hermétiquement clos afin d'éviter leur évaporation très rapide, mais également l'oxydation causée par l'air et la dégradation entraînée par la lumière (Valnet, 1984).

I.6 Domaines d'utilisation des huiles essentielles

I.6.1 Secteur de l'industrie pharmaceutique

Les huiles essentielles sont consacrées en nombre important dans le secteur pharmaceutique et ses propriétés aux fins de soin, médicales : antimicrobiennes, antivirales, antifongiques, anti-inflammatoires et anticancéreuses. On les trouve au niveau de la formulation de différents médicaments, traitements cutanés, sirops contre la toux, inhalations pour le traitement des voies respiratoires notamment (Bakkali *et al.*, 2008).

I.6.2 Secteur de l'industrie agroalimentaire

Concernant le domaine de l'agro-alimentaire, les huiles essentielles sont utilisées comme agents de conservation naturels grâce à leurs propriétés antimicrobiennes permettant l'allongement de la durée de vie des aliments. Ainsi ces huiles essentielles servent de saveurs au parfum des produits alimentaires (boissons, sucreries, biscuits...) et concourent à l'amélioration de la sécurité sanitaire du produit alimentaire (Burt, 2004).

I.6.3 Secteur de l'industrie de la parfumerie et du cosmétique

Les huiles essentielles sont omniprésentes dans la parfumerie et la cosmétique, appréciées pour leurs fragrances élégantes, naturelles et nuancées. Elles se retrouvent ainsi dans les compositions de parfums, mais également dans celles de lotions, crèmes, savons et shampoings essentiellement pour leur odeur mais également pour leurs effets apaisants, antiseptiques ou stimulants sur la peau et les cheveux (**Salehi et al., 2018**).

I.6.4 Secteur de l'industrie chimique

Au sein du domaine industriel, particulièrement dans le secteur chimique, les huiles essentielles se révèlent de précieux alliés, à la fois comme solvants naturels, comme agents de nettoyage, comme réactifs chimiques, ou encore dans la formulation de biopesticides. Leur biodégradabilité et leur faible potentiel de toxicité en font aussi une alternative de choix aux solvants organiques de synthèse et aux produits chimiques de synthèse classiquement produits (**Isman, 2006**).

I.7 Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont connues par leur toxicité aiguë (**Bruneton, 1999**). D'après **Telphon (2003)**, certaines huiles essentielles présentent des effets toxiques notables:

- L'essence de sobine provoque des hémorragies utérines chez la femme.
- L'essence de genévrier provoque des hématuries chez l'homme.
- Le menthol (2 g) peut donner un spasme de la glotte menant à l'asphyxie.
- Le cis-anéthol entraîne des convulsions.
- Les huiles essentielles à thyones ou à pinocamphone: provoque une neurotoxicité et entraînent des crises épileptiformes, des crises tétaniformes, des troubles psychiques et sensoriels rendant l'hospitalisation nécessaire.
- Le carvacrol, comme le thymol, est très irritante, astringente, caustique, ingéré à la dose de 2 g, il provoque un peu de gastralgie avec vomissements, à plus forte dose, il fait la diarrhée. Ainsi, le thym très riche en composés phénoliques, pris pur (en doses de 30 à 40 gouttes), peut être mortel ou au moins provoquer des convulsions.

Chapitre II

Généralité sur les plantes aromatiques étudiées

II.1 *Lavandula stoechas* L.

II.1.1 Classification

D'après Upson and Andrews (2004), la classification de la lavandula papillon est la suite :

Règne :	Plantae
Sous-Règne :	Plantes vasculaires
Embranchement :	Spermaphytes
Sous-Embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Sous-Classe :	Dialypétales
Ordre :	Lamiales
Famille :	Lamiaceae
Sous-Famille :	Nepetoideae
Genre :	<i>Lavandula</i>
Espèce :	<i>Lavandula stoechas</i> L.

II.1.2 Origine et distribution

Lavandula stoechas, couramment désignée sous le nom de lavande papillon, ou lavande stéchade (figure 11), appartenant à la famille des Lamiacées, est l'une des plus anciennes lavandes connues, dont les vertus médicinales et odorantes étaient déjà vantées dans l'Antiquité par les Grecs et les Romains (Bruneton, 2009). Le nom stoechas vient du grec ancien stoechas, nom donné à un groupe d'îles espagnoles des Baléares, suggérant une origine méditerranéenne ancienne (Upson et Andrews, 2004).



Figure 11 : Photo de *Lavandula stoechas* L. (Photo originale)

Elle trouve son aire d'origine en partie occidentale du bassin méditerranéen, notamment dans le sud de la France, l'Espagne, le Portugal, l'Italie et au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie) ; elle croît en général dans les biotopes arides, rocheux et ensoleillés, souvent en garrigue ou maquis (Heywood, 1993). Son habitat de prédilection se situe entre 0 et 800 m d'altitude, sur des sols siliceux et pauvres (Friedman *et al.*, 2015).

II.1.3 Description botaniques

Lavandula Stoechas : est surnommée lavande à toupets en raison des petites bractées qui surmontent les épis, c'est un arbrisseau ou arbuste aromatique, très ramifié de 40 cm à 1 m de hauteur à feuillage persistant. Les feuilles sont opposées plus ou moins linéaires de 1-4 cm de long jusqu'aux épis, ce qui donne un aspect dense, à bord enroulé, les deux faces à poils gris souples. Les fleurs sont placées aux aisselles à 1-5 cm de long, ovoïdes, pourpre à bleu-violet (Bayer *et al.*, 2016).

II.1.4 Composition biochimique de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*

L'huile essentielle de *L. stoechas* est caractérisée par une composition riche en monoterpènes oxygénés dominés par le fenchone, le camphre, 1,8-cinéole, et encore du bornéol du linalool (Bilia *et al.*, 2011; Boukhatem *et al.*, 2014 ; Sefidkon *et al.*, 2007; Khan *et al.*, 2016). Sa composition est variable selon l'origine géographique de la plante, les conditions climatiques et les techniques d'extraction (Adams *et al.*, 2004; Boukhatem *et al.*, 2014; Boutekedjiret *et al.*, 2003).

II.1.5 Propriétés biologiques de l'huile essentielles de *Lavandula stoechas*

II.1.5.1 Propriétés antibactériennes

L'huile essentielle de *L. stoechas* a une activité antibactérienne très significative sur différentes souches pathogènes notamment sur *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* qui est apportée par les bioactifs fenchone, camphre et eucalyptol, selon plusieurs études in vitro par la méthode de diffusion sur disque (Ben Farhat *et al.*, 2015)

II.1.5.2 Propriétés antifongiques

En plus d'une présence avérée de son activité sur des agents pathogènes fongiques du genre *Candida*, notamment *C. albicans* et *C. tropicalis*, et certains fongicides phytopathogènes tels que *Aspergillus niger* et *Fusarium oxysporum*, l'huile essentielle de *L.*

stoechas montre une forte activité antifongique. Ces effets sont attribuables essentiellement aux monoterpènes et cétones présents dans l'huile et à leur capacité à altérer la membrane et à inhiber la croissance des champignons (**Djenane et al., 2012**)

II.1.5.3 Propriétés antioxydantes

En raison de ses composants phénoliques et terpènoïdes, *L. stoechas* présente une riche et importante capacité antioxydante, comme l'ont à la fois montré les tests DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) et FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), qui lui confèrent la capacité de piéger les radicaux libres et de baisser le stress oxydatif (**Bachiri et al., 2020**), faisant ainsi de son utilisation un enjeu de santé potential en raison de sa capacité à prévenir certaines maladies dégénératives.

II.1.5.4. Propriétés insecticides

Les huiles essentielles de *L. stoechas* se sont révélées efficaces contre des espèces nuisibles comme *Tribolium castaneum* (charançon de la farine), *Culex pipiens* (moustique) et *Aedes aegypti*, en insecticide et répulsives. Les huiles essentielles, par contact ou inhalation, provoquent, chez les insectes cibles des effets neurotoxiques, induits par des molécules comme le camphre et le 1,8-cinéole (**Zoubiri et Baaliouamer, 2011**).

II.2 *Mentha pulegium* L.

II.2.1 Classification

La classification botanique de l'espèce *M. pulegium* est la suivante (**Bekhechi (2008) et Guignard, 2004**) :

Règne :	Végétal
Embranchement :	Spermaphytes
Sous-embranchement :	Angiospermes
Classe :	Dicotylédones
Sous-classe :	Gamopétales
Ordre :	Lamiales
Famille :	Labiacées
Genre :	<i>Mentha</i>
Espèce :	<i>Mentha pulegium</i> L.

II.2.2 Origine et distribution

Mentha pulegium, souvent désignée par l'expression vernaculaire de menthe pouliot (figure12), est une plante herbacée vivace de la famille des Lamiacées, qui est originaire des régions méditerranéennes de l'Europe, de l'Afrique du Nord et de l'Asie occidentale. Elle se développe particulièrement dans les milieux humides, au bord des rivières ou dans les prairies marécageuses. Aujourd'hui, en complément à sa répartition naturelle, elle est également cultivée dans diverses régions tempérées pour ses multiples usages culinaires et médicinaux (**Kokkini et al., 1997**).



Figure 12 : Photo de *Mentha pulegium* L.

II.2.3 Description botanique

La Menthe pouliot est une plante herbacée vivace à rhizomes traçants, forme de denses touffes et présente une hauteur variant entre 10 et 50 cm. Sa tige dressée ou ascendante est quadrangulaire, velue et souvent ramifiée à la base (**Tutin et al., 1972**).

Les feuilles opposées et simples sont ovales à oblongues, de 1 à 3 cm de long avec des bords finement crénelés ; elles sont couvertes de poils glanduleux et non glanduleux et parfument intensément lorsqu'on les frotte, en raison de leur richesse en huiles essentielles (**Harley et al., 2004**). Les fleurs, groupées en verticilles denses et globuleux dans l'aisselle des feuilles supérieures, forment une inflorescence pseudo-spiciforme. Chaque fleur est zygomorphe, avec un calice campanulé à cinq dents et une corolle tubuleuse bilabiée, de teinte mauve à lilas. La floraison s'étale de juin à septembre (**Tutin et al., 1972 ; Pignatti, 1982**). Le fruit est un tétrakène comprenant quatre petites nucules ovoïdes à surface lisse,

disséminées par gravité et l'eau, ce qui offre une stratégie de dissémination adéquate pour les espaces humides dans lesquels l'espèce s'est établie (Clapham *et al.*, 1987).

II.2.4 Composition biochimique de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

L'huile essentielle issues de *M. pulegium* est caractérisée par la présence prépondérante de monoterpènes oxygénés, avec la pulégone suivie par l'iso-menthone, la piperitenone, le menthol, le 1,8-cinéole et le limonène (Ben Farhat *et al.*, 2009; El Hassani *et al.*, 2015; Khouja *et al.*, 2011; Mimica-Dukić *et al.*, 2003).

La différence de composition chimique observées est expliquée par l'origine géographique, les modalités de culture et les périodes de récolte (Ben Farhat *et al.*, 2009)

II.2.5 Propriétés biologiques de l'huile essentielles de *Mentha pulegium*

II.2.5.1 Propriétés antibactériennes

L'activité antibactérienne des huiles essentielles de *M. pulegium* a été bien démontrée sur plusieurs agents pathogènes connus: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Listeria monocytogenes*. On a montré que l'activité antibactérienne des huiles essentielles de menthe est, entre autres, due à la présence des molécules majeures de l'huile essentielle : la pulégone, la menthone et l'isomenthone (Sokovic *et al.*, 2009). Une étude a également montré que les extraits méthanoliques de la plante inhibent in vitro la croissance bactérienne (Selles *et al.*, 2020).

II.2.5.2 Propriétés antifongiques

Mentha pulegium présente aussi un intérêt dans le domaine antifongique. Ses huiles essentielles disposeraient d'une efficacité contre différentes espèces de champignons pathogènes telles que *Candida albicans*, *Aspergillus niger* et *Fusarium oxysporum*. La pulégone ainsi que d'autres monoterpènes seraient susceptibles d'interférer avec la membrane cellulaire des champignons, entraînant la fuite des éléments cellulaires (Cosentino *et al.*, 1999 ; Sokovic *et al.*, 2009).

II.2.5.3 Propriétés antioxydantes

Les extraits de *Mentha pulegium* présentent une activité antioxydante significative, grâce à la présence de composés phénoliques tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques. Ces derniers sont capables de piéger les radicaux libres, agissant ainsi contre

le stress oxydatif au sein des cellules (**Ghorbani et al., 2011**). Cette propriété antioxydante confère à la plante un intérêt particulier pour les applications en agroalimentaire et en cosmétique naturelle.

II.2.5.4 Propriétés insecticides

Les huiles essentielles d'une *M.pulegium* sont reconnues pour leur pouvoir insecticide, notamment contre les populations de *Culex pipiens* et *Aedes aegypti* vecteurs de différentes maladies humaines, mais également contre les insectes ravageurs en milieu agricole. En effet, la pulegone qu'elles contiennent, une molécule de la famille des monoterpènes, possède des propriétés neurotoxiques contre les insectes, sur lesquelles reposent ses effets insecticides en altérant le fonctionnement de leur système nerveux central (**Isman, 2000; Benelli et al., 2015**).

