

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques

Spécialité : Biodiversité et Physiologie Végétale

Thème

Etude de l'activité biologique de trois huiles essentielles : la menthe verte (*Mentha spicata*), le thym (*Thymus vulgaris*) et la cannelle (*Cinnamomum cassia*) à l'égard d'un ravageur des denrées stockées *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae)

Réalisé par : Mlle Sadoun Yasmine

Mlle Nait Abderrahmane Amel

Devant le jury composé de :

Présidente : Mlle Laoudi T.

MCB à l'UMMTO

Promotrice : Mlle Aissaoui F.

MCB à l'UMMTO

Examinatrice : Mlle Kheloul L.

MCB à l'UMMTO

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Avant toute chose, nous remercions le bon DIEU tout puissant de nous avoir donné la foi, la santé, et nous a permis de bien mener ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à :

Mlle Aissaoui F. MCB à L'U.M.M.T.O, pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire. Sa rigueur scientifique, sa patience et son soutien constant ont été d'une aide inestimable à chaque étape de notre travail.

Mlle Laoudi T. MCB à L'U.M.M.T.O, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'évaluer notre travail. Sa bienveillance, son sens critique et ses remarques constructives ont largement contribué à la qualité de cette soutenance.

Mlle Kheloul L. MCB à L'U.M.M.T.O, pour l'attention qu'elle a portée à notre travail, ainsi que pour ses remarques pertinentes et ses orientations précieuses, qui ont contribué à l'enrichissement et à la rigueur de notre analyse.

Que tous les enseignants ayant attribué à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Dédicace

À mes chers parents,

*Vous qui avez fait de vos sacrifices des ailes pour mes rêves,
Vous qui avez transformé vos peines en espoir pour mon avenir,
Vous qui m'avez portée, soutenue, aimée sans condition.*

*Que ce travail soit un modeste hommage à tout ce que vous avez
fait pour moi. Que ces pages soient le reflet de ma gratitude
infinie et la preuve que votre seule fille a tenté, de tout son cœur,
d'être à la hauteur de votre amour.*

À moi-même,

*Parce qu'au milieu des épreuves, des doutes et des nuits sans
sommeil, je ne me suis pas abandonnée.*

*Parce que malgré les obstacles, j'ai trouvé en moi la force de
persévérer, de croire et d'avancer.*

*Ce travail est le fruit de ma résilience, de mon courage et de ma
détermination.*

*Que cette réussite me rappelle toujours que je suis capable d'aller
au bout de mes rêves, même quand le chemin semble impossible.*

Yasmine

Dédicace

Je dédie ma réussite à ceux qui m'ont accompagné avec amour et tendresse, à ceux qui ont semé l'espoir et l'optimisme en moi pour atteindre ce succès, à mes parents qui sont mon fondement, ma vie et mon modèle à suivre.

Et à tous ceux qui ont été à mes côtés tout au long de mon parcours, vous êtes la pierre angulaire de ma joie et de mon soutien.

AMEL

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	01
-------------------	----

Partie I Synthèse bibliographique

Chapitre I L'insecte étudié (*Tribolium confusum*)

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés	03
2. Présentation de <i>T. confusum</i>	03
2.1. Position systématique	03
2.2. Origine et répartition	04
2.3. Le cycle de développement	04
2.4. La biologie de l'insecte étudié	06
2.5. Régime alimentaire	07
2.6. Dégâts causés par le <i>T. confusum</i>	07
2.7. Les ennemies naturelles de <i>T. confusum</i>	08
2.8. Moyens de lutte.....	08

Chapitre II Les huiles essentielles

1. Généralités sur les huiles essentielles	11
1.1. Définition	11
1.2. Propriétés physiques et chimiques des huiles essentielles	11
1.3. Localisation et rendement des H.E	12
1.4. Procédés d'extraction des huiles essentielles	13
2. Présentation des plantes étudiées	16
2.1. La cannelle de chine (<i>Cinnamomum cassia</i>).....	16
2.1.1. Historique.....	16
2.1.2. Description botanique	17
2.1.3. Position systématique	17
2.1.4. Origine et répartition géographique	18
2.1.5. Composition chimique	18
2.1.6. L'usage.....	18
2.2. La menthe verte (<i>Mentha spicata</i>)	19

2.2.1. Historique.....	19
2.2.2. Description botanique	19
2.2.3. Position systématique.....	20
2.2.4. Origine et répartition	20
2.2.5. Composition chimique	21
2.2.6. L'usage.....	21
2.3. Le thym (<i>Thymus vulgaris</i>)	22
2.3.1. Historique.....	22
2.3.2. Description botanique	23
2.3.3. Position Systématique	24
2.3.4. Origine et répartition	24
2.3.5. Composition chimique	24
2.3.6. Usages de <i>Thymus vulgaris</i>	25

Partie II

Matériel et méthodes

1. Matériel.....	26
1.1. Matériel de laboratoire	26
1.2. Matériel biologique	27
1.2.1. Substrat utilisé.....	27
1.2.2. Matériel animal	27
1.2.3. Matériel végétal	28
2. Méthodes	29
2.1. Elevage de masse de <i>T. confusum</i>	29
2.2. Extraction des huiles essentielles.....	30
2.2.1. Technique d'hydro distillation	30
2.2.2. Caractéristiques organoleptiques	31
2.3. Tests bio insecticides.....	32
2.3.1. Test d'inhalation	32
3.2. Test de répulsivité	33
4. Analyse statistique.....	35

Partie III

Résultats et discussions

1. Résultats.....	36
1.1. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles étudiées	36
1.2. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de <i>T. confusum</i> par inhalation	37
1.2.1. L'effet de l'huile essentielle de la cannelle (<i>C. cassia</i>) sur les adultes de <i>T. confusum</i>	37
1.2.2. Effet de l'huile essentielle de la menthe (<i>M. spicata</i>) verte sur les adultes de <i>T. confusum</i>	38
1.2.3. Effet de l'huile essentielle de thym (<i>T. vulgaris</i>) à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i>	39
1.3. Résultats des tests par répulsion de trois huiles essentielles testées <i>C. cassia</i> , <i>M. spicata</i> et <i>T. vulgaris</i> sur les adultes de <i>T. confusum</i>	41
2. Discussion.....	42
2.1. Traitement par inhalation.....	42
2.2. Traitement par répulsivité.....	47
Conclusion	51
Références bibliographiques	53
Résumé	

Liste des figures

Figure 01 : La larve de <i>T. confusum</i> (G×40) (Originale, 2025)	04
Figure 02 : Nymphes de <i>T. confusum</i> ; A et B (G×40) (Originale, 2025)	05
Figure 03 : Adultes de <i>T. confusum</i> ; C et D (G×40) (Originale, 2025)	06
Figure 04 : Les dégâts causés par le <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).....	07
Figure 05 : La poudre de cannelle de chine (Originale, 2025)	17
Figure 06 : La menthe verte (<i>Mentha spicata</i>) (Originale, 2025)	20
Figure 07 : Le thym (<i>Thymus vulgaris</i>) (Originale, 2025)	2.
Figure 08 : Semoule fine et saine (Originale, 2025)	27
Figure 09 : Adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025)	28
Figure 10 : Poudre de la cannelle de chine (<i>Cinnamomum cassia</i>) (Originale, 2025)	28
Figure 11 : Feuilles de la menthe verte (<i>Mentha spicata</i>) (Originale, 2025)	29
Figure 12 : Feuilles du thym (<i>Thymus vulgaris</i>) (Originale, 2025).....	29
Figure 13 : Elevage de masse de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025)	30
Figure 14 : Hydro distillateur de type Clevenger (Originale, 2025).....	31
Figure 15 : Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025)	33
Figure 16 : Témoin (Originale, 2025)	33
Figure 17 : Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025)	34
Figure 18 : Taux de mortalité des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de la cannelle de chine.	37
Figure 19 : Taux de mortalité des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de la menthe verte	38
Figure 20 : Taux de mortalité des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de thym.....	39

Liste des tableaux

Tableau 01 : Pourcentage de répulsivité selon le classement de Mc Donald et al. (1970)	35
Tableau 02 : Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles étudiées <i>Mentha spicata</i> , <i>Thymus vulgaris</i> et <i>Cinnamomum cassia</i> (cannelle)	36
Tableau 03 : Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité de trois huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i>	40
Tableau 4 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentiels testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i>	40
Tableau 5 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps d'exposition sur les adultes de <i>T. confusum</i>	41
Tableau 6 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'interaction du facteur temps et huile essentielle sur les adultes de <i>T. confusum</i>	41
Tableau 07 : Taux moyen de répulsion des huiles essentielles de la cannelle, de la menthe verte et de thym et leurs classements selon Mc. Donald et al (1970).....	42



Introduction

Introduction

Dans les pays en développement, notamment au Maghreb, l'alimentation repose en grande partie sur les céréales et leurs dérivés. En Algérie, la filière céréalière représente l'un des piliers de la production agricole. Environ 80 % de la surface agricole utile du pays est consacrée à la culture des céréales (Djermoun, 2009). Ces dernières assurent plus de 61 % des apports caloriques, et peuvent couvrir jusqu'à 80 % des besoins protéiques de la population algérienne (Feillet, 2000).

Cependant, les semences et les denrées stockées, souvent conservées dans des conditions inappropriées, sont vulnérables aux attaques de moisissures, d'insectes et de rongeurs (Kouahou, 1989). Les insectes ravageurs des produits entreposés causent divers types de dégâts : non seulement ils consomment une quantité significative des denrées, mais ils les contaminent également par des excréments, des exuvies larvaires, des odeurs, des fils de soie ou encore des cadavres, ce qui peut provoquer des réactions allergiques chez les consommateurs (Stejskal et *al.*, 2003).

Les dégâts causés par ces insectes ne se limitent pas aux lieux de stockage ; ils peuvent également survenir lors du transport et de l'expédition des grains. À l'échelle mondiale, on estime que 11 à 26% des récoltes sont perdues à cause des insectes et autres ravageurs, tandis que 8% de la production céréalière mondiale serait affectée par ces infestations (Panzai et *al.*, 2019).

Le *T. confusum* (Jacqueline Duval, 1868) (Coleoptera : Tenebrionidae) est l'un des ravageurs les plus communs et les plus destructeurs des stocks, notamment en raison de sa capacité à s'adapter à différents environnements et à résister aux pesticides chimiques (Rees, 2004).

À ce jour, l'utilisation d'insecticides chimiques demeure la méthode la plus couramment employée pour lutter contre les insectes nuisibles, en raison de leur efficacité et de leur facilité d'application. Toutefois, leur usage intensif et non contrôlé entraîne une contamination de la chaîne alimentaire. Par ailleurs, la large diffusion de ces pesticides favorise le développement de résistances chez les insectes ciblés, engendrant ainsi des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement aussi (Leonard, 2004).

Face à ce problème, il devient essentiel de développer des méthodes de lutte respectueuses de l'environnement, capables de remplacer les produits chimiques à haute toxicité.

Introduction

Dans ce contexte, la valorisation des ressources naturelles s'impose comme une alternative durable. Le règne végétal constitue un vaste réservoir de composés bioactifs, notamment les huiles essentielles, issus des métabolites secondaires. Ces substances offrent des solutions prometteuses en tant que bio pesticides. De nombreuses études ont d'ailleurs confirmé leur efficacité contre une large gamme d'insectes ravageurs des denrées alimentaires (Kellouche, 2005).

Des études antérieures ont largement exploré l'effet insecticide des huiles essentielles de diverses plantes. Dans la continuité de ces travaux, notre étude évalue l'activité insecticide de trois huiles essentielles spécifiques (menthe, thym et cannelle) sur un ravageur commun des denrées stockées, le *T. confusum*. Nous avons analysé l'efficacité de ces substances naturelles via des tests d'inhalation et de répulsivité. Cette étude a pour principal objectif d'identifier des méthodes de lutte alternatives contre les insectes nuisibles aux récoltes céréalières entreposées.

Notre recherche est organisée en trois sections principales :

La première partie, établit les bases de notre étude en fournissant des informations bibliographiques détaillées sur le *T. confusum*, les huiles essentielles en général, ainsi que les plantes aromatiques spécifiques que nous avons explorées.

La deuxième partie, est dédiée à la méthodologie. Elle décrit précisément le matériel et les méthodes employés pour mener à bien nos expérimentations.

Enfin, la troisième partie, présente une analyse approfondie des résultats obtenus, accompagnée de leur discussion.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale, synthétisant les principaux apports de cette étude.



PARTIE I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

**L'insecte ravageur des denrées
stockées (*Tribolium confusum*)**

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés

Les Ténébrionidés forment une vaste famille de coléoptères caractérisée par une grande diversité de formes et de tailles, allant de 2 mm à 80 mm. Leur apparence extérieure est généralement robuste, avec des téguments épais et rigides, arborant le plus souvent une couleur noire, soit mate, soit brillante. La morphologie des yeux varie selon les sous-familles, mais ils sont en général de grande taille, de forme ovale ou ronde. Les antennes sont composées de 11 segments dans la majorité des cas, bien que certaines espèces puissent en avoir seulement 10. Ces insectes peuvent être aptères (sans ailes) ou bien munis d'ailes, dont la nervation est typique du type primitif. Leurs pattes, quant à elles, peuvent être allongées ou au contraire raccourcies et repliées, et sont souvent adaptées à un mode de vie fouisseur, facilitant leur déplacement dans des milieux denses et confinés (Balachowsky, 1962).

Parmi les espèces notables de cette famille *Tribolium confusum*, un coléoptère granivore de petite taille, mesurant environ 4 mm à l'état adulte. Reconnaissable à sa couleur brune rougeâtre, il appartient aux ravageurs primaires, c'est-à-dire qu'il est capable d'infecter directement les grains, même lorsqu'ils sont encore intacts. Cette espèce est largement répandue à travers le monde et s'attaque principalement aux denrées alimentaires entreposées. Elle est couramment rencontrée dans des lieux de stockage tels que les silos, entrepôts, boulangeries, épiceries et même dans les maisons (Benlameur, 2016).

2. Présentation de *T. confusum*

2.1. Position systématique

Selon (Lepesme, 1944), la classification de cette espèce est comme suit :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous Embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Ordre : Coleoptera

Sous Ordre : Polyphaga

Famille : Tenebrionidae

Genre : *Tribolium*

Espèce : *Tribolium confusum*

2.2. Origine et répartition

Le *T. Confusum* est originaire des zones tropicales d'Afrique (Lepesme, 1944). Aujourd'hui il a conquis de nombreuses régions du globe. Sa présence est attestée en Europe, en Amérique du Nord, en Asie, en Afrique ainsi qu'en Australie (Delobel et Tran, 1993 ; Benlameur, 2016). Cette espèce est fréquemment observée dans des pays comme la France, l'Italie, les États-Unis, l'Inde ou encore le Japon. Son succès planétaire est principalement lié à son adaptabilité écologique et à son association étroite avec les produits alimentaires entreposés.

2.3. Le cycle de développement

Le développement post-embryonnaire de *T. confusum* se divise en quatre stades morphologiquement distincts :

2.3.1. L'œuf

Présentant une forme oblongue et une teinte blanchâtre presque transparente, l'œuf est doté d'une surface lisse sur laquelle se dépose une substance visqueuse qui assure son adhésion à l'aliment infesté. Ses dimensions moyennes sont de 0,6 mm sur 0,3 mm (Lepesme, 1944).

2.3.2. La larve

À sa naissance, la larve ne mesure qu'environ 1,4 mm recouverte d'un tégument souple, ponctué de taches jaunes sur le dos et hérissé de soies, elle grandit jusqu'à atteindre 6 à 7 mm. Son extrémité postérieure porte deux urogomphes de teinte rousse (figure 01). Son développement est marqué par un nombre variable de mues entre 4 et 11, selon les conditions environnementales telles que la température ou la qualité de l'alimentation (Stefan, 1978). De couleur blanche à brun-jaune, elle est très mobile et passe par 7 ou 8 stades avant d'atteindre sa forme adulte (Delobel & Tran, 1993).



Figure 01 : La larve de *T. confusum* (G×40) (Originale, 2025).

2.3.3. La nymphe

Elle est blanche et nue, son abdomen est composé de plusieurs segments qui sont implantés latéralement en lames rectangulaires à bords crénelés. Ce sont des structures rigides qui aident la nymphe à se maintenir en place et à se protéger des prédateurs (figure 02). Cette dernière ne peut pas se déplacer et n'a pas de protection contre les prédateurs, elle est complètement dépendante de son environnement pour sa survie (Balachowsky, 1936).