Chapitre III

Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

III.1 Classification

D'après **Balachowsky et Mesnil (1935)** et **Grasse (1951)**, *Aphis fabae* est classé comme suit :

Règne :	Animal
Embranchement :	Arthropode
Sous embranchement :	Mandibulates
Classe :	Insectes
Sous classe :	Pterygotes
Section :	Néoptère (paraneoptère)
Sous-section :	Hétérometabole
Super ordre :	Hemipteroïde
Ordre :	Homoptères
Sous ordre :	Aphidinea
Super famille :	Aphidoidea
Famille :	Aphididae
Sous famille :	Aphidinae
Genre :	<i>Aphis</i>
Espèce :	<i>Aphis fabae</i>

III.2 Description du puceron noir *A. fabae*

Les adultes d'*Aphis fabae* mesurent environ 1,5 à 3 mm de long. Leur corps, généralement noir brillant à brun foncé, peut présenter des reflets verdâtres ou bleuâtres. Ils ont une silhouette piriforme (en forme de poire), souvent recouverte d'une fine couche cireuse. Leurs antennes sont longues et composées en six segments. Les cornicules (siphoncules), noires, droites et bien visibles. La cauda (appendice caudal) est relativement longue et effilée. Les individus de l'espèce *A. fabae* se décline en deux formes : aptère (dépourvue d'ailes) et ailée. Cette dernière se distingue par un thorax plus sombre et des ailes transparentes à nervation marquée (**figure 13 et 14**) (**Blackman et Eastop, 2000**).

III.3 Les plantes hôtes

Le puceron noir de la fève (*Aphis fabae* Scopoli) est l'un des pucerons les plus nuisibles aux cultures légumineuses, notamment à la fève (*Vicia faba*). C'est un insecte polyphage qui possède un cycle de vie complexe et des hôtes diversifiés. Il passe l'hiver sous forme d'œufs sur des plantes ligneuses (hôtes primaires) comme le fusain (*Euonymus*

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

europaeus) ou le sureau noir (*Sambucus nigra*). À l'arrivée du printemps, les jeunes pucerons migrent vers des plantes herbacées (hôtes secondaires), dont la fève, où ils se multiplient rapidement par parthénogénèse (**Blackman et Eastop, 2000**).



Figure 13 : Forme aptère du puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) (Photo originale)

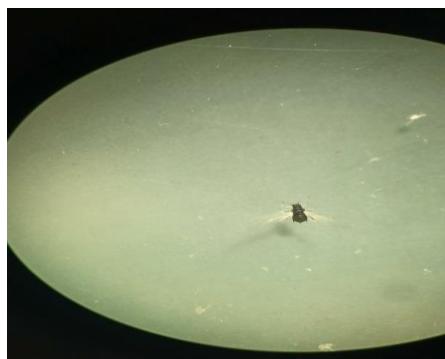


Figure 14 : Forme ailée du puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) (Photo originale)

III.4 Cycle biologique

Le puceron noir de la fève (*Aphis fabae Scopoli*) appartient au groupe des hémiptères, qui s'est largement diffusé et s'est avéré capable de nombreux ajustements liés à l'imprévisibilité de son environnement écologique, étant donné son cycle de vie complexe. En effet, il peut adopter un cycle holocyclique (cycle alternant phases de reproduction sexuée et asexuée) ou un cycle anholocyclique (reproduction exclusivement asexuée), selon la variabilité du climat (**Blackman et Eastop, 2000**). Dans les régions tempérées, au cours de l'hiver, il over interne sous forme d'œufs résistants, pondus en automne sur des hôtes primaires ligneux, comme le fusain (*Euonymus europaeus*) ou le sureau noir (*Sambucus nigra*) (**Dedryver et al., 2010**). Ces œufs éclos au printemps naissent sous la forme de femelles fondatrices qui s'installent sur les jeunes pousses des hôtes primaires. Prises très

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

rapidement, de formes ailées, pour migrer vers des hôtes secondaires herbacés : fève (*Vicia faba*), pois (*Pisum sativum*), betterave (*Beta vulgaris*) (Van Emden et Harrington, 2007).

À partir desquelles le puceron se reproduit par parthénogénèse vivipare : les femelles donnent nées directement des jeunes pucerons vivants, sans fécondation. Ce mode de reproduction rapide permet d'obtenir plusieurs générations par saison ce qui peut parfois conduire à des pullulations (Dedryver *et al.*, 2010).

À l'automne, sous l'effet de la photopériode décroissante et des températures plus fraîches, des formes ailées sexuées sont produites. Ces individus retournent sur les hôtes primaires pour s'accoupler. Les femelles pondent alors des œufs d'hiver, permettent à la population de survivre jusqu'à la saison suivante bouclant ainsi le cycle annuel (Blackman et Eastop, 2000).

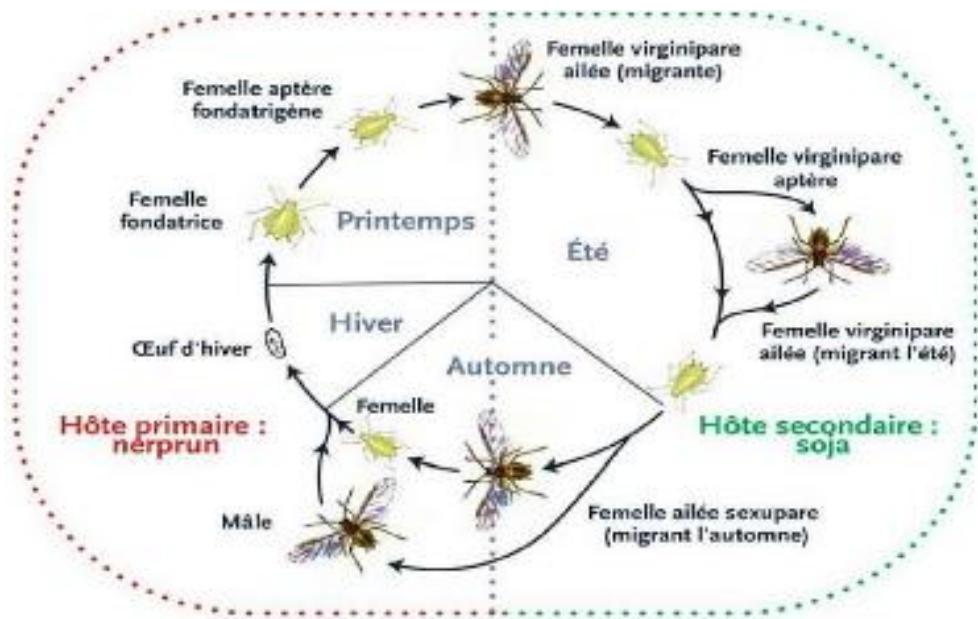


Figure 15 : Cycle biologique de puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) (<https://www.memoireonline.com/01/14/8659/Les-pucerons-dans-la-region-de-Ghardaa-en-Algerie-biodiversite-et-importance-dans-un-champ-de.html>)

III.5 Dégâts de puceron noir de la fève

III.5.1 Les dégâts directs

Les nuisances relevées directement sont associées à la mode de vie des pucerons. En se nourrissant, les pucerons festonnent les tissus de la plante grâce à leurs stylets pour prélever la sève phloémienne. Le prélèvement de sève entraîne un affaiblissement général, une diminution de la croissance végétative, le flétrissement des feuilles, la déformation des jeunes pousses et enfin des gousses. Sur fève, les attaques précoce peuvent fortement limiter

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

le développement des tiges et diminuer le nombre et la taille des gousses traduisant une baisse importante du rendement (**Blackman et Eastop, 2000**).

III.5.2 Les dégâts indirects

Outre ses effets directs, le puceron noir est également responsable d'importants dégâts indirects. D'abord, il sécrète un miellat surabondant qui recouvre les feuilles et les tiges. Ce dernier favorise le développement de champignons saprophytes, dont notamment la fumagine (champignons noirs), qui vient altérer l'activité photosynthétique des végétaux. Ensuite, *Aphis fabae* est vecteur de plusieurs virus phytopathogènes, dont le virus de la mosaïque de la fève et le virus de la jaunisse nanisante de l'orge. La transmission de ces virus exacerbe la réduction de rendement et le compromis de qualité des récoltes (**Dedryver et al., 2010 ; Van Emden et Harrington, 2007**).

III.6 Moyens de lutte contre le puceron noir de la fève

III. 6.1 La lutte physique

La lutte physique s'appuie sur la destruction directe des pucerons ou la limitation de leur accès aux plantes. L'arrachage des parties infestées, le lavage des plantes avec de l'eau sous pression, et l'installation de filets anti-insectes sont des techniques courantes de lutte physique. Celles-ci sont principalement efficaces dans le cas de petites surfaces (**Blackman et Eastop, 2000**).

III. 6.2 Plantes transgéniques

Les plantes transgéniques offrent une solution prometteuse pour lutter contre les pucerons, notamment *Aphis fabae*, en exprimant des gènes conférant une résistance directe ou indirecte à l'insecte.

- Plantes exprimant des lectines insecticides

Certaines lectines, comme la GNA (*Galanthus nivalis agglutinin*), se fixent à la paroi intestinale des pucerons, perturbant l'absorption des nutriments. Par exemple, des plants de pois modifiés pour produire la GNA ont montré une réduction significative de la survie des pucerons (**Fitches et al., 2001**). L'ASAL (*Allium sativum lectin*), une alternative issue de l'ail, a également démontré une toxicité efficace contre *A. fabae* dans des plants de pomme de terre transgéniques (**Sadeghi et al., 2008**).

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

- Plantes utilisant l'interférence par ARN (ARNi)

Cette méthode consiste à produire des ARN double brin (dsRNA) ciblant des gènes essentiels du puceron. Par exemple, une fève transgénique exprimant un dsRNA dirigé contre une ATPase a permis de réduire de 70 % la population d'*Aphis fabae* en conditions de serre (Christiaens *et al.*, 2020).

- Plantes exprimant des inhibiteurs de protéases (CpTI, PI-II)

Les inhibiteurs de protéases, comme le CpTI (issu du pois), empêchent la digestion en bloquant les enzymes intestinales du puceron. Des haricots transgéniques exprimant CpTI ont montré une réduction de moitié de l'infestation par *Aphis fabae* (Boulter *et al.*, 1990).

- Plantes produisant des composés répulsifs

L'E-β-farnésène, une phéromone d'alarme naturelle chez les pucerons, provoque leur dispersion. Des plants de pomme de terre génétiquement modifiés pour synthétiser cette substance ont montré une diminution notable des colonies d'*Aphis fabae*, grâce à un effet répulsif (Beale *et al.*, 2006).

- Plantes à résistance induite par des gènes végétaux (NPR1, type Vat)

Certains gènes végétaux, comme *NPR1*, activent les défenses naturelles des plantes, notamment la réponse SAR (Systemic Acquired Resistance). Ainsi, *Arabidopsis thaliana* exprimant *NPR1* a présenté une résistance renforcée à *A. fabae*, liée à une intensification des défenses métaboliques (Dong, 2004).

III.6.3 La lutte chimique

Il est habituel d'employer des insecticides contre le puceron noir. Les traitements les plus utilisés sont les pyréthrinoïdes et les néonicotinoïdes, même si leur utilisation est de plus en plus encadrée en raison des risques environnementaux et pour les organismes auxiliaires. Les régulateurs de croissance (IGR) permettent aussi de cibler les stades juvéniles du puceron. Une utilisation raisonnée et ciblée des traitements est recommandée pour éviter le développement de résistances (Foster *et al.*, 2007).

III.6.4 La lutte biologique

III.6.4.1 Utilisation des insectes entomophages

Parmi les insectes entomophages, les coccinelles (notamment *Coccinella septempunctata*), les syrphes (*Episyrphus balteatus*) et les chrysopes (*Chrysoperla carnea*) sont les principaux prédateurs du puceron noir. Ces auxiliaires consomment d'importantes quantités de pucerons au cours de leur développement. Leur introduction ou conservation

Chapitre III : Généralités sur le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*)

dans les agroécosystèmes permet de réguler naturellement les populations de pucerons, en réduisant les pics de pullulation (**Van Driesche et al., 2008**). Les parasitoïdes, notamment les hyménoptères du genre *Aphidius*, complètent ce dispositif en provoquant une mortalité différée des pucerons via la parasitose (**Boivin et Brodeur, 2006**).

III. 6.4.2 Utilisation des micro-organismes entomopathogènes

Les micro-organismes entomopathogènes, en particulier les champignons comme *Beauveria bassiana* et *Verticillium lecanii*, constituent une autre approche de lutte biologique. Ces champignons infectent les pucerons par contact et se développent à l'intérieur de leur corps, entraînant leur mort après quelques jours. Leur efficacité dépend fortement des conditions climatiques (humidité élevée et températures modérées favorisent l'infection) (**Inglis et al., 2001**). L'application de formulations commerciales à base de ces champignons est compatible avec les pratiques d'agriculture biologique et peut être intégrée à des programmes de lutte intégrée (**Faria et Wraight, 2007**).

III. 6.4.3 Utilisation des huiles essentielles comme bio pesticides

Les huiles essentielles (HE), qui sont riches en terpènes et en molécules aromatiques, possèdent un fort potentiel en tant que biopesticides dans le cadre de l'agriculture durable. Leur fonctionnement est insecticide, fongicide, bactéricide et répulsif, en perturbant les systèmes biologiques des espèces nuisibles, comme le système nerveux ou les membranes cellulaires (**Isman, 2006**).