Vue dorsale (A)



Vue ventrale (B)

Figure 02 : Nymphes de *T. confusum* ; A et B (G×40) (Originale, 2025).

2.3.4. L'adulte

L'adulte de *T. confusum* est un petit insecte brun-rougeâtre, parfois noir à cause de mutations (Delobel et Tran, 1993). Il mesure entre 3 et 4 mm de longueur, son corps est aplati et ovale. La tête et la partie avant le thorax sont couvertes de petits points. Ces élytres sont longs, parallèles et arrondis à leur extrémité. Ces antennes sont composées de plusieurs éléments dont les trois derniers sont plus larges (figure 03). Ces pattes sont courtes et recourbées et ces tarsi postérieurs sont composés de quatre éléments (Balachowsky, 1939).



Vue dorsale (C)



Vue ventrale (D)

Figure 03 : Adultes de *T. confusum* ; C et D (G×40) (Originale, 2025).

2.4. La biologie de l'insecte étudié

L'accouplement des imagos survient approximativement 48 heures après leur émergence et persiste durant 3 à 15 minutes. La femelle, au cours de son cycle reproductif, pond entre 500 et 1000 œufs qu'elle dépose sur les substrats alimentaires. Ces œufs, de forme oblongue, blanchâtres et presque transparents, mesurent en moyenne 0,6 mm × 0,3 mm et sont pourvus d'une surface lisse recouverte d'un enduit mucilagineux facilitant leur adhésion aux denrées infestées (Lepesme, 1944).

L'éclosion donne naissance à une larve néonate blanche mesurant jusqu'à 1,4 mm. Cette dernière subit entre 5 et 12 stades larvaires, en fonction des paramètres abiotiques (température, humidité relative) et biotiques (qualité nutritionnelle du substrat). La larve de stade terminal est cylindrique, de couleur jaune pâle, longue d'environ 7 mm pour un diamètre de 0,8 mm, et se distingue par la présence de deux paires d'urogomphes à son extrémité postérieure (Moussi, 2017).

La nymphe est blanche, glabre, immobile, et présente des expansions latérales abdominales rectangulaires à bords crénelés (Balachowsky, 1936).

L'imago, initialement blanc jaunâtre, subit une sclérotinisation et une pigmentation progressive sur une période de 2 à 3 jours post-émergence, prenant une teinte brun rougeâtre. Il atteint une taille de 3 à 4 mm. Ses élytres sont allongés, parallèles, arrondis à l'arrière, et présentent des stries régulières de ponctuation séparées par des côtes fines (Lepesme, 1944).

2.5. Régime alimentaire

Selon (Lepesme, 1944), les larves et les adultes de *T. confusum* se nourrissent d'un large éventail de produits stockés, ils sont incapables de perforer les grains non moulus. Ils se nourrissent également de produits de mouture, de pois, haricots, noix, épices, chocolat et spécimens de musées comme les plantes et les insectes. Sa petite taille et ses pièces buccales de broyeur lui permettent de s'infiltrer dans les contenants et les emballages fermés.

2.6. Dégâts causés par le *T. confusum*

Le *T. confusum* est un insecte très peu difficile en matière d'alimentation : il peut consommer de nombreux produits. Il s'attaque principalement aux grains déjà abîmés ou cassés, et prolifère dans la farine, les impuretés et les poussières. Ce coléoptère nuit aux denrées non seulement en les mangeant, mais surtout en les salissant avec ses excréments, ses mues, ses liquides corporels, ainsi que par la présence de cadavres (figure 04). Les produits infestés dégagent une mauvaise odeur, ce qui les rend peu appétent pour le bétail et inacceptables pour la vente. De plus, la présence de *Tribolium* encourage souvent la formation de moisissures, aggravant encore la détérioration des grains (Anonyme, 2001).



Figure 04 : Les dégâts de *T. confusum* (Originale, 2025)

2.7. Les ennemies naturelles de *T. confusum*

D'après (Lepesme, 1955), plusieurs arthropodes exercent une action antagoniste envers les *Triboliums*, contribuant ainsi à limiter leur prolifération. Parmi eux, on retrouve divers acariens tels que *Pediculidae ventricosus*, *Acarophenax tribolii*, *Blattisocius keeganii* et *Blattisocius tarsalis*, ce dernier étant reconnu pour sa prédation ciblée des œufs. Par ailleurs, des hyménoptères parasitoïdes de la famille des Bethyridae, notamment *Holepyris sylvanians* (synonyme : *Rhabdepyris zea*), parasitent les larves, ajoutant une pression biologique supplémentaire.

2.8. Moyen de lutte

2.8.1. Lutte curative

La méthode préventive comprend une hygiène stricte des équipements de transport et des machines de récolte, un nettoyage méticuleux des zones de stockage, ainsi qu'un contrôle des fissures pouvant servir d'abri aux insectes. De plus, il est impératif de sécher correctement les grains avant le stockage. Ces précautions sont essentielles pour prévenir toute forme d'infestation (Ducom, 1982 in Semsar, 2013).

2.8.2. Lutte chimique

La lutte chimique est actuellement la méthode la plus couramment utilisée pour contrôler les insectes nuisibles des céréales stockées, en raison de son efficacité et de sa facilité d'application (Magan et Olsen, 2004). Deux principales approches sont généralement adoptées :

- Traitement par contact

Ce procédé consiste à appliquer un insecticide directement sur les grains, les emballages, ainsi que les surfaces des locaux de stockage. L'insecticide agit par contact, tuant les insectes lorsqu'ils entrent en contact avec la surface traitée. L'effet peut être plus ou moins rapide, mais l'action est durable. Les produits utilisés se présentent souvent sous forme de poudres ou de solutions diluées (Cruz et Troude, 1988).

- Traitement par fumigation

Cette technique repose sur l'utilisation d'un gaz toxique, appelé fumigant, pour traiter les céréales. Son principal avantage réside dans sa capacité à pénétrer au cœur du grain, permettant ainsi de détruire les œufs, les larves et les nymphes cachés à l'intérieur (Cruz et Troude, 1988). Toutefois, l'usage intensif de ces insecticides chimiques présente plusieurs

inconvenients : risques environnementaux (Fianko et *al.*, 2011), développement de résistances chez certains ravageurs (Schuster et Smeda, 2007), et effets nocifs sur la santé humaine par la présence de résidus dans la chaîne alimentaire, pouvant entraîner des intoxications (Pretty et Hine, 2005).

2.8.3. Lutte physique

La lutte physique regroupe l'ensemble des techniques mécaniques ou thermiques permettant d'assainir les céréales stockées, principalement par l'usage du froid ou de la chaleur (Arrab, 2016).

- Lutte par le froid et irradiation

Ces méthodes consistent à abaisser la température de stockage. En dessous de 10°C, le développement des insectes est considérablement ralenti, voire stoppé (Gueye et *al.*, 2011).

- Insolation

Pratiquée généralement avant le stockage, l'insolation consiste à exposer les récoltes au soleil. Cette méthode permet de parfaire le séchage des grains et d'éloigner les insectes grâce à la chaleur et aux rayons directs du soleil (Lale et Vidal, 2003).

- Lutte par la chaleur

Elle consiste à élever la température des grains au-delà de 50°C, ce qui entraîne la mort des insectes. Le passage des céréales dans un séchoir thermique est une méthode efficace pour éliminer les ravageurs présents (Gueye et *al.*, 2011).

2.8.4. Lutte biologique

La lutte biologique s'inscrit dans une démarche de développement durable et de préservation des écosystèmes. Elle vise à contrôler les populations d'insectes ravageurs en faisant appel à leurs ennemis naturels : prédateurs, parasites, agents pathogènes, ainsi qu'à des substances naturelles telles que les poudres minérales, les huiles végétales ou les huiles essentielles (Kellouche, 2005).

L'utilisation de phéromones attractives ou répulsives permet également une détection et un contrôle précis des infestations (Aomar et *al.*, 2011). Aujourd'hui, la lutte biologique est de plus en plus privilégiée dans les programmes de recherche, en raison de ses avantages économiques et environnementaux, favorisant le maintien d'un équilibre écologique (Amari, 2014).

2.8.5. Lutte biotechnologique

Pour mieux contrôler les insectes nuisibles, on utilise aujourd'hui des phéromones artificielles, des substances qui imitent les signaux chimiques naturels des insectes (Aomar et al., 2011). Ces produits peuvent attirer ou repousser les insectes, ou encore perturber leur comportement. Certains sont si efficaces qu'ils empêchent les jeunes insectes de devenir adultes capables de se reproduire (Semsar, 2013).

De nouvelles méthodes de lutte se développent (Ryckewaert, 2002), cherchant à protéger les cultures sans nuire à l'environnement ni à la santé humaine. Ces approches, regroupées sous le nom de "lutte intégrée", combinent plusieurs techniques : produits chimiques utilisés avec précaution, lutte biologique, outils biotechnologiques et bonnes pratiques agricoles.

2.8.6. La phytothérapie

La phytothérapie représente une stratégie efficace et écologique dans la lutte contre les insectes infestant les denrées stockées. Elle repose sur l'utilisation de composés bioactifs d'origine végétale, appelés bio-insecticides, qui constituent une alternative aux insecticides chimiques souvent nocifs pour la santé et l'environnement. Ces substances naturelles, extraites des parties actives des plantes, peuvent être utilisées sous différentes formes :

Extraits aqueux ou organiques : obtenus à partir de macérations et décoctions, poudres de plantes ; issues du broyage de feuilles, graines ou racines, huiles végétales ; qui forment une barrière physique contre les insectes, huiles essentielles ; riches en composés volatils à fort pouvoir insecticide ou répulsif (Vincent et Coderre, 1998 *in* Semsar, 2013).

Chapitre II
Les huiles essentielles

1. Généralités sur les huiles essentielles

1.1. Définition

Les huiles essentielles sont des substances odorantes et volatiles extraites de végétaux, par diverses méthodes. Elles sont produites par de nombreuses plantes en tant que composés issus de leur métabolisme secondaire, et se présentent sous forme de mélanges liquides complexes. Les propriétés et les multiples usages de ces huiles, ont donné naissance à l'aromathérapie, une branche spécialisée de la phytothérapie. Tout au long de l'histoire, les huiles essentielles ont joué un rôle important dans la vie humaine, servant de parfums, d'aromatisants culinaires et de remèdes (El Haib, 2011).

1.2. Propriétés physiques et chimiques des huiles essentielles

1.2.1. Propriétés physiques

Contrairement aux huiles « fixes », les huiles essentielles sont des liquides volatils à température ambiante. Elles sont rarement colorées et, étant généralement moins denses que l'eau, elles ne se mélangent que très peu, liposolubles, elles sont en revanche solubles dans les solvants organiques usuels (Bruneton, 2009).

1.2.2. Composition chimique

Les huiles essentielles sont principalement composées de deux grandes familles de substances odorantes, qui varient selon la voie métabolique impliquée dans leur formation. On distingue ainsi, d'une part, les terpènes (mono terpènes et sesquiterpènes), majoritaires dans la plupart des essences, et d'autre part, les composés aromatiques issus de la voie du phénylpropane (Kurkin, 2003)

1.2.2.1. Les monoterpènes

Les monoterpènes sont les plus simples constituants des terpènes dont la majorité est rencontrée dans les huiles essentielles (90%) (Padua et *al.*, 1999). Ils comportent deux unités isoprène (C₅H₈), selon le mode de couplage « tête-queue ». Ils peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques. A ces terpènes se rattachent un certain nombre de produits naturels à fonctions chimiques spéciales (El Haib, 2011).

1.2.2.2. Les sesquiterpènes

Ils ont une variabilité structurale de même nature que les monoterpènes. L'allongement de la chaîne avant cyclisation lors de leur synthèse augmente le nombre de cyclisations possibles, d'où la très grande variété de structures connues (Cohen, 2013).

1.2.2.3. Les composés aromatiques

Une autre classe de composés volatils fréquemment rencontrés est celle des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (Kurkin, 2003). Cette classe comporte des composés odorants bien connus comme la vanilline, l'eugénol, l'anéthole, l'estragole et bien d'autres. Ils sont davantage fréquents dans les huiles essentielles d'Apiaceae (persil, anis, fenouil, etc.) et sont caractéristiques de celles du clou de girofle, de la vanille, de la cannelle, du basilic et de l'estragon (Bruneton, 1993).

1.2.2.4. Composés d'origines diverses

Ces produits résultent de la transformation de molécules non volatiles, par dégradation des acides gras ou des terpènes. Ils sont présents dans les huiles essentielles lorsqu'ils sont entraînés dans la vapeur d'eau (Cohen, 2013).

1.3. Localisation et rendement des H.E

Les huiles essentielles sont des substances naturelles produites par les plantes et localisées dans certaines de leurs structures. Elles peuvent être extraites de différentes parties végétales telles que les fleurs (comme la rose), les sommités fleuries (lavande), les feuilles (citronnelle), l'écorce (cannelier), les racines (iris), les fruits (vanillier), les bulbes (ail), les rhizomes (gingembre) ou encore les graines (muscade). Pour certaines plantes, telles que la lavande ou la sauge, c'est l'ensemble de la plante qui est utilisé pour l'extraction des huiles essentielles (Serrato-Valenti et al., 1997 ; Parthasarathy et al., 2008).

Seules les parties de la plante les plus concentrées ou dotées de structures sécrétrices sont récoltées, et ce, au moment où leur teneur en huile essentielle est optimale. Cette période varie selon l'espèce : avant la floraison pour les menthes, pendant la floraison pour les lavandes, après la floraison pour les plantes à graines, ou encore après la rosée du matin pour les fleurs fragiles (Maffei et al., 1989; Sallé, 1991).

Les plantes ne produisent que de très faibles quantités d'huiles essentielles, ce qui se traduit par des rendements d'extraction souvent inférieurs à 2 %. L'un des rendements les plus

bas est celui de l'iris, pour lequel il faut environ 4 kg de poudre pour obtenir seulement 1 g d'absolue, justifiant ainsi le coût particulièrement élevé de cette huile (Shiva et *al.*, 2002).

1.4. Procédés d'extraction des huiles essentielles

L'extraction d'une huile essentielle (HE) constitue une opération à la fois complexe et délicate. Son objectif est de capter et de préserver les composés les plus volatils, subtils et fragiles produits par la plante, sans en altérer la qualité. Pour saisir la difficulté de l'entreprise, il suffit de penser à la fugacité du parfum d'une fleur, même très odorante, qui s'évanouit rapidement après que ses pétales ont été froissés. En effet, dès que la cuticule cireuse des poches épidermiques est rompue, l'essence se libère et ses molécules odorantes se dispersent aussitôt dans l'air ambiant (Lahlou, 2004 ; Richter et Schellenberg, 2007).

De ce fait, plusieurs méthodes d'extraction ont été mises au point pour la distillation des molécules terpéniques des plantes à parfum :

1.4.1. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

Il s'agit de l'une des méthodes officielles d'extraction des huiles essentielles (HE). Dans ce procédé, le matériel végétal est exposé directement à un courant de vapeur, sans étape préalable de macération. Les vapeurs, enrichies en composés volatils, sont ensuite condensées et envoyées dans un essencier, où elles se séparent en deux phases : une phase aqueuse (HA) et une phase organique (HE). L'absence de contact direct entre l'eau et la plante, ainsi qu'entre l'eau et les molécules aromatiques, permet d'éviter certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation, ce qui préserve la qualité de l'huile obtenue. Par ailleurs, l'huile extraite présente un parfum plus subtil, et la distillation, plus régulière et rapide, permet une meilleure récupération des notes de tête, notamment riches en esters (Raaman, 2006).

Les « fractions de tête », constituées de molécules très volatiles et légères, sont libérées en premier. Dans la plupart des cas, 95 % des composés volatils peuvent être récupérés en seulement 30 minutes, ce qui est généralement suffisant pour les usages en parfumerie ou en industrie, comme c'est le cas pour la lavande. En revanche, pour l'aromathérapie, il est nécessaire de prolonger la distillation afin de capter l'ensemble des composants aromatiques volatils (Masango, 2005 ; Kaloustian., Hadji-Minaglou., 2012 ; Gavahian., Chu., 2018).