Elles présentent plusieurs atouts : biodégradabilité, faible toxicité pour les abeilles ou les mammifères, compatibilité avec l'agriculture biologique, faible risque de résistance (**Regnault-Roger et al., 2012**).

Différentes huiles essentielles comme celles de thym, de menthe poivrée, de romarin, de citronnelle ou d'eucalyptus ont prouvé leur efficacité dans la lutte contre une variété de ravageurs, en particulier les pucerons, les acariens, les moustiques ou les coléoptères (**Pavela, 2016**). Cependant, leur utilisation se heurte à des problèmes techniques, à savoir une volatilité exacerbée, une variabilité chimique et des conditions d'homologation complexe dans le cadre de directives réglementaires (**Isman, 2020**).

Partie 2 :
Étude expérimentale
Chapitre IV Matériel
et méthodes

IV.1 Objectif

L'objectif de ce travail est de réaliser une étude comparative de l'effet insecticide de deux huiles essentielles, sur le puceron noir adulte de la fève. Les huiles essentielles testées sont : l'huile de *Lavandula stoechas* et de *Mentha pulegium* que nous avons extrait par hydrodistillation à partir de la partie aérienne sèche.

IV.2 Matériel animal

Le matériel animal est constitué par le puceron noir (*Aphis fabae*). La sélection de l'insecte a été basée sur :

- L'importance économique de la plante hôte (la fève).
- Cet insecte cause des dégâts sur la plante hôte.
- Insecte commun, facile à trouver, sur la plante de fève.
- Son abondance.

Les individus d'*Aphis fabae* ont été prélevés sur une parcelle de fèves non traitée implantées dans la localité de Beni Mestina (wilaya de Constantine) (figure 16). Après la collecte, les insectes ont été placés dans une boîte en plastique contenant une quantité suffisante de feuilles de fève fraîches pour assurer leur alimentation. Ils ont ensuite été transférés dans des boîtes de Pétri.

Les bio-tests doivent être réalisés dans un délai maximal de 24 heures après la collecte des pucerons, pour éliminer tous facteurs qui peuvent altérer l'état physiologique de ces derniers.

L'identification des insectes a été réalisée à l'aide de guides entomologiques, sous une loupe binoculaire.



Figure 16 : Feuilles et gousses de fève infestées par l'*Aphis fabae*

IV.3 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est représenté par deux plantes aromatiques appartenant à la famille des Lamiaceae provenaient de deux régions différentes. Le choix de ces plantes repose sur deux critères : leur abondance en Algérie et leur utilisation par la pharmacopée traditionnelle.

La partie aérienne de la lavande a été récoltée en pleine floraison durant le mois de Mars dans la région de Zitouna de la wilaya de Skikda (**Figure 17**), alors que la partie aérienne de la menthe a été récoltée en pleine phase végétative durant le mois de Mai dans la région de Bordj T'har de la wilaya de Jijel (**Figure 18**)

Les plantes ont été nettoyées et séchées quelques jours à l'ombre, afin d'éviter l'altération des principes actifs par la lumière. Ils sont conservés jusqu'à l'extraction de l'huile essentielle.

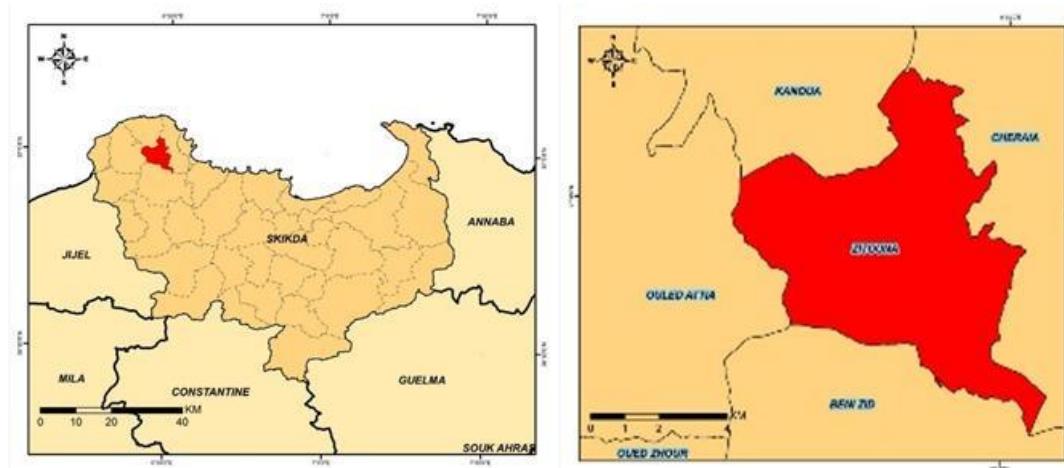


Figure 17 : Carte de localisation géographique de la région de récolte de la *lavande* (*Lavandula stoechas*)

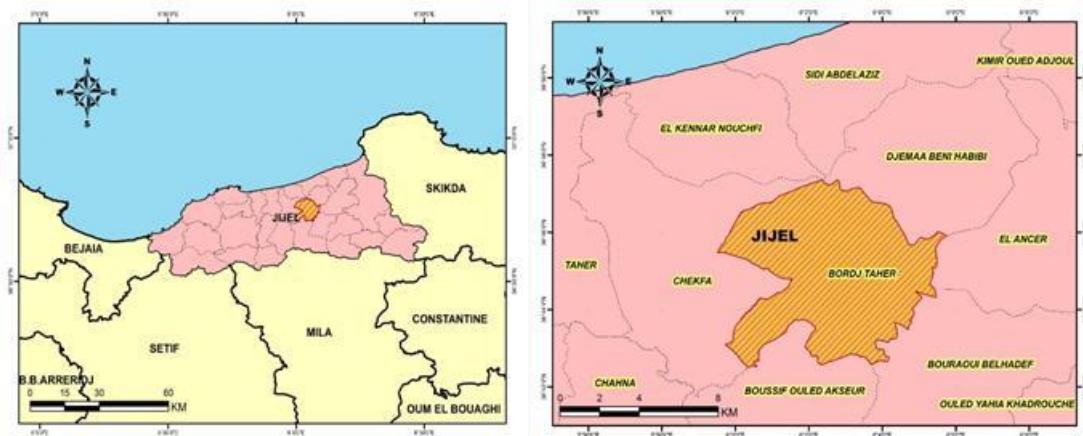


Figure 18 : Carte de localisation géographique de la région de collecte de la *menthe* (*Mentha pulegium*)

IV.4 Méthode expérimentale

IV.4.1 Extraction des huiles essentielles

Dans cette étude nous avons utilisé la méthode d'hydrodistillation (distillation à la vapeur) par l'appareil de type Clevenger pour extraire les huiles essentielles contenues dans les plantes étudiées (**figure 19**).

La distillation à la vapeur d'eau consiste à entraîner les molécules aromatiques volatiles contenues dans les plantes grâce à la vapeur d'eau. Ce mélange gazeux est ensuite condensé pour permettre la récupération de l'huile essentielle (**Baudoux, 2020**).

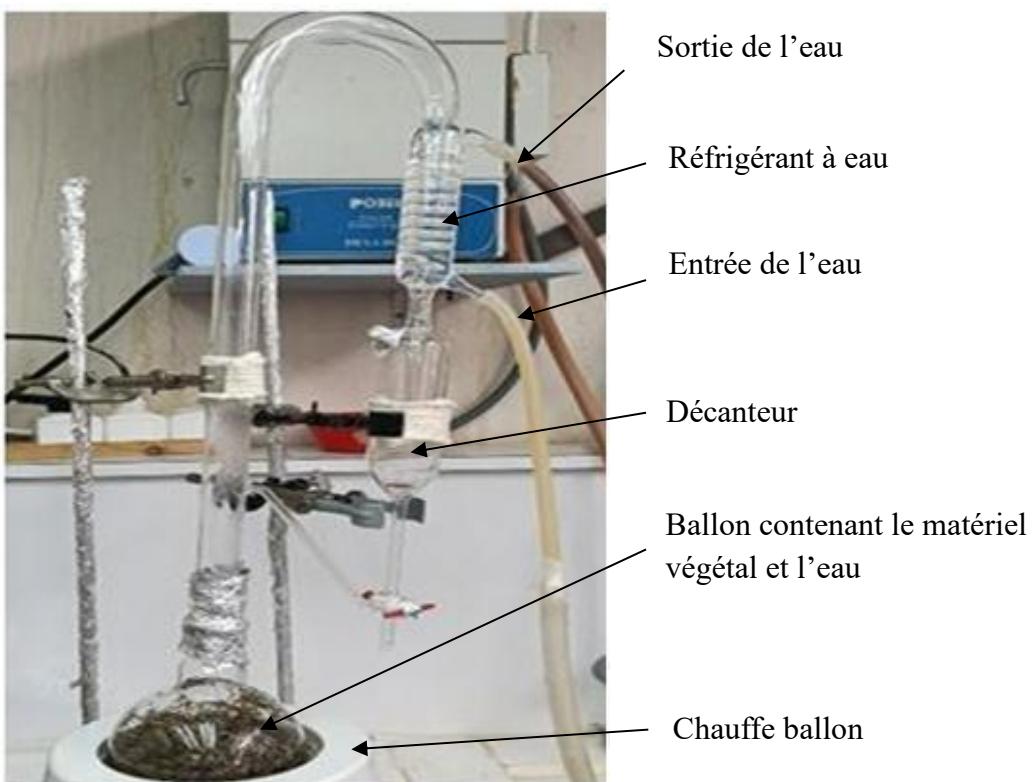


Figure 19 : Dispositif d'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation au niveau du laboratoire (original)

Au cours de cette procédure une quantité de 50 à 55g de matière végétale a été ajouté à 500 ml d'eau distillée dans un ballon de 1000 ml, l'ensemble a été porté à l'ébullition pendant 1h30. La vapeur d'eau chargé en molécules volatiles de l'HE passe vers la colonne puis vers le réfrigérant où elle se condense sous l'effet de l'eau froide (alimentation de l'eau à contrecourant dans le réfrigérant). Après la condensation, le distillat et l'HE se versent dans le décanteur où il forme deux couches bien distinctes : une couche organique de l'huile

Partie 2 : Étude expérimentale Chapitre IV Matériel et méthodes

essentielle et une couche aqueuse constituée d'eau dans laquelle sont dissoutes très peu d'essences odorantes (hydrolat).

Les huiles essentielles, moins denses que l'eau, sont recueillies par simple décantation à la surface de celle-ci (figure20).

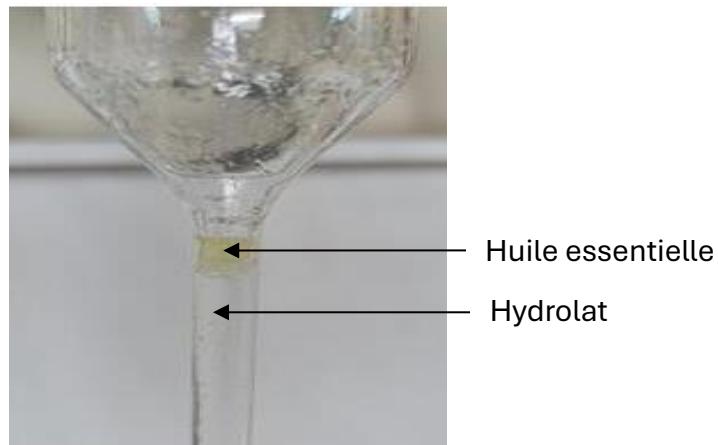


Figure 20 : Ampoule à décanter contenant l'huile essentielle et l'hydrolat

Les huiles essentielles obtenues ont été mises dans des tubes fermé hermétiquement recouverts de papier aluminium pour les préserver de l'air et de la lumière et conservées au réfrigérateur à 4°C jusqu'à utilisation ultérieure.

IV.4.2 Rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la matière végétale séchée. Le rendement exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$R = (PB/PA) \times 100$$

PB : la masse de l'HE obtenue.

PA : la masse de la matière végétale sèche.

IV.4.3 Préparation des concentrations d'huile essentielle

La gamme de concentrations a été déterminée sur la base de plusieurs tests préliminaires au Laboratoire. Ainsi, pour chacune des deux huiles essentielles, trois concentrations d'huile essentielles ont été préparées en diluant chaque fois dans 10 ml

Partie 2 : Étude expérimentale Chapitre IV Matériel et méthodes

d'acétone (1%) les volumes successifs de 1, 10 et 20 μ l de l'HE pour obtenir les concentrations 0,1, 1 et 2 μ l/ml.

IV.4.4 Préparation des témoins

Deux témoins ont été préparés : une solution d'eau distillée et l'autre d'eau distillée-acétone à 1%.

Un insecticide chimique (Acétamipride), le plus utilisé contre les attaques des pucerons par les agriculteurs (cas de la culture fève), à une dose homologuée de 0,001g/ml, a été utilisée comme test positif.

IV.4.5 Effet répulsif de l'huile essentielle sur papier filtre

L'effet répulsif de l'huile essentielle vis à vis des adultes d'*Aphis fabae* a été évalué en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par McDonald *et al.* (1970). Ainsi, les disques de papier filtre de 9 cm de diamètre utilisés à cet effet ont été coupés en deux parties égales ayant chacune 31,80 cm² de surface.

Ensuite ; 0,1 ml de chacune des solutions ainsi préparées a été répandue uniformément sur une moitié du disque correspondant donc respectivement aux doses de 0,016 ; 0,16 et 0,31 μ l/cm² tandis que l'autre moitié a reçu uniquement 0,1 ml d'acétone.

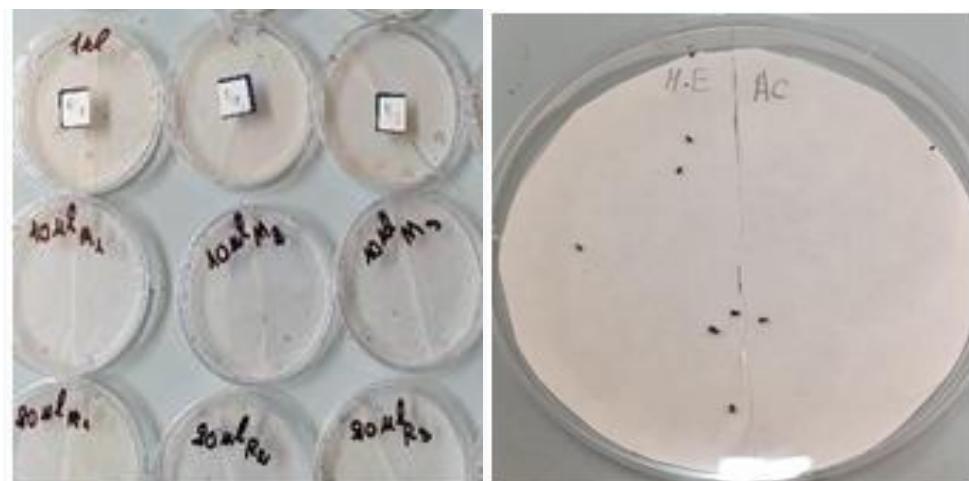


Figure 21 : Préparation des boîtes de Pétri pour l'effet répulsif (photo originale)

Après quinze minutes, temps nécessaire pour l'évaporation complète du solvant de dilution, les deux moitiés des disques ont été ressoudées au moyen d'une bande adhésive. Le disque de papier filtre ainsi reconstitué a été placé dans une boîte de Pétri et un lot de 10

Partie 2 : Étude expérimentale Chapitre IV Matériel et méthodes

pucerons adultes non sexés a été placé au centre de chaque disque. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose.

Le nombre d'insectes présents sur la partie de papier filtre traitée à l'huile essentielle (Nt) et le nombre de ceux présents sur la partie traitée uniquement à l'acétone (Nc) ont été relevés après une période de 30mn, 1h et 2h.

Le pourcentage de répulsion (PR) a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$PR = \frac{Nc - Nt}{Nc + Nt} \times 100$$

Le pourcentage moyen de répulsion pour l'huile essentielle a été calculé et attribué selon le classement de McDonald *et al.* (1970) à l'une des différentes classes répulsives variant de 0 à V : classe 0 (PR < 0,1%), classe I (PR = 0,1 - 20%), classe II (PR = 20,1 - 40%), classe III (PR = 40,1 - 60%), classe IV (PR = 60,1 - 80%) et classe V (PR = 80,1 - 100%).

IV.4.6 Effet Insecticide des huiles par contact et inhalation

IV.4.6.1 Mode opératoire

Les bioessais au laboratoire s'effectuent selon la méthode IRAC (2009). Pour préparer les boîtes Pétri, du tulle est mis sur la partie supérieure de chaque boîte préalablement troué à l'aide d'un scalpel chauffé, pour permettre une circulation de l'air à l'intérieur de la boîte tout en empêchant le puceron de s'enfouir (figure22). Dix pucerons *Aphis fabae* adultes portés sur des feuilles fraîches de la fève sont introduits dans chaque boîte Pétri.



Figure22 : Préparation des boîtes de Pétri pour le test de toxicité (photo originale)

Partie 2 : Étude expérimentale Chapitre IV Matériel et méthodes

Les boites de Pétri préalablement préparées soumis à des traitements par trois concentrations de chaque HE et les solutions de témoin (acétone et insecticide). Chaque boite contient 10 pucerons, et reçoit 1 ml de préparation correspondante à l'aide d'une micropipette. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque concentration et les insectes morts ont été comptés après 3, 6, 12 et 24 h de traitement. Le puceron est considéré comme mort lorsqu'il ne réagit pas au toucher de pinceau.

IV.4.6.2 Estimation de la mortalité

Pour chaque répétition, les mortalités des pucerons sont exprimées en pourcentage par la formule suivante :

$$\% \text{ de mortalité observé} = \frac{\text{Nombre d'individus morts}}{\text{Nombre total d'individus traités}} \times 100$$

IV.4.6.3 Correction de la mortalité

L'efficacité d'un produit biocide est évaluée par la mortalité de l'organisme cible. Cependant, le nombre d'individus dénombrés morts dans une population traitée par un toxique n'est pas le nombre réel d'individus tués par ce toxique. Il existe en fait dans toute population traitée une mortalité naturelle qui vient s'ajouter à la mortalité provoquée par le toxique, pour cela, le pourcentage de mortalité dans chaque boite était calculé en utilisant la formule d'Abbott (**Tedonkeng et al., 2002**) :

$$MC\% = \frac{M0-Mt}{100-Mt} \times 100$$

Mc % : Pourcentage de la mortalité corrigé

Mo : Pourcentage de la mortalité dans la population traitée

Mt : Pourcentage de la mortalité dans la population témoins (Mortalité naturelle).

IV.4.6.4 Calcul des doses létales (DL50) et (CL50)

L'un des moyens d'estimer l'efficacité d'un produit est le calcul de la DL50 qui correspond à la quantité de substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus d'un même lot. Elle est déduite par le tracé de la droite de régression mortalité / dose. De ce fait, les pourcentages de mortalité corrigés sont transformés en probit selon la table de Finney. Afin de déterminer les doses létales qui causent 50% de mortalité (DL50), les droites de régression Probits = $f(\log \text{dose})$ ont été tracées.

L'un des moyens d'estimer l'efficacité d'un produit est le calcul de la CL50 qui correspond à la quantité de substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus d'un même lot. Elle est déduite par le tracé de la droite de régression mortalité / concentration. De ce fait, les pourcentages de mortalité corrigés sont transformés en probit selon la table de Finney.

Afin de déterminer les concentrations létales qui causent 50% de mortalité (DL50), les droites de régression Probits = $f(\log \text{dose})$ ont été tracées.

Chapitre V

Résultats et discussion

V.1. Rendement en huiles essentielles

L'hydrodistillation de la partie aérienne de *L. stoechas* a donné une huile liquide de couleur jaune foncé, mobile et limpide avec une odeur aromatique très puissante et pénétrante qui n'a aucune fraîcheur (figure 23).



Figure 23 : Photo de l'huile essentielle de la lavande (originale).

Par contre l'hydrodistillation de la partie aérienne *M. pulegium* a donné une huile essentielle de couleur jaune claire, mobile et limpide avec une odeur aromatique fraîche très puissante (figure 24).



Figure 24 : Photo de l'huile essentielle de la Menthe (originale).

Le rendement d'extraction exprimé en pourcentage de volume (ml) par rapport au poids de la matière végétale sèche (g) est de 0,33% pour huile essentielle de *L. stoechas* et 0,32% pour huile essentielle de *M. pulegium*. Les résultats sont indiqués dans le tableau 1 et le tableau 2

Chapitre V : Résultats et discussion

Tableau 1 : Rendement en HE de *Lavandula stoechas*

N° Extraction	Matière végétale (g)	Huile essentielle (g)	Rendement (%)	Couleur
1	55	0,16	0,29	Jaune foncé
2	55	0,20	0,36	
3	55	0,18	0,33	
Moyenne	55	0,18	0,33	
Ecart type	0,00	0,05	0,08	

Tableau 2 : Rendement en HE de *Mentha pulegium*.

N° Extraction	Matière végétale (g)	Huile essentielle (g)	Rendement (%)	Couleur
1	50	0,13	0,26	Jaune claire
2	50	0,12	0,24	
3	50	0,23	0,46	
Moyenne	50	0,16	0,32	
Ecart type	0,00	0,06	0,12	

Comme le montre la figure 16, les rendements en huiles essentielles exprimés par rapport à la matière sèche sont très proches d'une plante à l'autre. Le rendement le plus élevé est obtenu pour la lavande papillon (0,33%), contre (0,32%) pour la menthe pouliot.

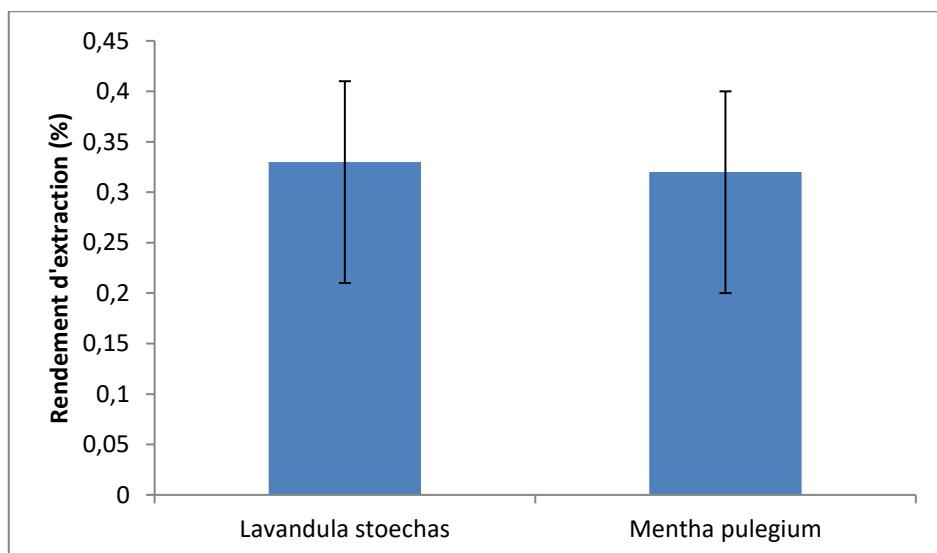


Figure 16 : Rendement moyen de l'extraction des HEs par hydrodistillation

Chapitre V : Résultats et discussion

V.2. Evaluation de l'effet insecticide des deux huiles essentielles

V.2.1. Effet répulsif sur papier filtre

V.2.1.1. Pourcentage de répulsion

Les pourcentages de répulsion des différentes doses des huiles essentielles de *L. stoechas* et *M. pulegium* contre les adultes d'*Aphis fabae* ont été déterminés à partir du tableau 3 et sont récapitulés dans le tableau 4.

Tableau 3 : Pourcentage de répulsion moyen réparti en six classes d'après Mc DONALD *et al.* (1970).

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
0	PR \leq 0.1	Non répulsif
I	0,1 < PR \leq 20	Très faiblement répulsif
II	20 < PR \leq 40	Faiblement répulsif
III	40 < PR \leq 60	Modérément répulsif
IV	60 < PR \leq 80	Répulsif
V	80 < PR \leq 100	Très répulsif

Tableau 4 : Pourcentages de répulsion des huiles essentielles sur papier filtre après 2h de traitement vis-à-vis des adultes d'*Aphis fabae*

Plantes	Doses	Moyens d'individu		Pourcentage de répulsion	Classe	Propriétés
		non traité	traité			
<i>Lavandula stoechas</i>	D1	4,33	5,67	-20	0	Non répulsif
	D2	6,67	3,33	0	0	Non répulsif
	D3	6,33	3,67	40	II	faiblement répulsif
<i>Mentha pulegium</i>	D1	2,00	8	-80	0	Non répulsif
	D2	5,00	5	20	I	Très faiblement répulsif
	D3	7,33	2,67	80	IV	Répulsif

Les résultats montrent qu'après une exposition de deux heures, les différentes doses d'huile essentielle (0.0161 ; 0,13 μ l et 0,31 μ l/cm²) ont donné lieu respectivement -20%, 0% et 40% de répulsion pour *Lavandula stoechas* et -80%, 20% et 80% de répulsion pour *M.*

Chapitre V : Résultats et discussion

pulegium, vis-à-vis des adultes d'*A. phabae*. Cela met en évidence une augmentation du taux de répulsion proportionnelle à la dose d'huile essentielle utilisée.

V.2.1.2. Classes de répulsion

Selon le classement de **McDonald et al. (1970)**, les huiles essentielles appartiennent à la classe non répulsive (classe 0) à modérément répulsif (classe II) pour *L. stoechas* et très faiblement répulsive (classe I) à répulsive (classe IV) pour *M. pulegium* (tableau4). Donc, l'huile essentielle de *M. pulegium* a démontré une activité répulsive supérieure à celle de *L. stoechas*, probablement en lien avec la présence de certains constituants majoritaires propres à chaque huile essentielle.

V.2.2. Activité insecticide par contact-inhalation

Dans les tableaux ci-dessous sont consignés les résultats du test de toxicité des huiles essentielles de *Lavandula stoechas* et de *Mentha pulegium* par contacte-inhalation.

V.2.2.1. Moyenne des mortalités cumulées

V.2.2.1.1. Moyenne des mortalités cumulées du puceron par l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*

Les résultats obtenus concernant la mortalité cumulée du puceron noir de la fève par l'HE de la lavande sont mentionnées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Mortalité cumulée par contact et inhalation d'*Aphis fabae* avec huile essentielle de *Lavandula stoechas* et l'insecticide de synthèse.