1.4.2. Hydro distillation

Cette méthode, considérée comme la plus simple, est également l'une des plus anciennes utilisées. L'hydro distillation repose sur le principe d'une distillation hétérogène, impliquant l'application conjointe de deux lois physiques fondamentales : la loi de Dalton et la loi de Raoult (Pavida et *al.*, 1976).

Le procédé d'hydro distillation consiste à immerger la matière végétale dans un ballon (Lors d'une extraction au laboratoire) ou dans un alambic industriel rempli d'eau, placé sur une source de chaleur. Le mélange est ensuite porté à ébullition. La chaleur provoque l'éclatement des cellules végétales, libérant ainsi les composés aromatiques qu'elles renferment. Ces substances volatiles s'associent à la vapeur d'eau pour former un mélange azéotropique. Les vapeurs générées sont ensuite dirigées vers un réfrigérant, où elles se condensent. Les huiles essentielles se séparent alors naturellement de l'eau en raison de leur différence de densité. En laboratoire, l'appareil le plus couramment utilisé pour ce type d'extraction est le dispositif de Clevenger, souvent muni d'une cohobe. Les eaux aromatiques recueillies sont généralement recyclées dans le système d'hydro distillation afin de maintenir le rapport plante/eau à son niveau initial. La durée d'une hydro distillation peut varier de manière significative, allant parfois jusqu'à plusieurs heures, en fonction du type de matériel employé et de la nature de la plante utilisée. Ce paramètre influe non seulement sur le rendement de l'extraction, mais aussi sur la composition chimique de l'extrait obtenu (El Haib, 2011).

1.4.3. Expression à froid

L'extraction par expression à froid est sans doute la méthode la plus simple, mais elle présente également des limites. Elle est principalement utilisée pour extraire les composés volatils présents dans les péricarpes des agrumes (hespéridés), très estimés par l'industrie de la parfumerie et des cosmétiques. Toutefois, les extraits obtenus sont particulièrement fragiles en raison de leur richesse en terpènes. Cette technique repose sur un procédé mécanique consistant à briser les péricarpes, qui contiennent des cellules sécrétrices. L'essence libérée est ensuite recueillie à l'aide d'un courant d'eau, ce qui permet d'obtenir un produit semblable à celui obtenu par entraînement à la vapeur, d'où l'appellation d'huile essentielle (Anton., Lobstein., 2005).

1.4.4. Extraction par solvant organique

Actuellement, les solvants les plus couramment utilisés sont l'hexane, le cyclohexane et l'éthanol ; d'autres comme le dichlorométhane et l'acétone sont employés plus rarement. Le choix du solvant doit répondre à plusieurs critères : en plus d'être autorisé, il doit être stable face à la chaleur, à la lumière et à l'oxygène. Une température d'ébullition relativement basse est également souhaitable afin de faciliter son évaporation en fin de processus. De plus, il ne doit pas interagir chimiquement avec les extraits. L'extraction s'effectue généralement à l'aide d'un appareil de Soxhlet. Les solvants organiques présentent un pouvoir d'extraction supérieur à celui de l'eau, si bien que les extraits obtenus ne contiennent pas seulement des composés volatils, mais aussi de nombreuses substances non volatiles telles que des cires, des pigments, des acides gras, et bien d'autres encore (Hubert, 1992).

En fonction de la technique et du solvant utilisé, on obtient des hydrolysats (eau comme solvant), des alcoolats (éthanol dilué), des teintures (éthanol / eau), des résinoïdes (extraits éthanoliques concentrés) et des concrètes (extraits à froid et à chaud au moyen de solvants divers) (Hernandez Ochoa, 2005).

La méthode d'extraction dite « classique » par solvant consiste à introduire un solvant volatil et la matière végétale dans un extracteur. Par des lavages successifs, le solvant s'enrichit en composés aromatiques, puis il est transféré dans un concentrateur où il est distillé à pression atmosphérique.

Bien que cette technique permette d'obtenir des rendements généralement supérieurs à ceux de la distillation et qu'elle évite l'hydrolyse provoquée par la vapeur d'eau, son utilisation reste limitée en raison de son coût élevé, des risques liés à la sécurité et à la toxicité des solvants, ainsi que des contraintes réglementaires en matière de protection de l'environnement. (Lucchesi, 2005).

1.4.5. Extraction par fluide à l'état supercritique

La technique d'extraction par fluide supercritique (SFE) se distingue par l'emploi de solvants portés à l'état supercritique, c'est-à-dire à des conditions de température et de pression où ils n'appartiennent ni à l'état liquide ni à l'état gazeux, mais présentent des caractéristiques intermédiaires. Cet état confère aux solvants des propriétés physico-chimiques particulières, notamment un pouvoir de solvation élevé. Bien que plusieurs solvants puissent être utilisés, le dioxyde de carbone (CO₂) est employé dans environ 90 % des cas, essentiellement pour des

raisons pratiques. En effet, ses conditions critiques relativement basses (pression et température) facilitent son obtention. De plus, le CO₂ est relativement non toxique, disponible à haute pureté, peu coûteux, et peut être éliminé aisément du produit final (Leszczynska, 2007).

La SFE est considérée comme une méthode d'extraction écologique, car elle limite l'usage de solvants organiques et se distingue par sa rapidité d'exécution par rapport aux techniques traditionnelles. Cependant, les huiles essentielles obtenues par cette voie peuvent présenter des variations dans leur composition chimique, sur les plans qualitatif et quantitatif, comparativement à celles issues de l'hydrodistillation (Peterson et *al.*, 2006 ; Gomes et *al.*, 2007; Pereira., Meireles., 2010).

1.4.6. Extraction assistée par micro-ondes

Cette méthode d'extraction, mise au point au cours des dernières décennies à des fins analytiques, repose sur l'irradiation par micro-ondes d'une matière végétale préalablement broyée, en présence d'un solvant. Selon la polarité des composés à extraire, on utilise soit un solvant absorbant fortement les micro-ondes, comme le méthanol, pour les composés polaires, soit un solvant non absorbant des micro-ondes, tel que l'hexane, pour les composés apolaires. Le mélange est ensuite chauffé par intervalles, sans jamais atteindre l'ébullition, grâce à des cycles courts de refroidissement.

Le principal avantage de cette technique réside dans la réduction significative de la durée de distillation tout en assurant un bon rendement d'extrait (El Haib, 2011).

2. Présentation des plantes étudiées

2.1. La cannelle de chine (*Cinnamomum cassia*)

2.1.1. Historique

La cannelle est une épice dont l'utilisation remonte à plusieurs millénaires en Inde et en Chine. Dans l'Égypte ancienne, elle servait à l'embaumement et à la fumigation. Les Romains, pour leur part, l'employaient principalement comme remède et aphrodisiaque, avant de l'introduire plus tard dans leur cuisine. En Europe, entre le XVI^e et le XVIII^e siècle, des rivalités politiques ont contribué à en faire l'une des épices les plus précieuses et les plus coûteuses. Aujourd'hui, la cannelle demeure un ingrédient essentiel dans la gastronomie de nombreuses cultures. Le nom de Cannelle, vient du latin « canna » qui signifie roseau, tuyau, en référence à la forme des bâtonnets que l'on utilise dans le commerce (Schlatter, 2017).

2.1.2. Description botanique

Le cannelier de chine, également connu sous le nom de « Casse », porte le nom scientifique *Cinnamomum cassia* Blume. Il s'agit d'un arbre à feuillage persistant, dont les feuilles ovales mesurent entre 5 et 9 cm de long. Son fruit est de la taille d'une petite olive. L'arbre atteint sa maturité vers 10 à 12 ans, mais continue néanmoins à croître et à produire de nouvelles pousses. Les bâtonnets issus du *Cinnamomum cassia* se distinguent aisément de ceux du *Cinnamomum zeylanicum* : ils sont plus fins, de couleur plus sombre et d'aspect plus terne (figure 05) (Reculeau-Arnoud, 2013).



Figure 05 : La poudre de cannelle de chine (Originale, 2025)

2.1.3. Position systématique

Selon (Paul, 2001), *Cinnamomum cassia* est classée comme :

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous classe : Magnoliidae

Ordre : Laurales ou magoliales

Famille : Lauracées

Genre : *Cinnamomum*

Espèce : *Cinnamomum cassia*

2.1.4. Origine et répartition géographique

La cannelle de Chine (*Cinnamomum cassia*) est principalement produite dans les zones basses et humides situées en Asie du Sud et du Sud-Est. Sa culture se fait généralement à une altitude supérieure à 500 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette espèce exige des conditions climatiques spécifiques, avec une température moyenne comprise entre 15 et 27 °C et une pluviométrie annuelle moyenne variant de 2000 à 2400 mm (Radhakrishnan et *al.*, 1992).

2.1.5. Composition chimique

L'arôme caractéristique de la cannelle provient de son huile essentielle, dont le principal composant est le cinnamaldéhyde (ou aldéhyde cinnamique), représentant jusqu'à 75 % de sa composition. D'autres composés aromatiques importants incluent l'eugénol, reconnu pour ses propriétés antibactériennes et antifongiques, ainsi que la coumarine. La concentration en coumarine varie considérablement selon les espèces de canneliers, les plus fortes teneurs étant observées chez les variétés bon marché et largement répandues, telles que *Cinnamomum cassia*. L'huile essentielle de cannelle contient également de l'acide cinnamique, des phénols, des tannins ainsi que divers mono- et sesquiterpènes (Costello et *al.*, 2016).

2.1.6. L'usage

L'écorce de cannelle et son huile essentielle possèdent des propriétés antibactériennes et antifongiques, en plus de stimuler la motilité intestinale. Cette commission recommande l'usage de la cannelle pour traiter divers troubles digestifs, notamment la perte d'appétit, les troubles dyspeptiques légers, les spasmes digestifs, les ballonnements et la sensation de lourdeur après les repas. Par ailleurs, la cannelle est l'un des aliments les plus riches en antioxydants. Grâce à cette richesse, elle pourrait jouer un rôle préventif contre certaines maladies chroniques telles que le cancer, les pathologies cardiovasculaires, le diabète ou encore la polyarthrite rhumatoïde. Elle pourrait également ralentir le vieillissement cutané, responsable de la formation des rides et de la perte d'élasticité de la peau (Hariri et Ghiasvand, 2016).

L'éventuel effet anti cancérigène de la cannelle fait actuellement l'objet de recherches. Une étude menée récemment sur des souris a montré que le cinnamaldéhyde, l'un de ses composants actifs, est capable d'inhiber la croissance des cellules cancéreuses en réduisant l'expression du VEGF, un mécanisme comparable à celui de certains médicaments anticancéreux (Zhang et *al.*, 2016).

2.2. La menthe verte (*Mentha spicata*)

2.2.1. Historique

La menthe est une plante complexe en raison de ses nombreuses hybridations naturelles, ce qui rend difficile l'identification de ses espèces et la liaison avec les variétés anciennes.

Historiquement, la menthe était utilisée dans l'Égypte ancienne pour embaumer les défunts et atténuer les odeurs lors des rituels funéraires. Dans la mythologie grecque, la menthe est associée à la légende de la nymphe *Mentha*, transformée en plante aromatique par Hadès (Bourgeois, 2009).

Les penseurs de la Grèce antique, tels qu'Aristote et Hippocrate, estimaient que la menthe avait des effets indésirables sur le courage et stimule les pulsions amoureuses (Sommerard, 2012). Des auteurs médicaux comme Dioscoride et Pline l'Ancien la jugeaient néfaste pour la reproduction (Staub et Bayer, 2013). Au IXe siècle, Charlemagne recommanda la culture de trois types de menthes dans le Capitulaire de Villis (Teuscher et *al.*, 2005).

Au Moyen Âge, la menthe était utilisée pour traiter les infections respiratoires et les troubles digestifs. Le terme "menthe" apparut dans la langue française en 1275 et son usage médicinal perdura jusqu'au XVIe siècle. Aujourd'hui, la menthe verte est une plante aromatique largement répandue dans les cuisines du monde entier, notamment en Inde, au Moyen-Orient et en France (Fournier, 2010).

2.2.2. Description botanique

La menthe verte est une plante vivace qui peut atteindre 1 mètre de hauteur. Elle a des tiges carrées et robustes qui sont glabres ou presque glabres. La plante se multiplie grâce à des stolons, ce qui peut la rendre envahissante. Elle a une odeur très aromatique, parfois un peu moisi (Marie et François, 2003). Les feuilles de la menthe verte sont vertes, ovales et pointues, avec des bords dentelés. Elles sont sessiles ou presque sessiles, ce qui signifie qu'elles sont attachées directement à la tige. Les feuilles ont des glandes qui sécrètent une huile essentielle qui donne une odeur mentholée et fraîche (Jean-Marc et Bruno, 2014). Les fleurs sont rosées ou blanches et sont disposées en longs épis terminaux. Elles ont un calice en tube avec 5 dents linéaires et une corolle avec quatre lobes presque égaux. Les étamines sont divergentes et saillantes, et les carpelles sont ovoïdes fleurit d'août à octobre et produit des fruits appelés tétramères qui restent longtemps au fond du calice persistant (figure 06), (Marie et François, 2003)



Figure 06 : La menthe verte (*Mentha spicata*) (Originale, 2025)

2.2.3. Position systématique

D'après Quezel et Santa (1963), la menthe est classée comme suit :

Règne : Plantae

Embranchement : Embryophytes

Classe : Angiospermes

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiacées

Genre : *Mentha*

Espèce : *Mentha spicata*

2.2.4. Origine et répartition

La menthe verte (*Mentha spicata*) est une plante vivace originaire des régions tempérées de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique du Nord (Tutin, 1964). Cette plante a été introduite en Amérique du Nord par les colons européens, comme le signale (Fernald, 1950), et a trouvé un environnement propice à sa croissance. La menthe verte affectionne les sols humides et les zones ombragées (Huxley, 1992). Elle est souvent cultivée pour ses feuilles aromatiques, qui sont utilisées dans la cuisine, la médecine traditionnelle et l'industrie cosmétique (Bown, 1995). En outre, la menthe verte est également utilisée comme remède naturel pour traiter les troubles

digestifs, les céphalées et les problèmes respiratoires. Avec ses propriétés thérapeutiques et culinaires, la menthe verte est devenue une plante très appréciée et cultivée dans de nombreux pays du monde (Grieve, 1931).

2.2.5. Composition chimique

L'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) est principalement riche en composés chimiques variés, notamment en carvone (40-70%), qui est le principal composé actif responsable de son odeur et de son goût caractéristique (Adli et al., 2022), représente généralement une teneur de 67,6% (Lawrence, 2007). Elle contient également du limonène avec une teneur variant entre 10 et 28%. D'autres composés présents dans la menthe verte incluent le 1,8-cinéole, le germacrène D, la menthone et le β -caryophyllène. Ces composés contribuent aux propriétés médicinales et aromatiques de la menthe verte (Adli et al., 2022).

2.2.6. L'usage

La menthe possède de nombreuses propriétés médicinales reconnues, agissant sur divers systèmes de l'organisme :

- Troubles du système digestif

La menthe est particulièrement bénéfique pour la digestion. Elle stimule la production des sucs digestifs et de la bile, tout en relaxant les muscles intestinaux. Grâce à son action antispasmodique sur le côlon, elle permet de soulager efficacement les troubles digestifs tels que les nausées, les ballonnements, la diarrhée ou encore la constipation (Youcef, 1990).

- Effet analgésique et anti-inflammatoire

Elle est utilisée pour calmer les céphalées et les démangeaisons cutanées. Elle contribue aussi à apaiser les inflammations des voies respiratoires et de la cavité buccale. La menthe permet également de réduire les symptômes du rhume et de la toux, ainsi que les douleurs d'origine rhumatismale, musculaire ou nerveuse (Hammami et Abdesselem, 2005).

- Action contre les infections

L'huile essentielle de menthe, une fois diluée, peut être employée en inhalation ou en application locale pour soulager les infections respiratoires telles que les bronchites. De plus, l'ensemble de la plante est reconnu pour son efficacité dans le traitement des troubles gastro-intestinaux (Iserin, 2001).

- Effets musculaires et neurologiques

Elle exerce une action décontractante, relaxante et antispasmodique sur les muscles lisses de l'intestin, notamment grâce au blocage des canaux calciques (Alam et *al.*, 2013), et probablement via un mécanisme parasympholytique (Moutinho, 2013).