Dose ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$)	3h	6h	12h	24h	Moyenne
D1	16.67 \pm 5.77	23.33 \pm 5.77	43.33 \pm 5.77	100 \pm 0.00	45,83%
D2	23.33 \pm 5.77	43.33 \pm 5.77	63.33 \pm 5.77	100 \pm 0.00	57,50%
D3	30 \pm 10.00	66.67 \pm 5.77	70 \pm 0.00	100 \pm 0.00	66,67%
Insecticide	90 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	97,5%
Témoin	10 \pm 0.00	20 \pm 0.00	40 \pm 0.00	40 \pm 0.00	27,5%

D'après le tableau5, la mortalité des pucerons noirs de la fève commence à partir de 3heures d'observation, nous avons enregistré une mortalité de 16.67% pour D1, 23.33% pour D2 et 30% pour la dose D3. Cette mortalité augmente pour atteindre 100% pour toutes les

Chapitre V : Résultats et discussion

doses après 24heures de traitement. Par contre l'insecticide de synthèse a enregistré un taux de mortalité de 90% dès 3 heures de traitement. Les résultats du tableau 5 sont illustrés dans la figure ci-dessous.

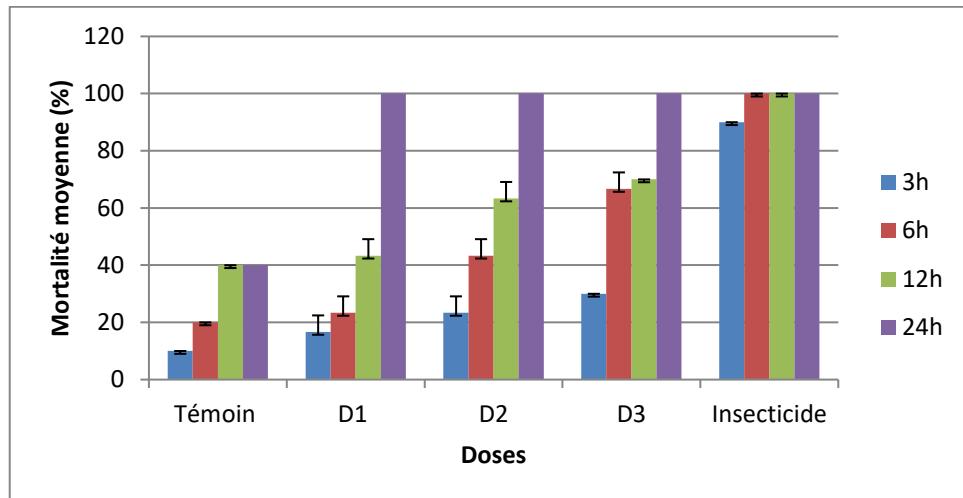


Figure17 : Mortalité cumulée des pucerons adultes traités par contact-inhalation avec différentes doses de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*.

D'après la figure 17, on peut déduire que les mortalités varient en fonction des doses des huiles essentielles de *L. stoechas* et du temps d'exposition à ces huiles.

V.2.2.1.2. Moyenne des mortalités cumulées du puceron par l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

Les résultats concernant la mortalité cumulée des pucerons noirs de la fève par l'HE de *M. pulegium* sont mentionnés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Mortalité cumulée par contact et inhalation d'*Aphis fabae* avec l'huile essentielle de *Mentha pulegium* et l'insecticide de synthèse.

Dose ($\mu\text{L}/\text{cm}^2$)	3h	6h	12h	24h	Moyenne
D1	6.67 \pm 5.77	23.33 \pm 5.77	90 \pm 0.00	100 \pm 0.00	55%
D2	10 \pm 0.00	66.67 \pm 11.55	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	69,17%
D3	76.67 \pm 5.77	90 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	91,67%
Insecticide	90 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	97,5%
Témoin	0 \pm 0.00	10 \pm 0.00	30 \pm 0.00	40 \pm 0.00	20%

D'après le tableau 6, les mortalités des pucerons commencent à partir de 3heures d'observation, nous avons enregistré une mortalité de 6.67% pour D1, 10% pour D2 et 76,67% pour la dose D3. Cette mortalité augmente pour atteindre 90% pour D1 et 100% pour

Chapitre V : Résultats et discussion

D2 et D3 après 12heures de traitement. Par contre l'insecticide de synthèse a enregistré un taux de mortalité de 90% dès 3 heures de traitement. Les résultats du tableau 6 sont illustrés dans la figure 18.

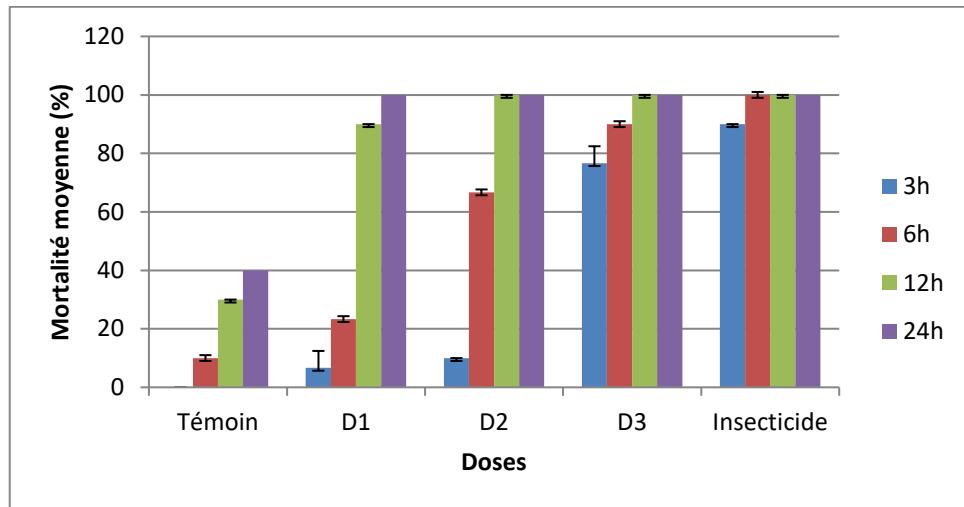


Figure18 : Mortalité cumulée des pucerons adultes traités par contact-inhalation avec différentes doses de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Comme le montre la figure 18, les mortalités des pucerons noirs adultes varient en fonction des doses de l'HE de la menthe et du temps d'exposition. Les deux huiles essentielles ont un effet insecticide contre les pucerons adultes. Ceci se traduit par le pourcentage de mortalité qui est élevé. En comparant l'efficacité des huiles essentielles et l'insecticide de synthèse (Acétamipride), nous pouvons dire que les résultats obtenus avec les huiles sont très remarquables et si nous augmentons les doses nous aurons des résultats meilleurs. Ces résultats permettent de conclure que les deux huiles essentielles ont un effet insecticide contre les pucerons noirs de la fève et que l'huile essentielle de *M. pulegium* présente une efficacité supérieure à celle de *L. stoechas* qui occasionne une mortalité de 100 % au bout de 12 heures seulement d'exposition.

V.3.2.2. Correction des Mortalités

A l'aide de la formule d'About, les résultats des taux mortalités cumulées et corrigées par rapport au témoin sont consignés dans les tableaux 7 et 8 et représentés sur les figures 19 et 20.

V.3.2.2.1 Moyenne des mortalités corrigées du puceron noir de la fève par l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*

Chapitre V : Résultats et discussion

Les résultats obtenus concernant la mortalité corrigée des pucerons noirs de la fève par l'HE de la lavande sont mentionnés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Taux de mortalité corrigée d'*Aphis fabae* traités avec l'huile de *Lavandula stoechas*.

Dose ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$)	3h	6h	12h	24h	Moyenne
D1	7.41 \pm 6.42	4.17 \pm 7.22	5.56 \pm 9.62	100 \pm 0	29,29 %
D2	14.81 \pm 6.42	29.17 \pm 7.22	38.89 \pm 9.62	100 \pm 0	45,72 %
D3	22.22 \pm 11.11	58.33 \pm 7.22	50 \pm 0.00	100 \pm 0	45,14 %
Insecticide	88.89 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0.00	100 \pm 0	97,22 %

Après correction des taux de mortalités, les résultats obtenus avec l'HE de *L. stoechas* montrent que cette dernière a provoqué une mortalité importante à la dose D3 avec 58,33% à un temps d'exposition de 6h et 100% à un temps d'exposition de 24h. Aussi, toutes les doses de l'HE occasionnent une mortalité totale de la population d'*A. fabae* après 24h d'exposition.

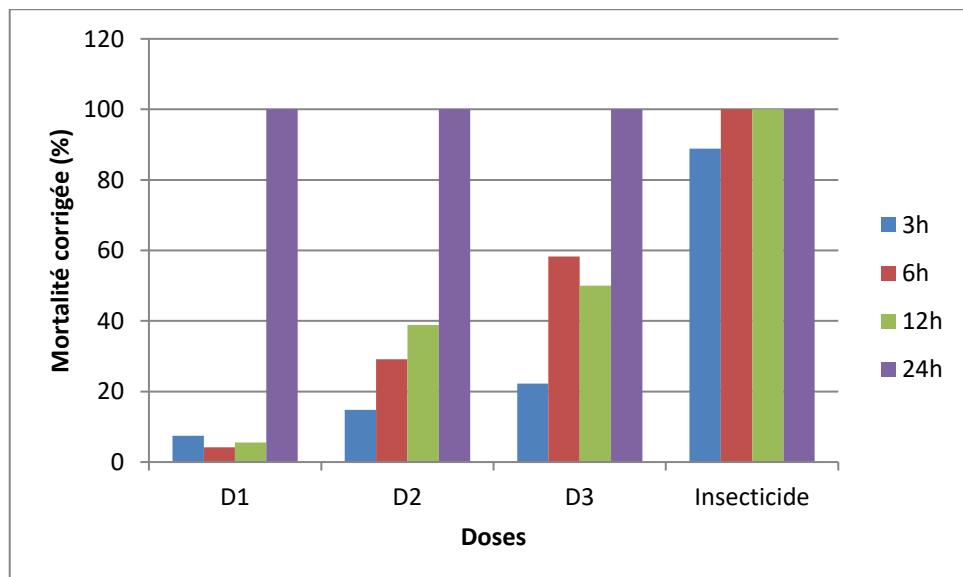


Figure19 : Mortalité corrigée des pucerons adultes traités par contact-inhalation avec différentes doses de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*.

Comme le montre la figure 19, les mortalités des pucerons noirs de la fève varient en fonction des doses de l'huile essentielle de *L. stoechas* et du temps d'exposition.

Chapitre V : Résultats et discussion

V.3.2.2.1 Moyenne des mortalités corrigées du puceron noir de la fève par l'huile essentielle de *Mentha pulegium*

Les résultats obtenus concernant la mortalité corrigée des pucerons par l'HE de *M. pulegium* sont mentionnés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Taux de mortalité corrigée d'*Aphis fabae* traités avec l'huile de *Mentha pulegium*.

Dose ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$)	3h	6h	12h	24h	Moyenne
D1	6.67% \pm 5.77	14.81% \pm 6.42	85.71% \pm 0.00	100% \pm 0.00	51,80%
D2	10% \pm 0.00	62.96% \pm 12.83	100.00% \pm 0.00	100% \pm 0.00	68,24%
D3	76.67% \pm 5.77	88.89% \pm 0.00	100.00% \pm 0.00	100% \pm 0.00	91,39%
Insecticide	90% \pm 0.00	100.00% \pm 0.00	100.00% \pm 0.00	100% \pm 0.00	97,5%

D'après le tableau 8, les mortalités des pucerons traités avec l'HE de *M. pulegium* commencent à partir de 3 heures d'observation où on a enregistré une mortalité de 6.67 % pour la D1 et de 76.67% à la D3. Cette mortalité augmente pour atteindre 85.71% à la D1 et 100% à la dose D2 et D3 après 12 heures seulement de traitement. Enfin toutes les dose de l'HE occasionnent une mortalité totale de la population d'*A. fabae* après 24h d'exposition.

Les résultats du tableau 08 sont illustrés dans la figure ci-dessous.

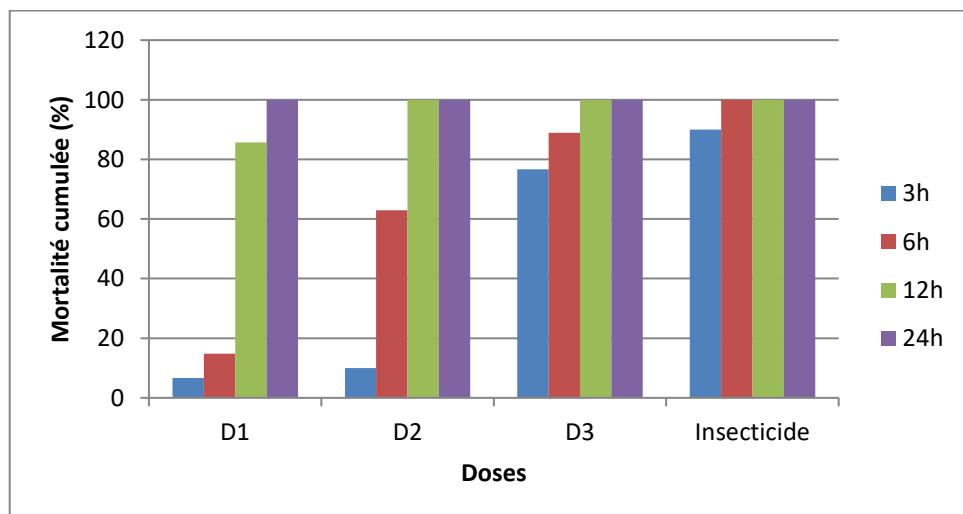


Figure20 : Mortalité corrigée des pucerons adultes traités par contact-inhalation avec différentes doses de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Les tableaux et leurs figures présentent des résultats en matière de mortalité pour les lots traités avec les huiles essentielles de *L. stoechas* et *M. pulegium* et indiquent une mortalité plus ou moins importante qui semble augmenter avec la dose. A la dose maximale (D3), le pourcentage de mortalité est maximal au bout de 24 heures d'exposition pour *L.*

Chapitre V : Résultats et discussion

stoechas et au bout de 12 heures d'exposition pour *M. pulegium* et qui est comparable avec l'insecticide de synthèse.

Il se déduit de ces résultats que la mortalité corrigée augmente avec la dose lorsque les deux huiles essentielles sont appliquées contre le puceron noir de la fève. L'huile essentielle de menthe apparaît plus active puisque la dose de D3 conduit à la mortalité maximale (100 %) des pucerons au bout de 12 heures d'exposition, alors que celle de *L. stoechas* ne provoque que 50 % de mortalité au même temps.

V.2.2.3 Détermination de la DL50 et CL50

Les DL50 et CL50 ont été déterminées à partir de l'équation issue de la droite de régression élaborée à partir des transformations des moyennes de mortalité corrigée en probits et les doses (ou concentration) en logarithmes pour les différents traitements de chaque huile essentielle étudiée.

V.2.2.3.1 Détermination de la DL50 et CL50 de *Lavandula stoechas*

Le pourcentage de mortalités après 6 heures d'exposition pour *L. stoechas* en probits nous permettait de rester dans l'intervalle des doses ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$) ou concentration ($\mu\text{l}/\text{ml}$) appliquées et a permis d'obtenir les données du tableau 9 et le tableau 10.

Tableau 9 : Logarithme des doses d'huile essentielle de *Lavandula stoechas* et les probits de pourcentage de mortalité d'*Aphis fabae* après 6 heures d'exposition.

Doses ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$)	Log (dose)	Mortalité (%)	Probit
0.016	-1.80	4.17	3.25
0.16	-0.80	29.17	4.45
0.31	-0.51	58.33	5.2

Tableau 10 : Logarithme des concentrations d'huile essentielle de *Lavandula stoechas* et les probits de pourcentage de mortalité d'*Aphis fabae* après 6 heures d'exposition.

Concentration ($\mu\text{l}/\text{ml}$)	Log (concentration)	Mortalité (%)	Probit
0.1	-1	4.17	3.25
1	0	29.17	4.45
2	0.30	58.33	5.2

Chapitre V : Résultats et discussion

Nous avons fait sortir les droites de régression présentées dans les figures 30 et 31

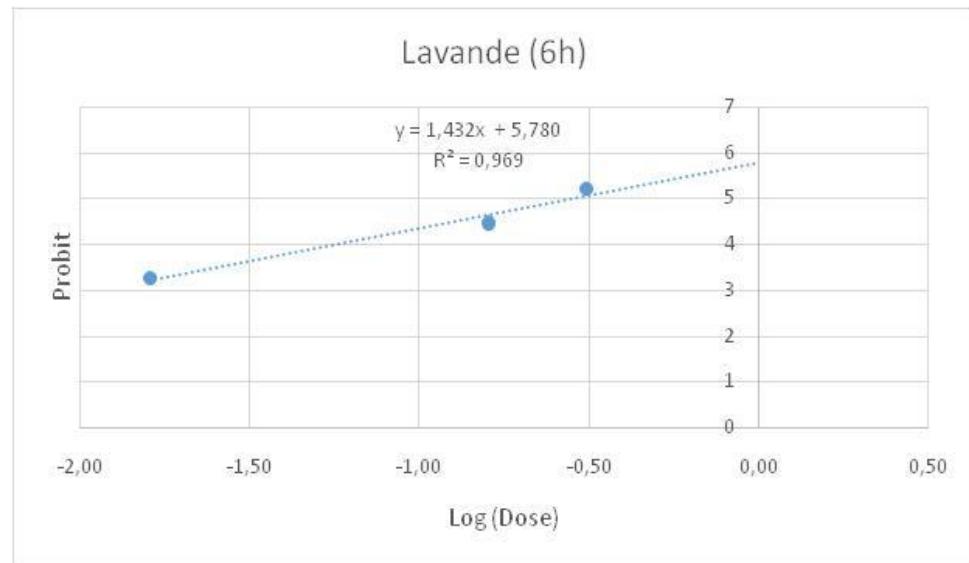


Figure 30 : Courbe linéaire pour le calcul de la DL 50 de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*

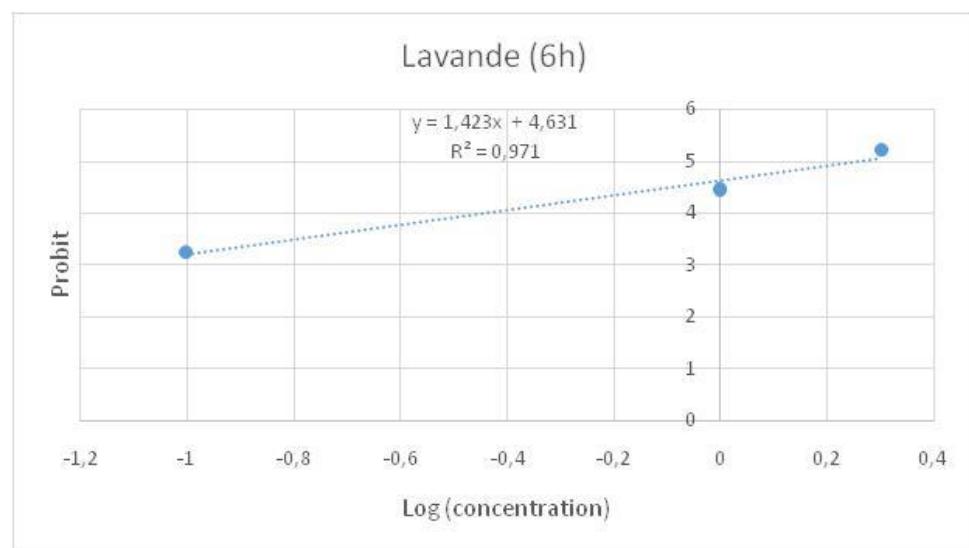


Figure 31 : Courbe linéaire pour le calcul de la CL 50 de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas*.

La régression des données de l'HE de *L. stoechas* (figure 30) en fonction de logarithme de la dose a permis d'obtenir l'équation suivante :

$$Y = 1.432x + 5.780$$

Cette régression a permis d'obtenir des résultats très intéressants comme le montre les coefficients de détermination ($R^2 = 0,969$).

Chapitre V : Résultats et discussion

A partir de cette équation, la DL50 déterminée de l'HE de *L. stoechas* était de $0.28\mu\text{l}/\text{cm}^2$.

La régression des données de l'HE de *L. stoechas* en fonction de logarithme de la concentration a permis d'obtenir l'équation suivante:

$$Y = 1.423x + 4.631$$

Cette régression a également permis d'obtenir des résultats très intéressants comme le montre les coefficients de détermination ($R^2 = 0,971$). La CL50 déterminée de l'HE de *L. stoechas* était de $1.82\mu\text{l}/\text{cm}^2$.

V.2.2.3.2 Détermination de la DL50 et CL50 de *Mentha pulegium*

Le pourcentage de mortalités après 3 heures pour le test de *M. pulegium* en probits nous permettait de rester dans l'intervalle des doses appliquées et a permis d'obtenir les données du tableau 11 et 12.

Tableau 11 : Logarithme des doses d'huile essentielle de *Mentha pulegium* et les probits de pourcentage de mortalité d'*Aphis fabae* après 3 heures d'exposition.

Doses ($\mu\text{l}/\text{cm}^2$)	Log dose	Mortalité (%)	Probit
0.016	-1.80	6.67	3.45
0.16	-0.80	56.67	5.18
0.31	-0.51	76.67	5.71

Tableau 12 : Logarithme des concentrations d'huile essentielle de *Mentha pulegium* et les probits de pourcentage de mortalité d'*Aphis fabae* après 3 heures d'exposition

Concentration ($\mu\text{l}/\text{ml}$)	Log concentration	Mortalité (%)	Probit
0.1	-1	6.67	3.45
1	0	56.67	5.18
2	0.30	76.67	5.71

Chapitre V : Résultats et discussion

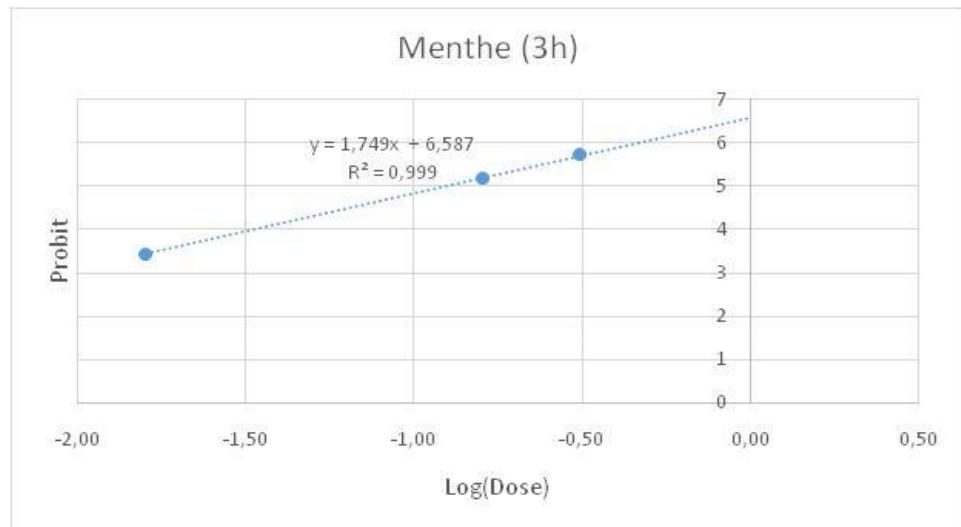


Figure 31 : Courbe linéaire pour le calcul de la DL 50 de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

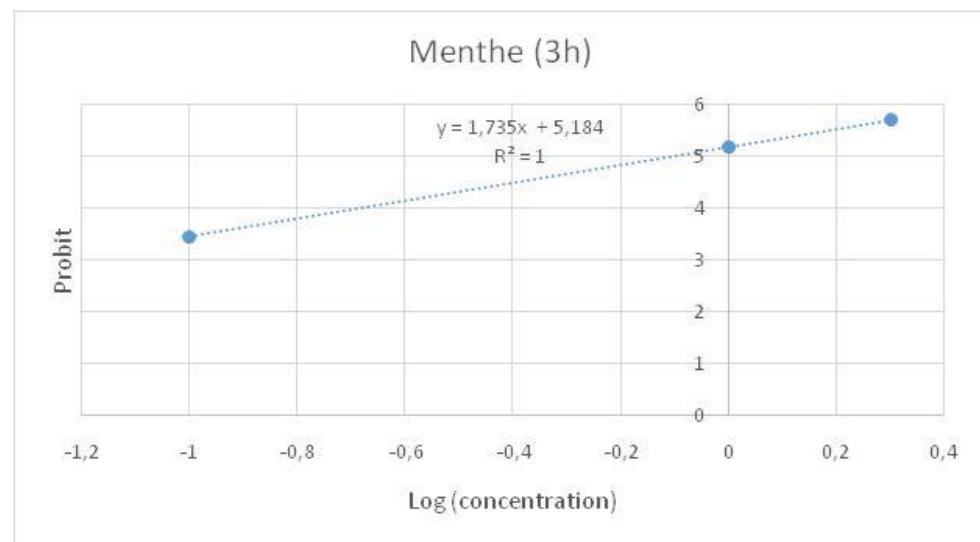


Figure 33 : Courbe linéaire pour le calcul de la CL 50 de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*.

Pour le test de *Mentha pulegium*, l'équation est :

$$Y = 1.749x + 6.58$$

Cette régression a également permis d'obtenir des résultats très intéressants comme le montre les coefficients de détermination ($R^2 = 0,99$)

A partir de cette équation, la DL50 déterminée de l'HE *Mentha pulegium* était de $0.12\mu\text{l}/\text{cm}^2$

Chapitre V : Résultats et discussion

La régression de ces données de *M. pulegium* en fonction de logarithme de la concentration a permis d'obtenir l'équation suivante :

$$Y = 1.735x + 5.184$$

Cette régression a également permis d'obtenir des résultats très intéressants comme le montre les coefficients de détermination ($R^2=1$).

A partir cette équation, la CL50 déterminée de l'huile essentielle *Mentha stoechas* était de 0.78 $\mu\text{l}/\text{ml}$.

La DL50 de l'HE de *L. stoechas* était de 0.28 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$, alors que celle de *M. pulegium* était de 0,12 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$. Cependant, la CL50 était de 1,82 $\mu\text{l}/\text{ml}$ pour les huiles de *L. stoechas* et de 0,78 $\mu\text{l}/\text{ml}$ pour *M. pulegium*. Donc, on peut conclure que les huiles essentielles de la menthe s'avèrent les plus efficaces que celles de *Lavandula*.