Son extrait aqueux possède également des propriétés antalgiques et anesthésiantes, tant au niveau du système nerveux central que périphérique (Youcef, 2012).

2.3. Le thym (*Thymus vulgaris*)

2.3.1. Historique

Le thym est une plante aromatique aux multiples vertus, utilisée en thérapeutique depuis des millénaires (Mouhi, 2017). Les Égyptiens l'ont utilisé pour embaumer les corps dans la haute antiquité. Théophraste a mentionné les espèces sauvages serpolet et vulgaire au 4ème siècle avant J.-C. Aetius a utilisé la poudre de thym pour traiter les douleurs rénales et vésicales, et Chamberland a démontré son action bactéricide en 1887 (Benbouali, 2006).

Le genre *Thymus* appartient à la famille des Lamiacées, qui compte environ 240 genres et 7200 espèces (Abdelli, 2017). Cette famille est l'une des principales productrices d'huiles essentielles et est largement utilisée comme herbes aromatiques (Boulade, 2018). Le genre *Thymus* regroupe environ 110 espèces différentes, principalement dans le Bassin méditerranéen (Jalas, 1971).

Thymus vulgaris L. est l'espèce la plus connue, possédant des qualités aromatiques et médicinales notables. Elle est connue sous le nom de "zaatar" en Algérie (Binate et Dikes, 2018). Le nom "*Thymus*" provient du grec "thymos", signifiant "parfum", en raison de son odeur agréable (Zeghib, 2013).

La détermination des espèces de *Thymus* est délicate en raison de leur variabilité et des hybridations interspécifiques (Quezel et Santa, 1963). Selon (Stahl-Biskup et Saez, 2002), le genre *Thymus* est l'un des huit genres les plus importants de la famille des Lamiacées.

2.3.2. Description botanique

Le thym commun (*Thymus vulgaris* L.) est un sous-arbrisseau aux multiples vertus, peut atteindre 10 à 40 cm de hauteur, caractérisé par des tiges rougeâtres et pubescentes, avec des feuilles petites, linéaires à ovales-lancéolées, de couleur gris verdâtre (figure 07). Les fleurs sont petites, violettes à blanches, et apparaissent de la fin du printemps au début de l'été, dégageant une odeur parfumée et aromatique (Morales, 2010).

Le thym préfère des climats tempérés à chauds et ensoleillés, avec des sols calcaires rugueux et bien drainés (Kuete, 2017). Il peut être multiplié par graines, boutures ou division de sections racinées, et nécessite une fertilisation modérée pour favoriser la croissance de nouvelles pousses (Baranau Kiene et *al.*, 2003).

La culture du thym s'est répandue pour l'obtention de feuilles séchées, d'extraits de thym et d'huiles essentielles, utilisées pour leurs propriétés aromatiques et médicinales (Stahl-Biskup et Venskutonis, 2012).



Figure 07 : Le Thym (*Thymus vulgaris*) (Originale, 2025).

2.3.3. Position Systématique

D'après Quezel et Santa (1963), le Thym est classé comme suit :

Règne : Planta

Sous règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiaceae

Genre : *Thymus*

Espèce : *Thymus vulgaris* L.

2.3.4. Origine et répartition

Le thym est originaire de la région méditerranéenne, où il pousse de façon spontanée depuis des milliers d'années, comme le mentionne (Grieve, 1931). Il est répandu dans toute la région, de l'Espagne à la Grèce et à la Turquie, et pousse également en Afrique du Nord, notamment au Maroc et en Algérie, selon (Quezel et Santa, 1963). Le thym est adapté aux climats chauds et secs, ce qui explique sa répartition dans la région méditerranéenne (Durox, 1982). Aujourd'hui, le thym est cultivé dans de nombreux pays, notamment en France, en Italie et en Espagne, pour ses propriétés médicinales et culinaires (Vázquez-Fresno, 2019).

2.3.5. Composition chimique

L'analyse de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* a permis d'identifier 99 % de ses constituants. Le thymol y est majoritaire avec une teneur de 41,4 %, suivi du γ -terpinène (22,25 %) et du p-cymène (15,59 %). La fraction monoterpénique domine largement, représentant 97,35 % de la composition totale, répartie en 46,5 % d'hydrocarbures et 50,85 % de composés oxygénés. En revanche, les hydrocarbures sesquiterpéniques ne sont présents qu'en faible quantité, à hauteur de 1,7 % (El-Akhal, 2015).

2.3.6. Usages de *Thymus vulgaris*

Des recherches antérieures ont mis en évidence les effets thérapeutiques du thym et de ses huiles essentielles, en particulier du thymol et du carvacrol, dans le traitement de diverses affections. Ces bienfaits sont liés à leurs multiples propriétés pharmacologiques, telles que des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antinéoplasiques. Le thym est également reconnu depuis longtemps pour ses actions antivirale, antibactérienne, antifongique et antiseptique, ainsi que pour sa capacité notable à perturber les biofilms microbiens. À l'époque de la pandémie de COVID-19, certains composants du thym ont été examinés pour leur aptitude à interagir avec les structures virales. Ainsi, le thym se distingue par ses nombreuses applications potentielles dans les domaines de la nutrition, de la médecine et d'autres secteurs, ce qui en fait un sujet d'intérêt croissant en tant que nutraceutique (Hammoudi Halat et *al.*, 2022).



Partie II

Matériel et méthodes

La partie expérimentale de cette étude a été menée au sein du laboratoire de Production et de Sauvegarde des Espèces Menacées et des Récoltes, axé sur l'Influence des Variations Climatiques, relevant de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Notre travail consiste à réaliser l'extraction de trois huiles essentielles de la menthe, le thym et la cannelle et d'évaluer leurs activités insecticides sur les adultes d'un insecte ravageur des denrées stockées *T. confusum*.

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Le matériel suivant a été utilisé pour la mise en œuvre de notre étude expérimentale :

- Nous avons utilisé une étuve programmée pour reproduire les conditions idéales de croissance de *T. confusum*, à savoir une température de 30 ± 1 °C et une humidité relative de 70 ± 5 %.
- Réfrigérateur., loupe binoculaire., bêcher., papier filtre., eau distillée., acide Acétone
- Des bocaux en verre pour les élevages de masse des insectes.
- Une balance électronique à affichage digital a été utilisée pour le pesage de la semoule.
- Appareil d'hydro distillation de type Clevenger, utilisé pour l'extraction des huiles essentielles de la cannelle, la menthe et le thym.
- Des flacons en plexiglas de 64 ml pour les tests d'inhalation.
- Des micropipettes réglables de doses variables.
- Des boîtes de Pétri en plastique, d'un diamètre de 8,5 cm et d'une hauteur de 1,5 cm, ont été utilisées pour la réalisation des tests de répulsivité.
- Un tamis pour la récupération des *Triboliums* dans les élevages de masse.

-D'autres outils de manipulation ont été également utilisés (pinceaux, scotch, aiguille, fil fin, ciseaux, étiquettes, papier aluminium).

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Substrat utilisé

La semoule fine, servant de substrat pour l'ensemble des tests réalisés, est issue de la production locale. Elle a été soigneusement conservée dans des conditions permettant d'éviter toute contamination tout au long de la phase expérimentale (figure 08).



Figure 08 : Semoule fine et saine (Originale, 2025).

1.2.2. Matériel animal

Les insectes de *T. confusum* utilisés dans ce travail proviennent d'un élevage de masse sur semoule, réalisé à partir d'une souche provenant du laboratoire d'entomologie appliquée de notre faculté (figure 09).



Figure 09 : Adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

1.2.3. Matériel végétal

Les matières végétales utilisées pour l'extraction des huiles essentielles sont présentées aux figures (10, 11 et 12). La menthe et le thym ont été récoltés durant les mois de mars et avril dans la région de Tizi Ouzou. Après récolte, les feuilles ont été séchées à l'abri de la lumière et de la chaleur pendant une semaine. Quant à la poudre de cannelle, elle a été obtenue à partir du marché local de la région de Tizi Ouzou.



Figure 10 : Poudre de la cannelle de chine (*Cinnamomum cassia*) (Originale, 2025).



Figure 11 : Feuilles de la menthe verte (*Mentha spicata*) (Originale, 2025).



Figure 12 : Feuilles du thym (*Thymus vulgaris*) (Originale, 2025).

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse de *T. confusum*

Les élevages de *T. confusum* sont effectués dans des bocaux en verre de 6 à 10 cm de hauteur et 5 cm de diamètre. Ces bocaux sont à moitié remplis de semoule, puis des insectes adultes, mâles et femelles, y sont ajoutés. Ils sont ensuite placés dans une étuve à 30 ± 1 °C avec une humidité relative de 70 ± 5 %, ce qui permet de favoriser leur croissance et leur reproduction. Après une période de 40 jours, les premiers individus émergent et sont récupérés à l'aide d'un tamis, puis transférés dans une nouvelle semoule propre. Un nettoyage hebdomadaire des élevages est également effectué (figure 13).



Figure 13 : Elevage de masse de *T. confusum* (Originale, 2025).

2.2. Extraction des huiles essentielles

2.2.1. Technique d'hydro distillation

Une masse de 100 grammes de la poudre de la cannelle de chine et de chacune des plantes (menthe et thym) a été introduite dans un ballon de 2000 ml du dispositif Clevenger (figure 14), contenant 1000 ml d'eau distillée. Le mélange a été chauffé jusqu'à ébullition pendant deux heures. Les vapeurs, enrichies en huile essentielle, passent par le réfrigérant où elles se condensent avant de s'écouler en gouttelettes dans l'ampoule de décantation. Cela forme un mélange d'eau et d'huile essentielle. Cette dernière est ensuite collectée avec précaution, puis transférée dans des tubes eppendorfs enveloppés du papier aluminium pour la protéger contre la lumière et prévenir toute dégradation de ses constituants chimiques. Enfin, les tubes sont conservés au réfrigérateur à une température de 4 à 5°C (figure 14).

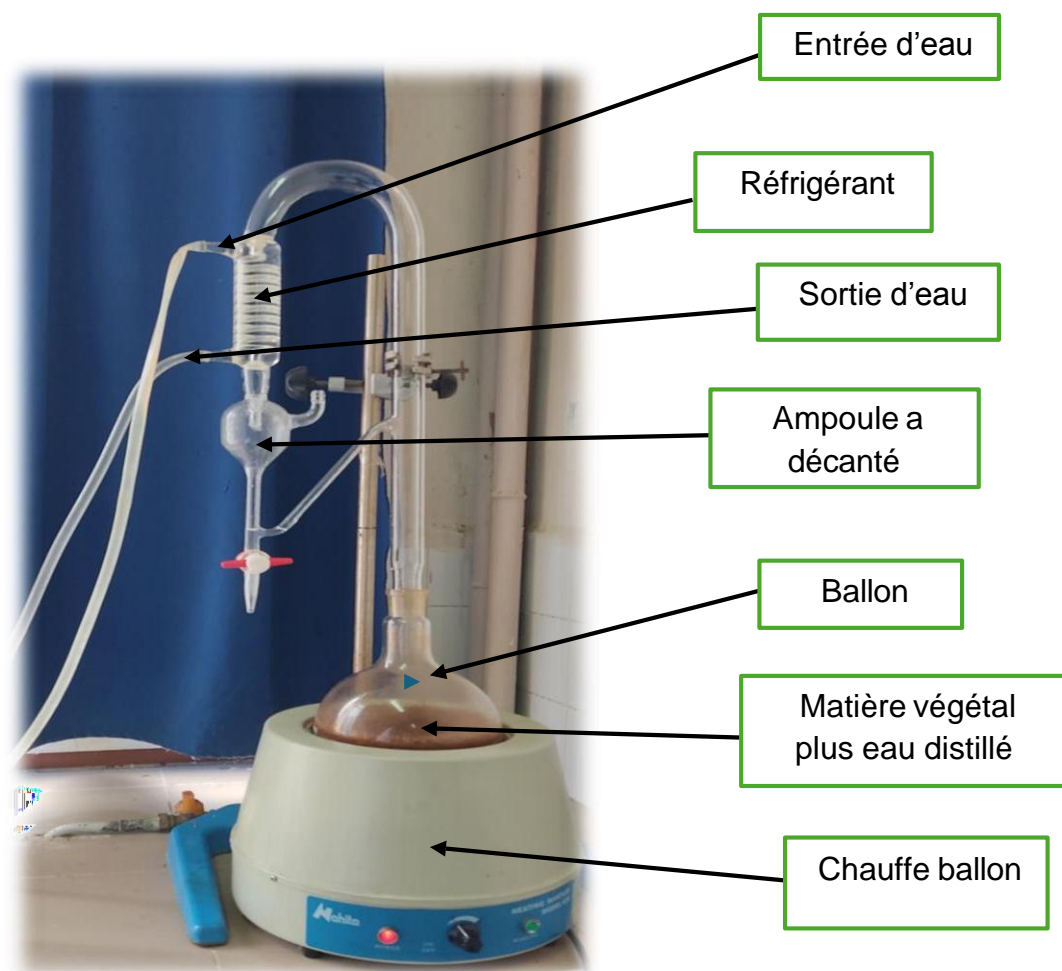


Figure 14 : Hydro distillateur de type Clevenger (Originale, 2025).

2.2.2. Caractéristiques organoleptiques

Les huiles essentielles ont des propriétés sensorielles uniques (apparence, odeur, goût, couleur) qui les rendent précieuses pour diverses applications, ces paramètres permettent d'évaluer la qualité de l'huile essentielle et ces extraits. Leur couleur change selon la plante d'origine, pouvant être claire, jaune, verte. Généralement les huiles essentielles extraites par la méthode d'hydro distillation ont un aspect liquide, certaines peuvent être plus épaisses ou même solides à température ambiante. Leur volatilité permet la diffusion rapide de leur parfum dans l'air. Les huiles essentielles extraites par hydro distillation conservent les composés aromatiques volatils des plantes fraîches. Ces arômes, souvent proches de ceux des herbes aromatiques, témoignent de la qualité de l'extraction et de la fraîcheur de la matière végétale utilisée.

2.3. Tests bio insecticides

Des tests d'inhalation et de répulsivité ont permis d'évaluer l'activité bio-insecticide de ces substances naturelles.

2.3.1. Test d'inhalation

L'objectif de ce test est d'évaluer l'impact par fumigation de trois huiles essentielles sur la longévité des adultes de *T. confusum*. Pour cela, un protocole expérimental précis a été mis en œuvre :

Des flacons en plexiglas de 64 ml ont été utilisés pour y placer 3 g de semoule fine exempte de contamination, accompagnés de 20 adultes de *T. confusum*. Des bouts de papier filtre (papier Whatman n°2) de 2 cm de diamètre pliés sont attachés à l'aide d'un fil fin fixé sur la face interne du couvercle de chacun des flacons stériles. Quatre doses d'huiles essentielles (cannelle, menthe et thym) ont été testées : 100µl, 120µl, 140µl et 160µl, en utilisant une micropipette pour les déposer sur les papiers Whatman n°2 préalablement placés dans des bouchons. Pour chacune de ces doses, les effets ont été évalués à différentes durées d'exposition : 24h, 48h, 72h et 96h. Afin d'assurer la fiabilité des résultats, trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose et de temps d'exposition (figure 15).

Un témoin (sans traitement, contenant également 20 adultes) a été réalisé pour chacune des huiles essentielles, en respectant les mêmes durées d'exposition que celles des flacons traités. Les boîtes sont hermétiquement fermées et conservées dans une étuve à une température de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de 70%. Le suivi de la mortalité des insectes est effectué aux intervalles suivants : 24h, 48h, 72h et 96h après l'application du traitement (figure 16).

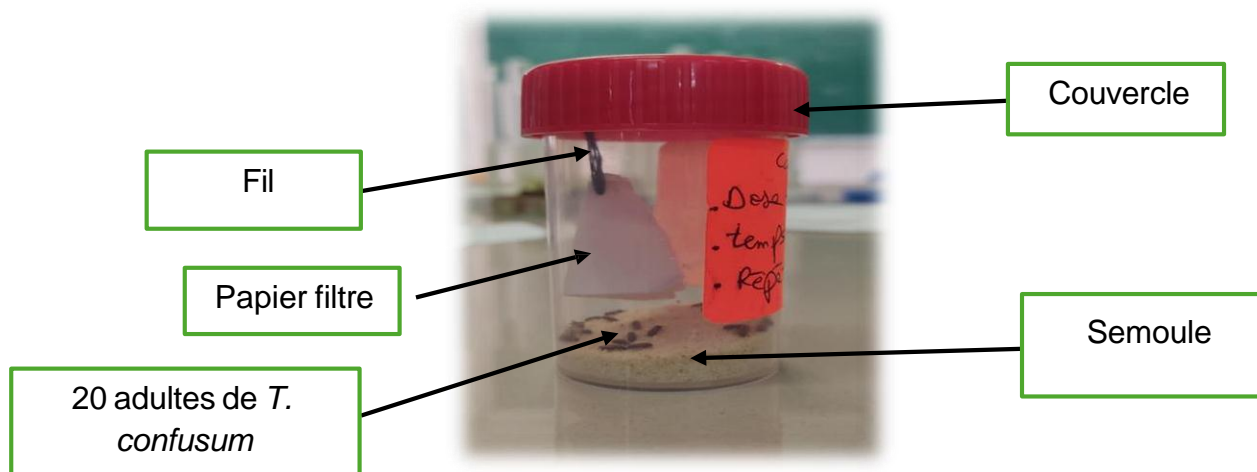


Figure 15 : Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

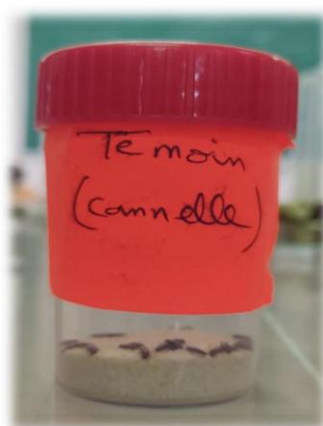


Figure 16 : Témoin (Originale, 2025).

2.3.2. Test de répulsivité

Ce test a pour but d'évaluer l'effet répulsif de trois huiles essentielles à l'égard des adultes de *T. confusum*, en déterminant leur pourcentage de répulsion à l'aide de la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre, des disques de 9 cm de diamètre ont été divisés en deux parties identiques (traitée et non traitée). La partie traitée est imprégnée du répulsif à tester, constitué d'huiles essentielles de cannelle, de menthe et de thym, diluées dans 500 μ l d'acétone, puis appliquées à différentes doses (100 μ l, 120 μ l, 140 μ l et 160 μ l), tandis que la partie non traitée contient seulement d'acétone.

Les deux parties sont exposées à l'air libre, une fois les solvants complètement évaporés, elles sont placées dans les boîtes de Pétri et collées par une bande adhésive (scotch).

Vingt adultes de *T. confusum* sont disposés au centre de la boîte de Pétri, qui est ensuite fermée immédiatement. Pour chaque dose d'huile essentielle, nous avons effectuée 3 répétitions. Après 30 minutes, le nombre de ravageurs présents sur chacune des deux zones du papier filtre est comptabilisé (figure 17).

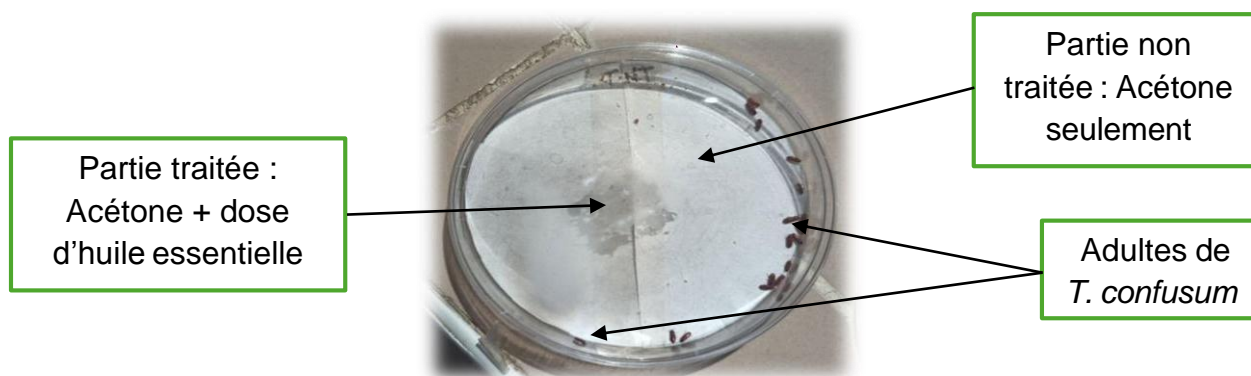


Figure 17 : Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

Le pourcentage de répulsion (PR) induit par les huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum* est calculé selon la formule de **MC Donald et al (1970)** :

$$\text{PR (\%)} = \frac{[\text{NT} - \text{TR}]}{[\text{NT} + \text{TR}]} \times 100$$

NT : Nombre d'individus présents dans la partie non traitée avec l'acétone uniquement.

TR : Nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'acétone et l'huile essentielle.

PR : Pourcentage de répulsion.

Tableau 01 : Pourcentage de répulsivité selon le classement de Mc Donald et al, (1970).

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	$PR \leq 0,1\%$	Très faiblement répulsive
Classe I	$0,1 \% < PR$	Faiblement répulsive
Classe II	$20\% < PR \leq 40 \%$	Modérément répulsive
Classe III	$40 \% < PR \leq 60 \%$	Moyennement répulsive
Classe IV	$60\% < PR \leq 80 \%$	Répulsive
Classe V	$80 \% < PR \leq 100 \%$	Très répulsive

3. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été analysés par une ANOVA à trois facteurs de classification, Afin d'évaluer l'influence de la dose et de la durée d'exposition des huiles essentielles de Cannelle, menthe et thym sur le taux de mortalité de *T. confusum*. L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel Statbox version 6,4. Pour les variables présentant une différence significative, le test de Newman et Keuls a été appliqué au seuil de 5 %, afin de regrouper les moyennes en classes homogènes.

Selon la valeur de probabilité (p), nous avons :

$P > 0,05$: différence non significative

$0,01 < P \leq 0,05$: différence significative

$0,001 < P \leq 0,01$: différence hautement significative

$P \leq 0,001$: différence très hautement significative



Partie III

Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Propriétés organoleptiques des huiles essentielles étudiées

Le tableau ci-dessous expose les caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles obtenues par extraction.

Selon les résultats obtenus, les huiles essentielles extraites par la méthode d'hydro distillation sont de nature liquide et fluide. L'huile essentielle de menthe a une odeur très forte, agréable et rafraîchissante, avec des notes aromatiques qui rappellent le menthol. L'huile de thym est dotée d'un parfum unique, à la fois Vivifiant, aromatique et très agréable. En revanche, L'huile essentielle de cannelle dégage une fragrance aromatique marquée, mais moins vivifiante.

Les huiles essentielles extraites présentent des couleurs allant du jaune pâle au clair, jusqu'à la transparence, pour les trois espèces étudiées.

Tableau 02 : caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles étudiées *Mentha spicata*, *Thymus vulgaris* et *Cinnamomum cassia* (cannelle).

Huile essentielle	Aspect	Couleur	Odeur	Saveur
Cannelle	Liquide	Jaune pale	Agréable	Moins rafraichissante
Norme AFNOR	Liquide mobile Limpide parfois légèrement visqueux	Jaune très claire	Epicée	Epicée, légèrement Amère, Piquante à forte dose
Menthe	Liquide	Jaune pale	Très agréable et aromatique	Moins rafraichissante
Norme AFNOR	Liquide mobile, limpide	Presque incolore A jaune pale	Fraiche, plus ou moins Mentholée selon l'origine	Fraiche, herbacée, Légèrement sucrée
Thym	Liquide	Jaune à orange claire	Très agréable et aromatique	Très forte et Phénolique
Norme AFNOR	Liquide mobile	Brun à brun rouge	Aromatique, phénolique Agréable avec un fond légèrement épicé	Légèrement amère, Piquante

1.2. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum* par inhalation

1.2.1. L'effet de l'huile essentielle de la cannelle (*C. cassia*) sur les adultes de *T. confusum*

La figure 18 présente les résultats du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* traités avec l'huile essentielle de la cannelle de chine en fonction de la dose testée et de la durée d'exposition (24h, 48h, 72h et 96h).

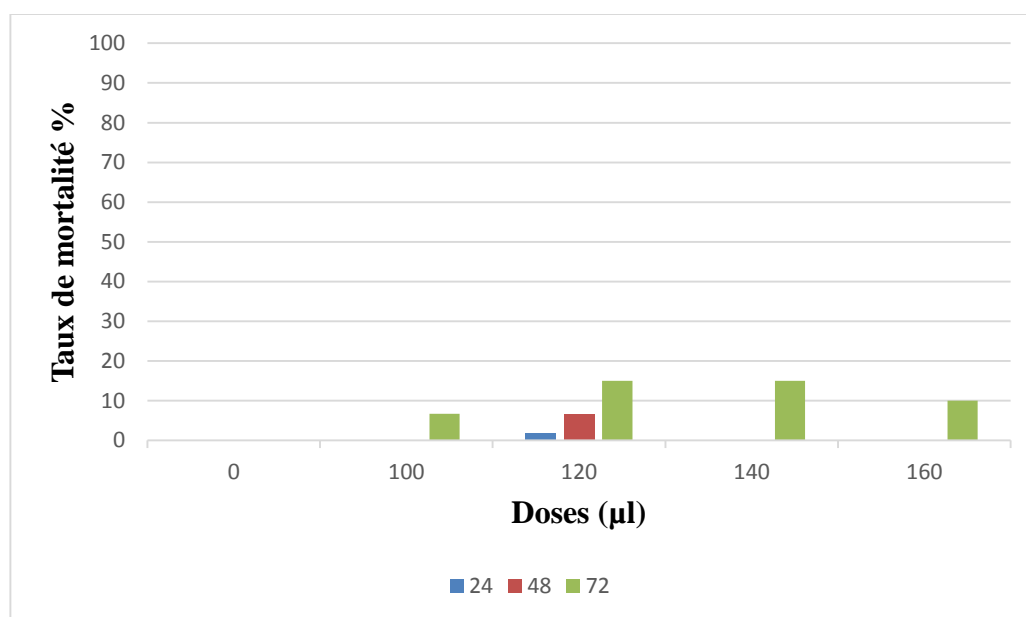


Figure 18 : Taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de la cannelle de chine.

Les résultats démontrent que l'huile essentielle de la cannelle exerce un effet insecticide important par inhalation contre les adultes de *T. confusum*.

À 24h, la dose de 120μl provoque une faible mortalité (2%). Cette dernière augmente nettement au bout de 48h, atteignant environ 6 à 7%, puis s'intensifie pour atteindre 15% à 72h. A la durée de 96h, aucune mortalité n'est observée. Les doses de 140μl et 160μl présentent une absence totale de mortalité durant 24h et 48 h. Toutefois, à 72h, un pic est atteint : 15% à la dose 140μl.

1.2.2. Effet de l'huile essentielle de la menthe verte (*M. spicata*) sur les adultes de *T. confusum*

La figure 19 présente les résultats du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* traités avec l'huile essentielle de la menthe en fonction de la dose et le temps d'exposition.

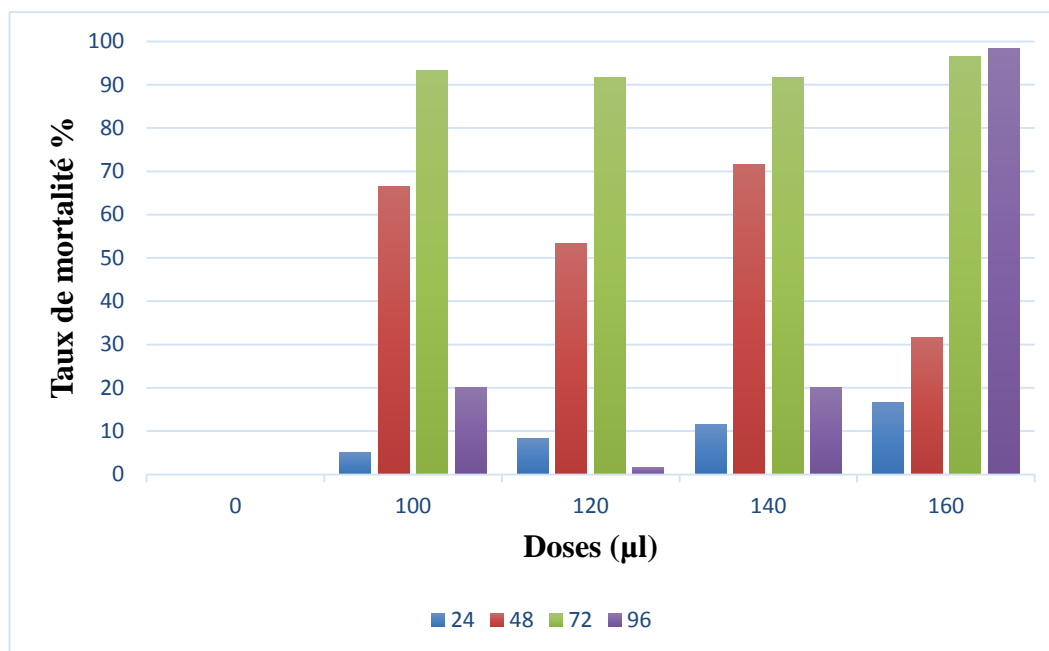


Figure 19 : Taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de la menthe verte

L'effet fumigant de cette huile essentielle est remarquable dès la plus faible dose utilisée (100µl) après 72h d'exposition avec un taux de mortalité de 96%.

Le taux de mortalité augmente en fonction de la dose et le temps d'exposition. Une toxicité plus élevée est observée aux doses 140µl et 160µl, dépassant 90% après 72h à la dose de 140 µl. à la plus forte dose testée (160µl), une mortalité presque complétée (98%). Les résultats obtenus confirment l'efficacité de l'huile essentielle de la menthe verte contre les adultes de *T. confusum*.

1.2.3. Effet de l'huile essentielle de thym (*T. vulgaris*) à l'égard des adultes de *T. confusum*

La figure (20), ci-dessous montre les résultats des tests par inhalation sur la longévité des adultes de *T. confusum*

L'huile essentielle de thym a montré un effet insecticide important sur les adultes de *T. confusum* dans nos conditions d'expérimentation.

L'effet insecticide de cette huile essentielle *est* remarquable dès la plus faible dose utilisée 100µl après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 16%, pour atteindre 33% à la dose de 120µl après 48h.

Cette mortalité augmente en fonction de la dose et la durée d'exposition. Une toxicité plus élevée est observée (50%) à la dose 140µl après 96h.

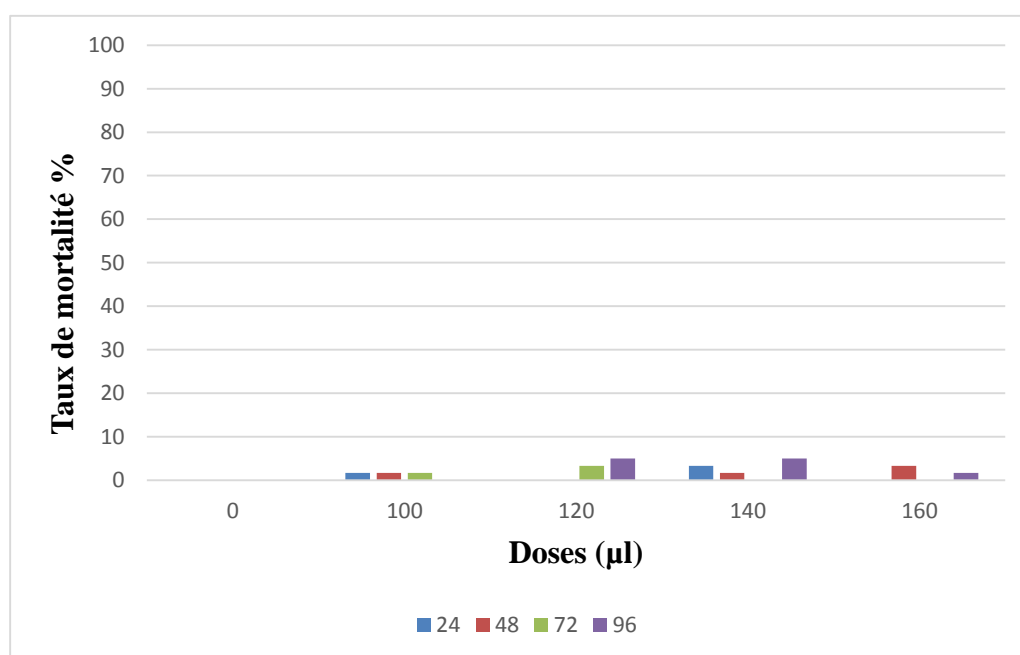


Figure 20 : Taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de thym.