Discussion

Notre travail avait pour objectifs d'analyser par effet répulsif et contact-inhalation l'effet insecticide des huiles essentielles de deux plantes aromatique représentées par *Lavandula stoechas* et *Mentha pulegium* sur le puceron noir de la fève.

Selon les résultats obtenus, les rendements d'extraction des huiles essentielles de *Lavandula stoechas* (0,33 %) et de *Mentha pulegium* (0,32 %) sont globalement en accord avec ceux mentionnés dans la littérature. Par exemple, **Benomari et al., (2018)** ont rapporté un rendement similaire pour *L. stoechas*, compris entre 0,3 % et 0,5 %, tandis que **Brahmi et al., (2016)** ont observé pour *M. pulegium* des rendements allant de 0,2 % à 0,6 %, en fonction des conditions culturales. Ces écarts peuvent s'expliquer par divers facteurs environnementaux, tels que la nature du sol, les conditions climatiques ou encore le stade de développement au moment de la récolte.

Les résultats montrent une différence du pouvoir répulsif entre les deux huiles essentielles étudiées. *Lavandula stoechas* se montre non répulsive à faible concentration (0,1 µl/ml) ce qui suggère une possible attractivité initiale. Toutefois, une augmentation du taux de répulsion est observée, atteignant 40% à une concentration de 2 µl/ml. Ce phénomène pourrait être expliqué par la présence de composés tels que le linalol, dont l'effet varie en fonction de la dose. Attractif à faible concentration, mais répulsif à des doses plus élevées (**Isman, 2020**).

En revanche, *Mentha pulegium* présente une répulsion beaucoup plus marquée, atteignant 80 % à 2 µL/ml, ce qui témoigne de son efficacité supérieure. Cette activité est probablement liée à sa forte teneur en pulégone, un monoterpène bien connu pour ses propriétés répulsives (**Pavela, 2015**).

Ces observations corroborent les travaux de (**Regnault-Roger et al., 2012**), qui soulignent que les huiles riches en monoterpènes (comme le pulégone) présentent une meilleure répulsion contre les pucerons.

Les taux de mortalité corrigés montrent une efficacité dose-dépendante des deux huiles essentielles. Pour *Lavandula stoechas*, la mortalité passe de 29,29 % (0,1 µL/ml) à 45,14 % (2 µL/ml). Cette progression modérée pourrait être liée à une moindre pénétration des composés actifs (comme le camphre) à travers la cuticule des pucerons (**Akhtar et al., 2012**).

A l'inverse de *Mentha pulegium*, cette huile provoque une mortalité nettement supérieure, atteignant 91,39 % à une concentration de 2 µL/ml, ce qui confirme son fort

Chapitre V : Résultats et discussion

potentiel insecticide. Ces résultats concordent avec les travaux de **Benelli *et al.*, (2019)**, qui mettent en évidence l'effet neurotoxique du pulégone.

Les valeurs de DL50 et CL50 renforcent la supériorité de *Mentha pulegium* en termes de toxicité :

- DL50 : 0,12 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ pour *Mentha pulegium* contre 0,28 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ pour *Lavandula stoechas*, indiquant une toxicité aiguë plus marquée.
- CL50 : 0,78 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ pour *Mentha pulegium* contre 1,82 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ *Lavandula stoechas*, confirmant son efficacité en conditions réelles.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de (**Pavela 2016**), qui classe *Mentha pulegium* parmi les huiles les plus toxiques pour les pucerons en raison de sa capacité à bloquer les canaux sodiques, un mécanisme d'action similaire à celui des pyréthrinoïdes.

Bien que *Mentha pulegium* soit plus efficace, son utilisation à grande échelle pourrait être limitée par sa phytotoxicité potentielle (**Khalfi *et al.*, 2008**). Et la variabilité de sa composition chimique pouvant entraîner des effets synergiques ou antagonistes

En revanche, *Lavandula stoechas*, moins toxique mais aussi moins efficace, pourrait être utilisée en combinaison avec d'autres méthodes de lutte intégrée, notamment en association avec d'autres agents de contrôle biologique.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis de comparer l'activité insecticide des huiles essentielles de deux plantes aromatiques, *Lavandula stoechas* L. et *Mentha pulegium* L., à celle d'un insecticide de synthèse (Acétamipride). Ces plantes, riches en composés bioactifs, représentent une source naturelle prometteuse d'agents insecticides.

Les résultats obtenus sont très encourageants : les deux huiles essentielles testées ont montré une activité insecticide notable contre le puceron noir de la fève (*Aphis fabae*). L'efficacité des traitements, tant en termes de répulsion que de toxicité par contact ou inhalation, varie selon la concentration en huile essentielle et la durée d'exposition des insectes.

D'un point de vue répulsif, *L. stoechas* se classe comme modérément répulsive, tandis que *M. pulegium* présente une activité répulsive marquée. Concernant la toxicité, une mortalité de 100 % a été enregistrée après 24 heures d'exposition à l'huile essentielle de *Lavandula stoechas* à une concentration de 0,1 µL/mL. En comparaison, *Mentha pulegium* a atteint le même taux de mortalité en seulement 12 heures, à une concentration de 1 µL/mL.

L'analyse des concentrations létales a mis en évidence une toxicité plus élevée de l'huile essentielle de *Mentha pulegium*, confirmant son potentiel en tant qu'alternative efficace aux insecticides chimiques dans la lutte contre *Aphis fabae*.

Cependant, avant une éventuelle application à grande échelle, des recherches complémentaires sont nécessaires afin d'évaluer :

- la stabilité de l'huile,
- son impact sur les insectes auxiliaires bénéfiques,
- ainsi que sa phytotoxicité potentielle.

Bien que moins puissante, *Lavandula stoechas* pourrait être intégrée dans des stratégies de lutte intégrée, notamment en synergie avec d'autres méthodes de biocontrôle. Pour valider ces résultats, des essais supplémentaires en conditions semi-contrôlées (sous serre), puis en plein champ, sont recommandés. Ces travaux pourraient ouvrir la voie à l'utilisation pratique des huiles essentielles comme alternative durable dans les systèmes intégrés de lutte contre les ravageurs de la fève en Algérie. Leur mise en œuvre sur le terrain serait à la fois économique, écologique et sans danger pour la santé humaine.

En perspective, il serait intéressant :

- D'identifier les plantes insecticides à travers les enquêtes ethnobotaniques,
- D'évaluer l'activité insecticide des plantes étudiées sur d'autres gammes plus larges d'insectes

Conclusion

- D'analyser la composition chimique des extraits de plantes pour mieux comprendre les composés responsables de l'activité observée.

Références

Références

- Akantetou P.K., Nadio N.A., Bokobana M.E., Tozoou P., Kilimou P., Koba K., Poutouli W., Raynaud C., Sanda K. (2020)** : Effet aphicide de l'huile essentielle de *Ocimum basilicum* L. et de son composé majoritaire sur le puceron du cotonnier *Aphis gossypii* Glover (Homoptera : Aphididae) au Togo. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 14(1), 84-96.pp
- Akhtar, Y., et al. (2012)** : Journal of Pest Science, 85(3), 359-366.pp
- Adams, R. P., Pandey, R. N., & Flournoy, L. E. (2004)** : Major factors influencing the chemical variation of essential oils in plants. Biochemical Systematics and Ecology, 32(10), 867-877pp.
- Akhtar, Y., Isman, M. B., & Niehaus, L. (2012)** : Insecticidal and repellent activities of essential oils against the confused flour beetle, *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae). Journal of Pest Scienc, 85(3), 359-366.pp
- Bayer E., Buttler K.P., Finkenzaller X. & Grau J. (2016)** : Guide de la flore méditerranéenne : Caractéristiques, habitat, distribution et particularités de 536 espèces – Librairie Mollat Bordeaux. 288p.
- Bekhechi C., (2008)** : Analyse des huiles essentielles de quelques espèces aromatiques de la région de Tlemcen par CPG, CPG-SM et RMN 13 C et étude de leur pouvoir antibactérien, Thèse Doctorat, Université de Tlemcen, 205 pp.
- Balachowsky A.S et Mesnil L., (1935)** : les insectes nuisibles sur les plantes cultivées, leur mœurs leur destruction .Ed.Busson T1, 1127pp.
- Bonnafous C. (2013)** : Traité scientifique Aromathérapie- Aromatologie&aromachologie (Danglesed.)
- Bouras, M. (2018)** Thèse de Doctorat, Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques. Université Badjimokhtar-annaba. Algérie.
- Besombes, C. (2008)** : Thèse de Doctorat, Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermomécanique d'herbes aromatiques, Applications généralisées. Université de La Rochelle. France.
- Benelli, G., et al. (2019)** : Crops and Products, 130, 398-405pp.
- BOUKHATEM et al. (2019)** : M'méthodes D'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature, Revue Agrobiologia 9,2
- Bruneton J. (1999)** : huiles essentielles, In Pharmacognosie les médicinales. 3ème éd. Doc. et Tec. Lavoisier, 1999.
- Boulter, D. et al. (1990)** : Engineering insect resistance using plant genes.

Références

- Benelli, G., Flamini, G., Fiore, G., Cioni, P. L., & Conti, B. (2015) :** Toxicity of some essential oil formulations against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann)
- Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2000) :** Aphids on the World's Crops, An Identification and Information Guide (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Bruneton, Jean (2009) :** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 4^e éd. Paris : Lavoisier, 2009.
- Ben Farhat, M., et al(2015) :** "Chemical composition and antibacterialactivity of the essential oils from Tunisian *Lavandula stoechas* L." Journal of Food and Drug Analysis, vol. 23, no 4, pp. 752–759.
- Bachiri, H., et al(2020) :** Antioxidantactivity of *Lavandula stoechas* essential oil and its chemical composition." Journal of Essential Oil Research, vol. 32, no 5, pp. 453–459.
- Blackman, R.L., & Eastop, V.F. (2000) :** Aphids on the World's Crops : An Identification and Information Guide. John Wiley & Sons.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008) :** Biologicaleffects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology, 46(2), 446-475.
- Burt, S. (2004) :** Essential oils : their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. International Journal of Food Microbiology, 94(3), 223-253.
- Baudoux, D. (2020) :** L'aromathérapie – Se soigner par les huiles essentielles (Nouvelle édition). Amyris.
- Bilia, A. R., Giomi, M., Innocenti, M., Gallori, S., & Vincieri, F. F. (2011) :** HPLC-DAD and HPLC-ESI-MS analyses of bioactive constituents of *Lavandula stoechas* L. flowers and essential oil. Natural Product Communications, 6(4), 439-445.
- Benelli, G., Pavella, R., Maggi, F., Petrelli, R., & Nicoletti, M. (2019) :** Commentary : Making green pesticides greener? The potential of plant products for nanosynthesis and pest control Industrial Crops and Products, 130, 398-405.
- Boukhatem, M. N., Kameli, A., Saidi, F., & Walid, K. (2014) :** Chemical composition and biologicalactivities of *Lavandula stoechas* L. essential oil from Alegria : Antioxidant, antimicrobial and insecticidal properties. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17(6), 1227-1241.
- Boivin, G., & Brodeur, J. (2006) :** The ecology of insectparasitoids. AnnualReview of Ecology, Evolution, and Systematics, 37, 343-366.
- Beale, M. H. et al. (2006) :** Aphid alarm pheromone production by transgenic plants." PNAS, 103(27), 10509-10513.

Références

- Boutekedjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., &Bessiere, J. M. (2003)** : Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. Flavour and Fragrance Journal, 18(6), 481-484.
- Ben Farhat, M., Jordán, M. J., Chaouech-Hamada, R., Landoulsi, A., &Sotomayor, J. A. (2009)** : Variability of essential oils of *Mentha pulegium* collected in Tunisia : chemical composition and antibacterialactivity. Industrial Crops and Products, 30(3), 395-402.
- Cosentino, S., Tuberoso, C.I., Pisano, B., Satta, M., Mascia, V., Arzedi, E., Palmas, F. (1999)** : in vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian thymus essential oils." Letters in AppliedMicrobiology, 29(2), 130-135.
- Clapham, A.R., Tutin, T.G., & Warburg, E.F. (1987)** : Flora of the British Isles. 3rd Edition. Cambridge UniversityPress
- Christiaens, O. et al. (2020)** : RNA interference in aphids : A promising strategy for pest control ? Pest Management Science, 76(1), 26-34.
- Djenane, D., et al. , (2012)** : Antifungalactivity of *Lavandula stoechas* essential oil against foodspoilageyeasts and molds." Food Control, vol. 26, no 2, pp. 415–420.
- Dedryver, C.A., Le Ralec, A., & Fabre, F. (2010)** : The conflictingrelationshipsbetweenaphids and men : a review of aphid damage and control stratégies." Comptes Rendus Biologies, 333(6-7), 539-553.
- Dong, X. (2004)** :NPR1, all things considered." Current Opinion in Plant Biology, 7(5), 547-552
- El Hassani, F. Z., Harhar, H., Ghanmi, M., Tabyaoui, M., &Bouajila, J. (2015)** : Chemical composition and antioxidantactivity of essential oil of *Mentha pulegium* grown in Morocco. MedicinalChemistry, 5(4), 245-250.
- Fitches, E. et al. (2001)** : insecticidal activity of Snow drop lectin (GNA) delivered via transgenic plants." Insect Biochemistry and Molecular Biology, 31(1), 1-5.
- Friedman, J., Yaniv, Z., Dafni, A., &Palewitch,(2015)** : D A preliminary classification of the healingpotential of medicinal plants, based on a rational analysis of an ethnopharmacological field surveyamong Bedouins in the NegevDesert, Israel. Journal of Ethnopharmacology, vol. 16, no 2-3, pp. 275–287.
- Faria, M. R., & Wraight, S. P. (2007)** : Mycoinsecticides and Mycoacaricides : A Comprehensive List with Worldwide Coverage and International Classification of Formulation Types. Biological Control, 43(3), 237-256.
- Foster, S. P., Denholm, I., & Thompson, R. (2007)** : Variation in response to neonicotinoid insecticides in peach-potato aphids, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae).* Pest Management Science, 63(8), 743-747.
- Grasse P., (1951)** : traité de Zoologie anatomie, systématique biologie, Insectes et Hemiptéroïdes Ed : Masson et Cie T.X. Fascicule II 1984p.