Les résultats obtenus des tests d'inhalation sont soumis à un test d'ANOVA à trois critères de classification (dose, huile essentielle et temps d'exposition).

Les résultats de l'analyse de la variance montrent l'existence d'une différence très hautement significative ($p= 0.0000$) pour les effets de trois facteurs : dose ; huile essentielle et durée

d'exposition ainsi que pour les interactions existantes (dose* temps); (dose *huile); (temps*huile) et (dose*temps*huile) (Tableau 3).

Tableau 03 : Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité de trois huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	149394,5	179	834,606				
VAR.FACTEUR 1 dose	10173,63	4	2543,406	44,233	0		
VAR.FACTEUR 2 temps	15147,78	3	5049,26	87,813	0		
VAR.FACTEUR 3 huile	53975,28	2	26987,64	469,35	0		
VAR.INTER F1*2	9395,266	12	782,939	13,616	0		
VAR.INTER F1*3	15845,55	8	1980,693	34,447	0		
VAR.INTER F2*3	21164,72	6	3527,453	61,347	0		
VAR.INTER F1*2*3	16792,23	24	699,677	12,168	0		
VAR.RESIDUELLE 1	6900	120	57,5			7,583	52,50%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans quatre groupes homogènes : A, AB, B et C. La dose 160µl est classée dans le groupe homogène A. La dose 140µl est classée dans le groupe AB. La dose 100µl et 120µl sont classées dans le groupe B. Tandis que la dose 0µl est classée dans le groupe C.

Tableau 4 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*

DOSES (µl)	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
160	21,667	A		
140	18,472	A	B	
100	16,528		B	
120	15,556		B	
0	0			C

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur temps d'exposition dans les groupes homogènes suivants : dans le groupe A est classée le temps

d'exposition (72h), dans le groupe B est classée le temps d'exposition (48h), dans le groupe C est classée le temps d'exposition (96h) et le temps d'exposition (24h) classée dans le groupe homogène D.

Tableau 5 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps d'exposition sur les adultes de *T. confusum*

TEMPS (H)	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
72	28,333	A		
48	15,778		B	
96	10,444			C
24	3,222			D

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur huile essentielle dans les groupes homogènes suivants : dans le groupe A est classé l'huile essentielle de la menthe verte, l'huile essentielle de thym est classée dans le groupe B et l'huile essentielle de la cannelle est classée dans le groupe homogène C.

Tableau 6 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant le facteur de l'huile essentielle sur les adultes de *T. confusum*

F2	HUILE	MOYENNE	GROUPES HOMOGENES
1	La menthe verte	56.99	A
2	Le thym	44.56	B
3	La cannelle de chine	9.02	C

1.3. Résultats des tests par répulsion de trois huiles essentielles testées *C. cassia*, *M. spicata* et *T. vulgaris* sur les adultes de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide de trois huiles essentielles de la cannelle, de thym et de la menthe verte à l'égard des adultes de *T. confusum* sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 07 : Taux moyen de répulsion des huiles essentielles de la cannelle, de la menthe verte et de thym et leurs classements selon (Mc. Donald et *al*, 1970).

Huile essentielle	Doses				Taux moyen de Répulsion (%)	Classe de répulsivité	Propriétés
	100µl	120µl	140µl	160µl			
Cannelle	43,333	43,333	43,333	60	47,49	III	Moyennement répulsive
Menthe verte	63,333	63,333	73,333	80	69,99	IV	Répulsive
Thym	73,333	73,333	56,667	60	65,83	IV	Répulsive

L'huile essentielle de thym a démontré un effet répulsive important avec un taux moyen de 65, 83%. Selon Mc Donald et *al*, (1970), cette huile essentielle appartient à la classe IV.

En ce qui concerne l'huile essentielle de la menthe verte, elle a montré ainsi un effet répulsive très important avec un taux moyen de répulsivité de 69,99%. Selon Mc Donald et *al*, (1970), cette huile essentielle appartient à la classe IV. En revanche, l'huile essentielle de la cannelle, a présenté un taux de répulsivité de 47,49%, elle appartient à la classe III.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que les trois huiles essentielles testées ont un effet répulsive important à l'égard des adultes de *T. confusum*.

2. Discussion

Afin de préserver la santé humaine et l'environnement, il est crucial de limiter l'emploi de pesticides et de produits chimiques pour lutter contre les ravageurs des stocks. Nous devrions plutôt privilégier des méthodes de protection naturelles pour les contrôler efficacement.

2.1. Traitement par inhalation

Nous avons évalué l'effet de trois huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum*. Les résultats obtenus ont révélé que ces huiles possèdent une activité insecticide par inhalation, réduisant la durée de vie des insectes adultes. Pour chaque huile testée, les analyses

statistiques indiquent qu'il existe une variation très hautement significative des taux de mortalité des insectes qui dépendent de l'huile, des doses utilisées et de la durée d'exposition. Ces variations peuvent être expliquées par la composition Chimique de l'huile essentielle et le comportement du ravageur.

D'après les résultats de notre étude, il ressort que l'huile essentielle de menthe verte présente une toxicité plus élevée que celle de thym et de cannelle. En effet, à une dose identique de 160ul, la menthe verte a entraîné un taux de mortalité avoisinant les 100% après 96h, contre seulement 1,66% pour les huiles de thym et de cannelle sur la même période.

Nos résultats confirment ceux de nombreuses études ayant démontré l'effet des huiles essentielles sur la longévité des insectes ravageurs des denrées stockées. À titre d'exemple, Ben Azzedine, (2010) a confirmé l'efficacité insecticide de l'huile essentielle de la menthe verte contre *T. confusum* par inhalation, une mortalité complète 100% a été enregistrée 24h après traitement au romarin et à la menthe verte. Le thym et l'eucalyptus ont nécessité 120 heures pour atteindre ce même taux. En revanche, la citronnelle a présenté une efficacité nettement inférieure, avec une mortalité maximale de seulement 55% après 144h d'exposition.

Dans son étude, Yahyaoui, (2005) a testé l'activité insecticide de l'huile essentielle de menthe verte, appliquée par inhalation et contact, sur *R. dominica* et *T. confusum*. À la dose de 3,12%, l'huile a provoqué une mortalité de 100%, avec une efficacité similaire sur les deux insectes.

Dans le même contexte, Kedia et al, (2014) ont révélé que l'huile essentielle de *M. spicata*, obtenue à partir des parties aériennes, pourrait servir de pesticide naturel contre le redoutable charançon chinois (*Callosobruchus chinensis*). Leur étude a démontré une efficacité frappante : une concentration minimale de 0,1ul /ml d'air, appliquée par fumigation, a suffi à éliminer 100% des insectes en seulement 12h.

Les travaux de Zandi-Sohani et Ramezani, (2015), ont exploré l'efficacité de l'huile essentielle de menthe verte (provenant du sud-ouest de l'Iran) pour lutter contre le tétranyque rouge (*Tetranychus turkestanii*). Ils ont découvert que cette huile possède des propriétés acaricides significatives. À une concentration de 20ul /L, elle a entraîné une mortalité totale (100%) des adultes de *T. turkestanii*. Les concentrations létales LC50 et LC95 ont été déterminées à 15,3ul /L et 23,4ul /L, respectivement, soulignant son potentiel comme agent de lutte biologique

Une étude antérieure menée par Kedia et al, (2014), a mis en évidence les puissantes propriétés antifongiques de l'huile essentielle de menthe verte (*M. spicata*). Cette recherche a testé son efficacité contre 19 types de moisissures qui causent la détérioration des aliments. Les résultats sont impressionnants : à une concentration de 1,0ul /ml l'huile de menthe verte a inhibé à 100% la croissance de la majorité de ces champignons. Seules deux exceptions ont été notées, *Aspergillus luchuensis* et *Aspergillus terreus*, pour lesquelles l'inhibition mycélienne restait très élevée, respectivement à 91,72% et 75,67%. De plus, les tests de toxicité naturelle ont confirmé que cette huile avait un effet fongicide direct sur plusieurs moisissures spécifiques comme *Cladosporium cladosporioides*, *Mycelia sterilia*, *Alternaria alternata* et *Curvularia lunata*, toujours à la même concentration de 1,0ul /ml. Ces découvertes ouvrent des perspectives intéressantes pour l'utilisation de la menthe verte comme conservateur alimentaire naturel.

Les recherches de Lamiri et al, (2001), ont porté sur les effets insecticides de différentes huiles essentielles contre le charançon du grain (*Sitophilus granarius*). Concernant l'huile essentielle de menthe verte, l'étude a rapporté une mortalité de 80% des insectes après 24h d'exposition, et de 43% après 48h. Ces observations confirment que la durée d'exposition à l'huile essentielle influe directement sur le taux de mortalité des adultes de *Sitophilus granarius*.

D'après (Kacel et Baba Ahmad, 2022), les huiles essentielles évaluées se sont révélées particulièrement efficaces comme agents toxiques par inhalation contre les adultes de *T. confusum*. Plus précisément, l'huile essentielle de menthe poivrée a causé 81% de mortalité en 96h à une dose de 40ul, et l'huile essentielle de marjolaine à coquilles a atteint un taux de mortalité encore plus élevé, soit 92% en 72h à 50ul. Par ailleurs, ces traitements ont systématiquement diminué le taux d'émergence des adultes de *T. confusum*, avec des effets variant selon la dose et la durée d'exposition.

L'inhalation s'est avéré une méthode efficace pour utiliser les huiles essentielles de menthe verte (*Mentha spicata*) et de romarin (*Rosmarinus officinalis*) contre *T. confusum* et *S.oryzae*. Cette efficacité a été confirmée par divers chercheurs, notamment Regnault-Roger et al, (1993). Cependant, les mêmes auteurs ont également souligné la toxicité par inhalation de certaines espèces végétales, en particulier celles appartenant à la famille des Labiées, telles que le *Thymus vulgaris* L. (thym) et le *Rosmarinus officinalis* L. (romarin). Ils ont également noté

des effets toxiques similaires chez des plantes d'autres familles, comme les Myrtacées et les graminées vis-à-vis de bruche du haricot.

Une étude récente menée par (Laribi et al, 2023) a mis en évidence la forte activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*, préparée par hydro-distillation. Cette huile a été testée contre quatre souches microbiennes courantes : *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida albicans*, en utilisant la méthode de diffusion sur disque. Les résultats ont montré des zones d'inhibition significatives, allant de 47 à 64 mm, ce qui indique une puissante capacité à inhiber la croissance de ces micro-organismes. La sensibilité variait cependant d'une espèce microbienne à l'autre. Le rendement en huile essentielle et en extrait obtenu lors de la préparation était de 2,3%.

El-Guedoui, (2003) a testé l'effet toxique, par voie d'inhalation, des huiles essentielles de romarin et de thym sur *R. dominica*. Il a affirmé que le romarin était plus toxique, mais les résultats de mortalité à la dose maximale (1,44 mg/cm²) indiquent une efficacité légèrement plus élevée du thym, avec 40,93% contre 38,92% pour le romarin.

Les insectes du genre *Sitophilus oryzae* subissant un traitement à 5ul ont présenté une mortalité de 100% après 48h, malgré une faible résistance initiale. Douze heures après le début du traitement, plus de 50% des insectes étaient morts à 5ul, et 75% à 20ul, avec une activité réduite chez les survivants. Les résultats obtenus démontrent que l'huile essentielle de thym présente un effet insecticide significatif, atteignant plus de 80% de mortalité en 24h et 100% en 48h chez les deux sexes. L'absence de décès dans le groupe témoin atteste de la validité de l'expérimentation. Une mortalité tardive et plus faible a été enregistrées chez les femelles par rapport aux mâles, (Hassani et al, 2017).

Selon (Hadji, 2023), les huiles essentielles de *Mentha spicata* et de *Thymus vulgaris* ont démontré une activité larvicide significative contre *Culex pipiens*. En conditions de laboratoire, aucune mortalité n'a été enregistrée dans le lot témoin après 96h d'exposition. En revanche, à la dose maximale testée (9ul), l'huile essentielle de *Mentha spicata* a entraîné une mortalité totale (100%), tandis que celle de *Thymus vulgaris* a provoqué une mortalité de 83,33% après la même durée.

Une étude approfondie de Karahacane, (2015) a mis en évidence l'efficacité insecticide remarquable des feuilles fraîches de thym (*Thymus vulgaris*), récoltées à Médéa, contre le

T. castaneum. Il a été spécifiquement observé qu'une dose de 100ul (D4) entraînait une moyenne maximale de mortalité ($96,66\% \pm 1,2$) après 48h de traitement.

Des tests biologiques initiaux ont démontré que l'exposition pendant 24h à une concentration de 20ul /L d'air de vapeurs d'huiles essentielles de (cannelle, bouleau, ail, anis) provoquait un effet notable sur les œufs des insectes étudiés. Les données de toxicité ont révélé une sensibilité plus marquée des œufs de *T. confusum* par rapport à ceux d'*Ephestia kuehniella* et *Plodia interpunctella*, avec des valeurs de CL90 allant de 3,11 à 33,49ul /L d'air. En revanche, les œufs de *P. interpunctella* se sont avérés les plus résistants, présentant des valeurs de CL90 comprises entre 22,02ul /L et 72,42ul /L d'air. Pour atteindre une mortalité de 90% des œufs de *T. confusum*, les produits concentration \times temps (Ct) requis étaient de 0,29 mg \cdot h/l pour l'ail, 0,22 mg \cdot h/l pour le bouleau, 0,13 mg \cdot h/l pour la cannelle, et 1,37 mg \cdot h/l pour l'anis (Işıkber et al, 2009).

Selon Mondal et Khalequzzaman (2009), les huiles essentielles de (cannelle, cardamome, clous de girofle, neem) ont montré une forte activité fumigante contre les œufs de *Tribolium castaneum*, avec une toxicité qui augmentait progressivement en fonction de la durée d'exposition et de la concentration. À la concentration maximale de 5,769 mg/l d'air et après 24 heures d'exposition, l'huile de cannelle a provoqué 100% de mortalité aussi bien en présence qu'en absence de farine. Les vapeurs des huiles essentielles de cardamome et de clou de girofle ont également entraîné une mortalité totale des œufs. Quant à l'huile de neem, elle a induit des taux de mortalité atteignant respectivement 51,66% et 50% dans les milieux avec et sans farine, à la concentration la plus élevée et après la durée maximale d'exposition.

Sur le témoignage de Kim et al. (2003), les composés insecticides présents dans de nombreux extraits de plantes et huiles essentielles sont principalement des monoterpénoïdes (Coats et al, 1991 ; Konstantopoulou et al, 1992 ; Regnault-Roger et Hamraoui, 1995 ; Ahn et al, 1998). Grâce à leur forte volatilité, ces composés possèdent une action fumigante, et leur effet gazeux pourrait jouer un rôle important dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Le monoterpène carvacrol, par exemple, présente une activité insecticide et acaricide étendue contre divers ravageurs agricoles, des produits entreposés et médicaux, et agit en tant que fumigant (Ahn et al, 1998). Dans cette étude, les huiles essentielles de raifort, de cannelle (*Cinnamomum cassia*) et de moutarde se sont révélées nettement plus efficaces contre les adultes de *S. oryzae* dans des contenants fermés que dans des contenants ouverts : elles ont provoqué une mortalité de 100% dans les 4 heures suivant le traitement en conditions fermées, tandis qu'une mortalité faible ou inexistante a été observée dans les récipients ouverts jusqu'à

12 heures après l'exposition. Ces observations suggèrent que l'efficacité insecticide de ces huiles est largement liée à leur action fumigante : leur toxicité résulterait principalement de leur capacité à pénétrer dans le corps de l'insecte par le système respiratoire.

2.2. Traitement par répulsivité

La répulsion désigne le déplacement d'un organisme s'éloignant d'un stimulus. Dans des études évaluant le comportement des insectes face aux huiles essentielles, toutes ces dernières ont montré une efficacité répulsive contre les adultes de *T. confusum*. L'huile de menthe verte s'est distinguée par la meilleure efficacité, avec un taux de répulsion moyen d'environ 70%. L'huile de thym a également été significative à 65,8%, tandis que l'huile de cannelle a été la moins efficace, atteignant seulement 47,5%.

Plusieurs auteurs ont rapporté l'effet répulsif, comme en témoigne, La recherche menée par Kacel et Baba Ahmed, (2022), qui révèle que l'huile essentielle de menthe poivrée et celle de marjolaine à coquilles présentent une forte activité répulsive contre *T. confusum*. L'huile essentielle de menthe poivrée a enregistré un pourcentage de répulsion de 65%, et celle de marjolaine à coquilles 43,33%. La combinaison des deux huiles essentielles a surpassé leur efficacité individuelle, atteignant un taux de répulsion de 83,33%. Par conséquent, ces huiles essentielles peuvent servir de bio-insecticides, utilisées séparément ou en mélange, afin de limiter les pertes causées par ce ravageur dans les stocks.

Dans une étude réalisée par Papachristos et Stamopoulos (2002), les chercheurs ont étudié les effets répulsifs de l'huile essentielle de menthe verte (provenant de plantes entières en fleurs) sur *Acanthoscelides obtectus*. Les résultats ont montré que cette huile était très toxique, en particulier pour les mâles, avec une CL_{50} de 1,2ml /L, contre 4,4ml /L pour les femelles. Elle s'est également révélée être la plus efficace en termes de répulsion, ce qui la rend particulièrement intéressante pour une utilisation potentielle contre ce ravageur.

Du point de vue de Rahdari et Hamzei (2017), les huiles essentielles de *Mentha piperita*, *Rosmarinus officinalis* et *Coriandrum sativum* ont été testées pour leur capacité répulsive contre *Tribolium confusum* à 27 °C et 65% d'humidité relative, en milieu sombre. Les extraits ont été obtenus par hydrodistillation à partir des parties aériennes ou des graines. L'étude a révélé que *R.officinalis* et *M.piperita* étaient significativement plus répulsives que *C.sativum*, avec des taux respectifs de 86,22%, 82,22% et 67,15% au bout de 24h. La répulsion augmentait proportionnellement avec la concentration appliquée.

Une étude menée par Azeem *et al.* (2019), s'est concentrée sur l'évaluation de l'activité répulsive d'huiles essentielles provenant de sept plantes aromatiques (*Chenopodium ambrosioides* L., *Conyza sumatrensis*, *Erigeron canadensis* L., *Mentha spicata* L., *Parthenium hysterophorus* L., *Tagetes minuta* L. et *Eucalyptus camaldulensis*), toutes poussant à l'état sauvage dans la région du Bas-Himalaya au Pakistan. L'objectif était de les tester contre *Aedes aegypti*, le vecteur de la dengue. À la dose de 33ug/cm², toutes les huiles essentielles ont démontré une certaine activité répulsive sur les moustiques femelles. Cependant, l'huile essentielle de menthe verte (*M. spicata*) a été la plus performante, atteignant 100% de répulsion pendant plus de 45 minutes.

Les recherches de Helen (1985) ont évalué l'activité biologique de l'écorce sèche et de l'huile de *Cinnamomum cassia* Blum contre les insectes adultes *T. confusum* et *Sitophilus oryzae*. Les résultats ont révélé qu'appliqués sur du blé à des concentrations de 0,2%, 0,1% et 0,05% en poids, l'extrait d'acétone de l'écorce et l'huile ont exercé un effet répulsif notable sur *S. oryzae*, l'huile s'avérant plus puissante que l'extrait. Cette répulsion diminuait avec la réduction de la concentration. Concernant *T. confusum*, l'extrait et l'huile ont tous deux démontré des propriétés répulsives lorsqu'ils étaient appliqués sur du papier. Plus spécifiquement, à 600 et 400ug/cm², l'extrait a maintenu une répulsion moyenne de classe III sur quatre mois, alors que l'huile, bien que répulsive, a montré une dégradation plus rapide de son efficacité, atteignant une répulsion moyenne de classe II sur la même durée.

Une étude de Plata-Rueda *et al.* (2020), a révélé que les huiles essentielles de cannelle et leurs composés terpénoïdes caractéristiques tels que : l'eugénol (10,5%), le trans-3-carène-2-ol (10,2%), le benzoate de benzyle (9,99%), le caryophyllène (9,34 %), l'acétate d'eugényle (7,71%), l' α -phellandrène (7,41%) et l' α -pinène (7,14%), possèdent des effets toxiques et répulsifs significatifs contre les adultes de *S. granarius*. Cette découverte suggère leur utilité dans la prévention des infestations et la limitation de l'émergence de la résistance aux insecticides.

Le potentiel de la cannelle et de ses huiles essentielles comme agents de lutte contre les ravageurs des denrées stockées est bien établi. C'est le cas de l'étude de Lee *et al.* (2008), qui a spécifiquement exploré l'efficacité des huiles de *Cinnamomum verum* et *Cinnamomum cassia* contre le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*). Les résultats ont confirmé leur toxicité significative pour les adultes de cet insecte, avec des valeurs de CL50 remarquablement faibles (0,016 à 0,10 mg/cm²). Il a été déterminé que l'allylcinnamate contribuait davantage à la

mortalité que le cinnamaldéhyde, et que le mécanisme d'action impliquait l'exposition à des aldéhydes volatils.

Comparé à d'autres huiles essentielles, *C. verum* est reconnu comme l'une des substances les plus efficaces contre la bruche du haricot (*Acanthoscelides obtectus*) (Regnault-Roger et al., 2009). De plus, l'huile de cannelle a démontré sa capacité à bloquer la reproduction du tribolium rouge de la farine (*Tribolium castaneum*), du charançon du maïs (*Sitophilus zeamais*) et du capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*) à une concentration de 0,1–0,2 % lorsqu'elle est mélangée avec du blé ou de la farine de blé (Vijayan et Thampuran, 2004). Le traitement du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) avec l'huile de cannelle a entraîné une réduction de la croissance des ravageurs et une hausse de la mortalité du bruche (*Acanthoscelides obtectus*). Pour ces applications, la DL50 de l'huile de cannelle était de 46,8ul /kg de haricots (Viteri Jumbo et al, 2014).

Des huiles extraites d'ail (*Allium sativum*), de menthe (*Mentha piperita*), de basilic (*Ocimum basilicum*), de thym (*Thymus vulgaris*), de sésame (*Sesamum indicum*) et de camomille (*Chamaemelum nobile*) ont été évaluées pour leurs propriétés répulsives sur les adultes et les larves de *T. confusum* après une période de 24h. Les données recueillies révèlent une uniformité des effets répulsifs sur les adultes, où toutes les huiles ont démontré une forte capacité de répulsion (PR > 70%). Pour les larves, les résultats sont différents : une répulsion modérée a été observée avec le thym (PR < 61,1%) et le basilic (PR < 64,73%), tandis que les autres huiles ont montré un effet significativement plus faible (PR > 60,1%) (Abd El-Aziz et El-Sayed, 2009).

Goucem Khelfane (2014), a évalué le pouvoir répulsif de neuf huiles essentielles de plantes aromatiques contre *A. obtectus*. Les résultats ont clairement mis en évidence l'efficacité de certaines, notamment la menthe poivrée (73,75%), le laurier noble (71,25%), la lavande vraie (63,75%), la mandarine (63,75%) et la bergamote (61,78%), qui se sont toutes montrées très répulsives. D'autres huiles, comme le thym, l'eucalyptus et le citron, ont présenté un effet répulsif plus modéré, avec des taux respectifs de 53,75%, 51,25%, 43,75%.

Par ailleurs, l'étude de Hadjou et Lazri (2023) se focalise sur l'effet insecticide des huiles essentielles provenant de *Thymus algeriensis* et d'*Origanum floribundum*, plantes collectées à Tikejda, Kabylie, sur les adultes de *Tribolium confusum*, un insecte nuisible aux stocks alimentaires. Le rendement d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau a été de 0,50% pour l'origan et de 0,24% pour le thym d'Algérie. Ces huiles ont été appliquées à diverses

concentrations (20ul, 25ul, 30ul) pour les essais de répulsion, effectués à 30 °C et 50% d'humidité. Les résultats des tests de répulsivité ont indiqué que l'huile essentielle de thym exerce un effet répulsif moyen de 53,41%, tandis que celle d'origan présente une répulsivité plus faible de 31,12%.

Partout dans le monde, des recherches sont effectuées sur les méthodes de lutte naturelle contre la mineuse de la tomate. Parmi celles-ci, on compte notamment les travaux réalisés au Maroc par Ait taadaouit et *al.* (2011) qui a révélé que les extraits testés à partir des feuilles de *Thymus vulgaris* présentent une activité larvicide efficace, suggérant leur potentiel pour contrôler les larves de *Tuta absoluta*.



Conclusion et Perspectives

Conclusion générale et Perspectives

Ce travail de recherche s'est concentré sur l'étude de l'efficacité des pesticides à base d'huiles essentielles pour contrôler les ravageurs de stockage comme le *T. confusum*. Il apporte des éléments concrets qui peuvent servir de base pour développer des alternatives naturelles aux traitements chimiques actuels contre ces nuisibles. Pour cela, nous avons extrait les huiles essentielles de cannelle, menthe et thym en utilisant la technique d'hydro distillation.

Nous avons évalué l'effet insecticide de trois huiles essentielles de la cannelle (*C. cassia*), la menthe verte (*M. spicata*) et le thym (*T. vulgaris*) sur les adultes de *T. confusum*.

Les résultats obtenus ont révélé que l'activité insecticide par inhalation des huiles essentielles testées (*Cinnamomum cassia*, *Mentha spicata*, *Thymus vulgaris*) sur les adultes de *T. confusum* varie considérablement en fonction de la dose, la durée d'exposition et l'huile essentielle testée.

Parmi les trois huiles essentielles testées, l'huile essentielle de la menthe verte a montré la plus forte activité insecticide, entraînant près de 100 % de mortalité chez les adultes de *T. confusum* à la dose de 160µl après 96 heures. En comparaison, les huiles de cannelle et de thym ont généré un taux de mortalité faible (16,6 %), pour la même dose et la même durée d'exposition.

En ce qui concerne les tests de répulsion, les trois huiles essentielles testées ont démontré une capacité importante à repousser les adultes de *T. confusum*. La menthe et le thym ont produit un effet répulsif très important 69,9 % et 65,8 respectivement, atteignant jusqu'à 73% à la plus forte dose de 160 µl de l'huile essentielle de la menthe verte.

Ces résultats soulignent que l'efficacité des huiles essentielles dépend de plusieurs facteurs : la nature de l'huile essentielle étudiée, la composition chimique, la dose utilisée et les différents temps d'expositions.

Les résultats encourageants obtenus dans cette étude ouvrent la voie à plusieurs perspectives de recherche dans le domaine de la lutte biologique contre les ravageurs des stocks, à titre d'exemple nous proposons :

- Évaluer l'impact d'autres huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum*.
- Étudier l'effet des huiles essentielles étudiées sur d'autres ravageurs des denrées stockées. L'idée serait aussi de créer des mélanges synergiques entre ces huiles pour qu'elles soient encore plus efficaces.

Conclusion générale et Perspectives

- Une meilleure compréhension des mécanismes d'action des huiles essentielles sur les insectes pourrait également permettre d'identifier de nouvelles cibles biologiques et de renforcer leur efficacité.
- Afin de préserver les qualités organoleptiques et nutritionnelles des grains, il est recommandé d'utiliser ces extraits exclusivement pour le nettoyage et la désinfection des zones de stockage, plutôt que de les appliquer directement sur les grains eux-mêmes.

Étant donné la probabilité de présence d'effets non attendus liés à l'utilisation de ces bio-insecticides, il est indispensable d'évaluer ces effets avant de préconiser leur emploi systématique pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelli. W, 2017.** Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* et de *Thymus vulgaris*, thèse de doctorat, microbiologie appliquée, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem, Algérie, 178p.
- Abd El-Aziz Mona. F., El-Sayed Yasser. A., 2009.** Toxicity and biochemical efficacy of six essential oils against *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae), Egypt university – Benha. Entomology department. Faculty of science, 2 (2): pp (1–11).
- Adli, D.E., Brahmi, M., Ziani, K., Brahmi, K., Kahloula, K., Slimani, M, 2022.** Chemical Composition, in vitro Antioxidant, Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Mentha spicata* Essential Oil, *Phytothérapie*, 20(6): pp (320–327).
- Ahn. YJ., Lee. SB., Kim. GH, 1998.** Insecticidal and Acaricidal activity of Carvacrol and B-Thujaplicine Derived from *Thujopsis dolabrata* var. *Rondai* Sawdust. *Journal of chemical ecology*, 24, pp (81-90).
- Ait Taadaouit. N. Nilahyane A et Hsaine .M, 2011.** L'effet des extraits végétaux sur la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Glichüdae). Actes du premier Congrès International de l'arganier, Agadir.
- Alam. MS, Roy.PK, Miah. AR, Mollick. SH, Khan. MR, Mahmud. MC, Khatun. S., 2013.** Efficacy of Peppermint Oil in Diarrhea predominant IBS- a double blind randomized placebo-controlled study. *Mymensingh Med Jan*, 22 (1), pp (27-30).
- Amari. N ,2014.** Etude du choix de ponte du bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche, et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte. Mémoire de magistère pp (23 – 25).
- Anonyme, 2001.** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Ed. ITCF. 268p.
- Aomar TG. Dogo. S., Wathelet. JP., Lognay.G., 2011.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : Synthèse bibliographique. *Biotechnology, Agronomy and society and environnement* 15(1).
- Arrab, R., 2016.** Effet insecticide des plantes *Melia Azedarach*.I ET *Peganum harmala* L.sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castanum* herbest (Coleoptera, Tenebrionidae). Magister, univ. Ferhat Abbas Sétif.
- Azeem. M., Zaman. T., Tahir. M., Haris. A., Zafar. I., Binyameen. M., Nazir. A., Balachowsky, 1936.** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, et leur destruction. Ed. Etablissement. BUSSON. Paris, Tome II, pp (1722-1724).

Références bibliographiques

- Balachowsky, A. S, 1962.** Entomologie Appliquée À L'agriculture : Coléoptères, (Masson, paris 564p.
- Bruneton. J., 1993.** Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 915p.
- Benazzeddine. S, 2010.** Effet insecticide de cinq huiles essentielles vis- à – vis de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera ; Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera ; Tenebrionidae). Ecole nationale supérieure agronomique El- Harrach d'Alger – Ingénieur d'état en science agronomique.
- Benbouali. M, 2006.** Valorisation des extraits de plantes aromatiques et médicinales de : "*Mentha rotundifolia* & *Thymus vulgaris*". Mémoire de Magister, Université Hassiba Ben Bouali –Chlef, Algérie.
- Binate. G et Dikes. L, 2018.** Étude de l'effet antibactérien et prébiotique des extraits de *Thymus vulgaris* et de *Thymus serpyllum*. Mémoire de Master, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana, Alger.
- Boulade. K, 2018.** Lamiaceae : caractéristiques et intérêts thérapeutiques à l'officine. Thèse de doctorat, sciences pharmaceutiques, Université Toulouse III, Paul Sabatier, France, 151p.
- Bourgeois Laurent., 2009.** Remèdes et recettes au thym, rustica éditions Paris, 64p.
- Bown. D, 1995.** Encyclopedia of herbs & their uses, Londre, New York, 424p.
- Branuskiene. R., Venskutonis. PR., Viskelis. P., Dambrauskiene. E, 2003.** Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of Thyme (*Thymus Vulgaris*), *Journal of agricultural and food chemistry*, 51 (26): pp (7751-7758).
- Bruneton. J., 2009.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 04m édition (Édition Tec & Doc), paris, 1283p.
- Chantal Schlatter. 2017.** Group of Pharmaceutical Biology. Dept of Pharmaceutical Sciences. Universität Basel. n° 23 /15.12.
- Coats. JR., Karr LL., Drewes .CD, 1991.** Toxicity and Neurotoxic effects of monoterpenoids in insects and Earthworms. Naturally occurring Bioregulators: ACS Symposium Series, American Chemical Society: Washington, DC.pp (305-316).
- Cohen, D., 2013.** Les huiles essentielles à l'officine : dangers pour la femme enceinte et le nouveau-né. Thèse de doctorat en Pharmacie. Université Joseph Fourier de Grenoble.