Références

- Grayer, R. J., Eckert, M. R., Veitch, N. C., Kite, G. C. (2003) :** The chemotaxonomic significance of two bioactive caffeic acid esters, Nepetoidins A and B, in the Lamiaceae. *Phytochemistry*, 64, 519-528.
- Guignard, J. L., Pelt, J. M., 2001 :** Botanique Systematique moléculaire. 12e édition. Masson, Paris.
- Ghorbani, A., Rakhshandeh, H., Sadeghnia, H. R. (2011) :** Protective effect of *Mentha pulegium* against oxidative stress-induced cytotoxicity in PC12 cells." *Pharmacognosy Magazine*, 7(27), 254-259.
- Guignard, J.-L. (2004) :** Botanique systématique: Classification des plantes vasculaires (3^a éd.). Masson.
- Hoffman E.T.A., 1974 :** Contes fantastiques complets in-8 broché, vol3. Ed. Flammarion - Coll. L'Age d'Or, 1050p.
- Heywood, Vernon H. (1993) :** Flowering Plants of the World. London : Batsford.
- Harley, R.M., Atkins, S., Budantsev, A.L., Cantino, P.D., Conn, B.J., Grayer, R., & Harley, M.M. (2004) :** Labiatae. In Kubitzki, K. (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants* Vol. VII. Springer.
- Isman, M.B. (2000) :** "Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603-608.
- Inglis, G. D., Goettel, M. S., Butt, T. M., & Strasser, H. (2001) :** Use of Hyphomycetous fungi for managing insect pests. In T. M. Butt, C. Jackson, & N. Magan (Eds.), *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential* (pp. 23-69). CABI Publishing.
- Isman, M. B. (2000) :** Plant essential oils for pest and disease management. , 19(8-10), 603-608.
- Isman, M. B. (2020) : Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? *Pesticide Outlook*, 11(4).
- Isman, M. B. (2006) :** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51(1), 45-66.
- Isman, M. B. (2020) :** *Pesticide Outlook*, 11(4), 154-158.
- Kokkini, S., Karousou, R., Dardioti, A., Krigas, N., Lanaras, T. (1997) :** Essential oils of pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) in Greece." *Biochemical Systematics and Ecology*, 25(6), 507-517.
- Khan, M. S. A., Ahmad, I., & Cameotra, S. S. (2016) :** Composition and antimicrobial activity of essential oil of *Lavandula stoechas* L. *International Journal of Green Pharmacy*, 10(1), 40-45.

Références

- Khoudja, M. L., Ben Jemia, M., Mahmoud, A., & Chaabouni, M. M. (2011).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Mentha pulegium* L. from different geographical origins. *Natural Product Research*, 25(19), 1830-1839.
- Ketho G.K., Glitho I., Koumaglo A. (2004)** : Activité insecticide comparée des huiles essentielles de trois espèces de genre *Cymbopogon genus* (poaceae). *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*. 18, 21-34.
- Laiche, F. Z., & Mecheri, A. (2023)** : Anatomie et biochimie des structures sécrétrices végétales : Mécanismes et applications biotechnologiques. Éditions Universitaires Européennes.
- Mimica-Dukić, N., Kujundžić, S., Soković, M., & Couladis, M. (2003)** : Essential oil composition and antifungal activity of *Mentha* species. *Phytotherapy Research*, 17(4), 368-371.
- Mahmout (1992)** : Contribution à l'étude de quelques aromates et condiments utilisés au Tchad. Thèse de Doctorat : Université des sciences et techniques de Languedoc., Montpellier.
- Mme Bekhechi et Mr Abdelouahid.D(2010)** : Les huiles essentielles Office des publications universitaires.17, 18, 19, 20,21p.
- McDonald L.L, Guy R.H., Speirs R.D., 1970** : Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored-product insects. Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, Washington D.C., Marketing Research , No. 882. à 39.
- Pavela, R. (2016)** : *Industrial Crops and Products*, 76, 174-187.
- Pavela, R. (2015)** : Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. **Industrial Crops and Products*, 76, 174-187.
- Pignatti, S. (1982)** : Flora d'Italia. Edagricole, Bologna.
- Regnault-Roger C, (2005)** : Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. 56. TEC& DOC, Lavoisier, Paris, pp: 19-40; 644-791.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012)** : Essential oils in pest control: An introduction. In *Essential Oils in Pest Control* (pp. 1-15).
- Raynaud, J. (2006)** : Techniques modernes d'extraction et de purification des principes actifs végétaux (pp. 102-105). Éditions Lavoisier.
- Riedman, J., Stein, Z., & Stein, D. (2015)** : Ecological adaptations of Mediterranean plants: Strategies for survival in arid environments.
Journal of Mediterranean Ecology, 14, 23–35.
- Regnault-Roger, C., et al. (2012)** : *Essential Oils in Pest Control*. Wiley.

Références

- Saifi R. & Belhamra M. (2018)** : L'effet insecticide de l'huile essentielle du *thymus pallescens* endémique sur *l'aphis fabae* scopolii (Hemiptera : Aphididae). Courrier du Savoir, 26, 131-136.
- Sokovic, M., Glamoclija, J., Marin, P. D., Brkic, D., & van Griensven, L. J. (2009)** : Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an *in-vitro* model. Molecules, 15(11), 7532-7546.
- Sefidkon, F., Jamzad, Z., & Mirza, M. (2007)** : Chemical variation in the essential oil of *Lavandula stoechas* L. from Iran. Food Chemistry, 100(3), 1048-1052.
- Sadeghi, A. et al. (2008)** : Effects of garlic lectin on survival and fecundity of *Aphis fabae*." Phytoparasitica, 36(2), 131-139.
- Salehi, B. et al. (2018)** : Essential Oils : Antimicrobial, Antioxidant, and Anti-inflammatory Properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(5), 664–679.
- Selles, S.M., Bouhrim, M., El Makhoukhi, B., Kharchoufa, L., Mechchate, H., et al. (2020)**. "Chemical Composition, Antimicrobial and AntioxidantActivities of Essential Oils from *Mentha pulegium* Grown in Morocco." Plants, 9(10), 1316.
- Telphon T (2003)** : Auteur de l'ABC des huiles essentielles. ÉD. Grancher .
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M., & Webb, D.A. (1972)** : Flora Europaea, Vol. 3. Cambridge UniversityPress.
- Upson T. & Andrews S. (2004)** : The genus *Lavandula*. Botanical Magazine Monograph. Royal BotanicGardens, Kew, pp. 456.
- Upson, Timothy & Andrews, Susyn. (2004)** : The Genus *Lavandula*. London : Royal Botanic Gardens, Kew Publishing.
- Upson, T., & Andrews, S. (2004)**. The Genus *Lavandula**. Royal Botanic Gardens, Kew. - Pages : 30-35
- Valnet J. (1984)** : Aromathérapie. Traitement des maladies par les essences des plantes. Maloine S.A. éditeur. Paris p 544, ce point varie de 160°C à 240°C.
- Van Emden, H.F., & Harrington, R. (2007)** : Aphids as CropPests. CABI Publishing.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M., & Center, T. (2008)** : Classical Biological Control of InsectPests of Crops. Springer
- Zenasni Leila. (2014)** : Thèse de doctorat : Etude du polymorphisme chimique des huiles essentielles de *Thymus satureioides*Coss et d'*Origanumcompactum*Benthgu genre *Nepta* et évaluation de leur propriété antibactérienne. Univérisité Mohammed-Agdal, Rebat. Maroc.
- Zoubiri, S., & Baaliouamer, A. (2011)** : Chemical composition and insecticidal properties of essential oils of *Lavandula stoechas* L. from Algeria." Journal of Pest Science, vol. 84, no 1, 2011, pp. 67–73.
- Zhang, J. et al. (2015)** : Host-induced gene silencing of chitin synthase in aphids." Journal of Pest Science, 88(4), 673-680.

Résumé

Résumé

Résumé

Les pucerons, notamment *Aphis fabae* constituent une menace majeure pour les cultures de fèves, provoquant des dégâts directs (suction de sève) et indirects (transmission de virus). Les pesticides chimiques, bien qu'efficaces, présentent des risques environnementaux et sanitaires. Les huiles essentielles (HE) de *Lavandula stoechas* (lavande papillon) et *Mentha pulegium* (menthe pouliot) sont étudiées comme alternatives biopesticides en raison de leurs propriétés répulsives et insecticides.

L'objectif principal de ce travail consiste à évaluer l'effet insecticide de l'huile essentielle de deux plantes aromatiques *Lavandula stoechas* et *Mentha pulegium* sur le ravageur de la fève *Aphis fabae*. Afin de développer des alternatives à la lutte chimique toxique.

Les huiles essentielles des plantes ont été obtenues par hydrodistillation en utilisant un appareil d'extraction de type Clevenger. Pour évaluer leur toxicité sur les insectes cibles, deux types de tests ont été réalisés : un test de répulsion et un test combiné contact/inhalation. Les résultats ont montré que les deux huiles présentent une activité insecticide notable contre les pucerons. L'huile essentielle de *Mentha pulegium* a affiché une toxicité plus élevée, avec une DL_{50} de 0,12 μ L/mL et un effet répulsif marqué, tandis que celle de *Lavandula stoechas* a présenté une DL_{50} de 0,28 μ L/mL, accompagnée d'un effet répulsif modéré.

Mots-clés : Effet insecticide, *Aphis fabae*, huile essentielle, *Lavandula stoechas*, *Mentha pulegium*,

Résumé

English

Aphids, especially the bean aphid, pose a major threat to bean crops, causing both direct (sap-sucking) and indirect (virus-transmission) damage. Although chemical pesticides are effective, they pose environmental and health risks. Essential oils from *Lavandula stoechas* (butterfly lavender) and *Mentha pulegium* (Wild mint) are being studied as alternatives to biopesticides due to their repellent and insecticidal properties.

The main objective of this work was to evaluate the insecticidal effect of the essential oils of two aromatic plants, *Lavandula stoechas* and *Mentha pulegium*, on the bean pest *Aphis fabae*. This study aims to develop alternatives to control toxic chemicals.

The essential oils were obtained from the plants by hydrodistillation using a Clevenger extraction apparatus. To assess their toxicity to target insects, two types of tests were conducted : a repulsion test and a combined contact/inhalation test. The results showed that both oils exhibited significant insecticidal activity against aphids. Peppermint essential oil showed the highest toxicity, with an LD₅₀ of 0.12 µL/ml and a significant repellent effect, while *Lavandula stoechas* oil showed an LD₅₀ of 0.28 µL/ml, accompanied by a moderate repellent effect.

Keywords : Insecticide effect, *Aves fabae*, essential oil, *Lavandula stoechas*, *Mentha polygium*,

المن، وخاصة من الفول، يشكل تهديداً كبيراً لمحاصيل الفول، حيث يتسبب في أضرار مباشرة (امتصاص العصارة) وأخرى غير مباشرة (نقل الفيروسات). وعلى الرغم من فعالية المبيدات الكيميائية، إلا أنها تشكل مخاطر بيئية وصحية. لذا، تدرس الزيوت الأساسية المستخلصة من نبات اللافندر الفراشى (Mentha pulegium) والنعناع البري (Lavandula stoechas) كبدائل مبيدات حيوية، نظراً لخصائصها الطاردة والحضرية.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم التأثير الحشرى للزيوت الأساسية لنبتتين عطريتين، وهما اللافندر الفراشى والنعناع البري، على آفة الفول *Aphis fabae*. و تهدف هذه الدراسة إلى تطوير بدائل للتحكم في استخدام المواد الكيميائية السامة.

تم الحصول على الزيوت الأساسية من النباتات عن طريق التقطر المائي باستخدام جهاز استخلاص كليفاجر. ولتقييم سميتها على الحشرات المستهدفة، تم إجراء نوعين من الاختبارات: اختبار للطرد، و اختبار مشترك لللاماسة/الاستنشاق. وقد أظهرت النتائج أن كلا الزيتين أبداً نشاطاً حشرياً كبيراً ضد حشرة المن. حيث أظهر زيت النعناع البري أعلى نسبة سمية، بقيمة LD_{50} تقدر بـ 0.12 ميكرولتر/مل، وتأثير طارد ملحوظ، في حين أن زيت اللافندر الفراشى أظهر قيمة LD_{50} بلغت 0.28 ميكرولتر/مل، مصحوباً بتأثير طارد متوسط.

الكلمات المفتاحية: التأثير الحشرى، من الفول (*Aphis fabae*) الزيت الأساسى، اللافندر الفراشى، النعناع البري.