Références bibliographiques

- Costello. RB., Dwyer. JT., Saldanha. L., Bailey. RL., Merkel. J., Wambogo. E., 2016.** Do Cinnamon Supplements Have a Role in Glycemic Control in Type 2 Diabetes? A Narrative Review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116 (11): pp (1794-1802).
- Cruz. J.F ; Troude, F., 1988.** Conservation des Grains en Régions Chaudes « Techniques Rurales en Afrique ». 2 éd. France, ceemat, 548P.
- Dalal Hammoudi Halat., Maha Krayem., Sanaa Khaled., Samar Younes., 2022.** A focused insight into thym: Biological, chemical and therapeutic properties of an indigenous Mediterranean herb, *Nutriment*, 14(10): 2104p.
- Delobel. A et Trans. M., 1993.** Les coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. Ed orstom, Paris, 424 p.
- Ducom. P., 1982.** La protection phytosanitaire des grains après récolte. *Revu. Phytoma. Défi cult* 133 : pp (32-37).
- Durox. H, 1982.** Les plantes médicinales de France. Éditions de la Fédération française des sociétés de sciences naturelles.
- Eun-Jeong Lee., Jun-Ran Kim., Dong-Ro Choi., Young-Joon Ahn., 2008.** Toxicity of *cassia* and *cinnamon* oil compounds and cinnamaldehyde-related compounds to *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of economic entomology* : volume (101) (6) : PP (1960–1966).
- El Haib. A., 2011.** Valorisation de terpenes naturels issus de plantes marocaines par transformation catalytiques. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. 196p.
- El-guedoui. R., 2003.** Extraction des huiles essentielles du Romarin et du Thym. Comportement insecticide de ces deux huiles sur *Rhyzopertha dominica* (Fabricus) (Coleoptera, bostrychidae). Thèse ing. E.N.P., El-Harrach, Alger, 76p.
- Eugène Rolland., 1912.** Flore populaire ou histoire naturelle des plantes dans leur rapport avec la linguistique et le folklore, Tome 9, paris, 304p.
- El-Akhal. F, Greche. H, Ouazzani Chahdi. F, Guemmouh. R, El Ouali Lalami. A., 2015.** Composition chimique et activité larvicide sur *Culex pipiens* d'huile essentielle de *Thymus vulgaris* cultivées au Maroc. *J. Mater. Environ. Sci*, 6 (1): pp (214-219).
- Fernald, M. L., 1950.** Gray's Manual of Botany, eight édition. American Book Company New York, 1632 p.

Références bibliographiques

- Fianko. J.R., Donkor. A., Lower. S.T., Yeboah.P.O., Glover. E.T., Adom. T., Faanu. A., 2011.** Health risk associated with pesticide contamination of fish from the densu river basin in Ghana. *Journal of environmental protection*, 2(2), pp (115-123).
- Fournier Paul-Victor., 2010.** Dictionnaire des plantes médicinales et vénéneuses de France, Omnibus, Paris.
- Gavahian, M., & Chu, Y. H, 2018.** Osmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50: pp (34 - 41).
- Gomes, P. B., Mata, V. G., & Rodrigues, A. E., 2007.** Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction. *Journal of supercritical fluids*, 41(1): pp (50 - 60).
- Goucem-Khelfane. K., 2014.** Étude de l'activité insecticide des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard de bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say Coleoptera-chryso-mrlidae et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus Vulgaris* L). Thèse de doctorat Ecologie et Biologie des populations.
- Grieve. M., 1931.** A modern herbal : the medicinal, culinary, cosmetic and economic properties, cultivation and folklore of herbs, grasses, fungi, shrubs & trees with all their modern scientific uses, j cape, New York, 888p.
- Guèye. M.T., Seck. D., Wathelet. JP., Lognay. G., 2011.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale. *Biotechnologie. Agron. Soc. Environ.* 15(1), pp (183-194).
- Hadji. Kh., 2023.** Effet de deux huiles essentielles extraites de plantes *Mentha spicata* et *Thymus vulgaris* sur les larves de *Culex pipiens*. Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers.
- Hadjou. S., Lazri. C., 2023.** Extraction des huiles essentielles du thym d'Algérie (*Thymus algeriensis*) et l'origan (*Origanum floribundum*) et évaluation de leur bio activités vis-vis des adultes de tribolium (*Tribolium confusum*) (Coleoptera : Tenebrionidae). Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 29p.
- Hammami. S et Abdesselem. M., 2005.** Extraction et analyse des huiles essentielles de la menthe poivrée de la région d'Ouargla. Thèse Ing Univ Blida 69 p.
- Hariri. M, Ghiasvand. R., 2016.** Cinnamon and Chronic Diseases. *Advances in experimental medicine and biology*, 929: pp (1-24).
- Hassani. A., Sehari. N., Sehari. M., Bouchenafa. N., Labdelli. F., Kouadria. M., 2017.** Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L.

Références bibliographiques

dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées. *Revue Écologie-Environnement* (13), pp (7-8).

Helen.C.F.Su, 1985. Laboratory évaluation of Biological activity of *Cinnamomum cassia* to four species of stored -products insects, pp (247-253).

Hernandez Ochoa. LR., 2005. Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine (solvant/actif) d'origine végétale. Thèse de Doctorat en Science des Procédés (option sciences des agroressources), Institut National Polytechnique, Toulouse, France.

Hubert, R., 1992. Epices et aromates. Edition Tec & Doc, Lavoisier, France.

Huxley, A., 1992. The New Royal Horticultural Society Dictionary of Gardening.Vol.3, Macmillan Press, Londres, 927p.

Iserin. P., 2001. Encyclopédie des plantes médicinales, londres, 335p .

Işıkber. A. A., Özder. N., Özgür. S., 2009. Susceptibility of eggs of *Tribolium Confusum*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* to four essential oil Vapors. *Phytoparasitica*, 37 : pp (231–239).

Jalas. J, 1971. Note of *Thymus. L* (Labiatae) in Europe. I. Super Specific Classification and Nomenclature. *Bot.J. Linn.Soc*, 64 : pp (199-215).

Jean-Marc Tison, Bruno de Foucault., 2014. Société botanique de France, FLORA GALLICA, Flore de France, Biotope Édition, 1196 p.

Kacel. A., Baba Ahmed. L., 2022. Étude de l'activité des huiles essentielles de menthe poivrée (*Mentha Piperita* L.) et de la Marjolaine à coquilles (*Origanum majorana* L.) à l'égard de *Tribolium confusum* (coleoptera : Tenebrionidae).

Kaloustian. J., Hadji-Minaglou. F, 2012. La connaissance des huiles essentielles : qualilogie et aromathérapie : entre science et tradition pour une application médicale raisonnée. Collection phytothérapie pratique, Springer-Verlag, Paris, France.

Karahacane. T, 2015. Activité insecticide des extraits de quelques plantes cultivées et spontanées sur les insectes du blé en post récolte. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure Agronomique, Alger, Algérie. 209 p.

Kedia. A., Prakash. B., Mishra. PK, Chanotiya. CS, Dubey. NK., 2014. Efficacité antifongique, antiaflatoxigène et insecticide de l'huile essentielle de menthe verte (*Mentha spicata* L.). *International Biodeterioration & Biodegradation* : 89, pp (29-36).

Kellouche A., 2005. Étude du bruche du pois chiche *Callosobruchus maculatus*. F (Coleoptera : Bruchidae) ; Biologie, physiologie, reproduction et lutte, Thèse de doctorat d'état en sciences naturelles, spécialité entomologie. U.M.M.T.O. 154p.

Konstantopoulou. L., Vassilopoulou. L., Mavragani Tsipidou. p., Scouras. ZG., 1992. Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from

Références bibliographiques

eleven Greek aromatic plants on *Drosophila auraria*. *Experientia* 48, pp (616-619).

Kuete, 2017. Medicinal spices and vegetables from Africa. Therapeutic potential against metabolic, inflammatory, infectious and systemic diseases. Chapitre 28: *Thymus vulgaris*: pp (599- 609).

Kurkin. V. A., 2003. Phenylpropanoids from medicinal plants: distribution, classification, iolo structural analysis, and biological activity. *Chemistry of Natural Compounds*, 39, pp (123-153).

Lahlou. M, 2004. Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6): pp (435-448).

Lale. N.E.S et Vidal. S., 2003. Simulation studies on the effects of solar heat on egg laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) in stored Bambara groundnut *Vigna subterranean* (L) Verdcourt. *J. Stored Prod. Res.* 39, pp (447-458).

Lallemand. H., Pirot. N., Dornier. M., Reynes. M., 2000. La cannelle : Historique, production et principales caractéristiques. *Fruits*, 55(6), pp (421 - 432).

Lamiri. A., Lhaloui. S., Ben Jilali. B., Berrada. M., 2001. Fumigant toxic activity of essential oils on *Sitophilus granarius* (Linné). *Physical and Chemical News*: 1, pp (101-105).

Laribi. A., Zaouani. M., 2023. Contribution à l'évaluation de l'activité antibactérienne et antifongique de l'huile essentielle de thym. Mémoire de Magistère, École Nationale Supérieure Vétérinaire, Alger : PP (31-36).

Lawrence. B. M, 2004. Mint oils and their constituents. *Journal of Essential Oil Research*, 19(3): pp (251-262).

Lepesme. P., 1944. Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Editeur : (Paul le chevalier), Paris, 335p.

Leszczynska. D, 2007. Management de l'innovation dans l'industrie aromatique : Cas des PME de la région de Grasse. Editions le Harmattan, Paris, France, 453p.

Lucchesi. M. E, 2005. Extraction sans solvant assistée par micro-ondes : conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat en Sciences (option : Chimie), Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, France, pp (51-61).

Luis Oswaldo, Viteri Jumbo, Lêda. RA Faroni., Eugênio. E. Oliveira, Marco. A.

Pimentel, Gutierrez. N. Silva., 2014. Potential use of clove and *Cinnamon* essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* say, in small storage units. *Industrial crops and products*, 56: pp (27–34).

Maffei. M., Chialva. F., Sacco. T., 1989. Glandular trichomes and essential oils in developing peppermint leaves. *New phytologist*, 111(4): pp (707-716).

Magan. N., Olsen. M., 2004. Mycotoxines in food: Detection and control. Woodhead

Références bibliographiques

publishing, 423p.

Marie-Pierre Arvy, François Gallouin., 2003. Épices, aromates et condiments, Belin, 412p.

Masango. P., 2005. Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of cleaner production*, 13(8), pp (833-839).

Messaoudene. H., Mouhou. N., 2017. Étude de la toxicité des huiles essentielles contre les ravageurs des denrées stockées, Mémoire de Master, Université de Abderrahmane MIR - Bejaia, 35p.

Mondal. M., Khalequzzaman. M., 2009. Ovicidal activity of essential oils against red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Department of Zoology, University of Rajshahi 6205, Bangladesh; *J. bio-sci*, 17: pp (57-62).

Morales. R., 2002. The history, botany and taxonomy of the *genus Thymus*. In : Stahl-Biskup. E and Sàez. F., Edit., *Thyme: the genus Thymus*. Taylor and Francis, Inc., London : pp (1 - 43).

Mouhi. L., 2017. Étude des activités biologiques de l'association des huiles de plantes de la flore Algérienne. Élaboration d'une forme pharmaceutique. Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger 14p.

Moutinho, Carla et Matos, Carla et Neves, José et Teixeira, Dora et Cunha, Silvia et Gomes, Ligia., 2013. Antispasmodic activity of aqueous extracts from *Mentha x piperita* native from Tras-os- Montes region (Portugal). *International journal of Indigenous Medicinal Plants* : 29: pp (1167-1174).

Pavida. DL., Lampman. GM., Kriz. GS., Engel. RG., 1976. Amiroscale approach to organic laboratory techniques, sixth edition, USA; 1054p.

Padua. LS. N., 1999. Bunyaphatsara, R.H.M.J. Lemmens, Plant Resources of South-East Asia, 12. L'égard de deux insectes ravageurs du blé. UMMTO.

Papachristos. DP., Stamopoulos. DC., 2002. Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera Bruchidae). *Journal of stored products research*: 38, pp (117-128).

Parthasarathy. V.A., Chempakam. B., Zachariah. T.J., 2008. Chemistry of spices. Édition CABI ; London, 455p.

Paul. I., 2001. Encyclopédie des plantes médicinales, Ed. Larousse-Bordas Paris, 14p.

Pereira. C.G., Meireles. M.A.A., 2010. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), pp (340-372).

Peterson. A., Machmudah. S., Roy. B.C., Goto. M., Sasaki. M., Hirose. T., 2006. Extraction of essential oil from geranium (*Pelargonium graveolens*) with supercritical carbon dioxide. *Journal of chemical technology and biotechnology*: International research in process,

Références bibliographiques

environmental and clean technology, 81(2), pp (167-172).

Plata-Rueda. A., Rolim. G.D.S, Wilcken. C.F, Zanuncio. J.C, Serrão. JE, Martinez. L.C., 2020. Acute toxicity and sublethal effects of lemongrass essential oil and their components against the granary weevil, *Sitophilus granarius* insects: 11(6), 37 p.

Pretty. J, Hine. R, 2005. Pesticide use and the environment in the pesticide detox - Towards a more sustainable agriculture. Earthscan: London, 293p.

Quézel. P., Santa. S., 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. (Avec la collaboration technique de Mme Schotter et préface du pr. L. Emberger). Éd. C.N.R.S, Paris, Tome 1 (1962): 565. Tome 2 (1963): pp (571-1170).

Raaman. N., 2006. Phytochemical techniques. New India Publishing, New Delhi, Inde, 318p.

Radhakrishnan. V.V., Madhusoodnan. K.J., Kuruvilla. K. M., 1992. *Cinnamon* – the spicy bark. *Spice India*, 5 (4): pp (12-13).

Rahdari. T., Hamzei. M., 2017. Repellency Effect of Essential Oils of *Mentha piperita*, *Rosmarinus officinalis* and *Coriandrum sativum* on *Tribolium confusum* duval (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemistry Research Journal*, 2(2): pp (107-110).

Regnault-Roger. C., Hamraoui. A., Holeman. M., Théron. E., Pinel. R., 1993. Insecticidal effect of essential oils from Mediterranean plants upon *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of chemical ecology*. June, 19 (6): pp (1233-1244).

Regnault-Roger. C., Philogene. B.J.R., Vincent. C., 2009. (Eds): Biopesticides of plant origin. *European journal of Entomology*; 106 (2), 224p.

Regnault-Roger. C., Hamraoui. A, 1995. Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Journal of stored products research*, 31(4): pp (291-299).

Richter. J., Schellenberg. I., 2007. Comparison of different extraction methods for the determination of essential oils and related compounds from aromatic plants and optimization of solid-phase microextraction/gas chromatography. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387(6): pp (2207-2217).

Ryckwaert. P., Fabre. F., 2002. Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraichères à la réunion. Cirad : pp (99-103).

Sarfraz. AS., Majeed. Sh., Mozūraitis. R., 2019. Chemical composition and repellent activity of native plants essential oils against dengue mosquito, *Aedes aegypti*.

Sallé. J.L, 1991. Le totum en phytothérapie, Approche de la phyto-biothérapie. Edition Frison-Roche, Paris, France, 239p.

Références bibliographiques

- Schuster. CL., Smeda, R.J., 2007.** Management of Amaranths Rudi's S. in glyphosate resistant corn (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Crop Protection*, 26 (9) pp : (1436- 1443).
- Semsar, 2013.** Effet insecticide de l'huile végétale d'argan (*Argania spinosa*) à l'égard de deux insectes ravageurs du blé. Université Mouloud Mammeri.
- Serrato-Valenti. G., Bisio. A., Cornara. L., Ciarallo. G., 1997.** Structural and histochemical investigation of the glandular trichomes of *Salvia aurea* L. leaves, and chemical analysis of the essential oil. *Annals of Botany*, 79 (3): pp (329-336).
- Shiva, M. P., Lehri, A., & Shiva, A, 2002.** Aromatic and medicinal plants: yielding essential oil for pharmaceutical, perfumery, cosmetic industries and trade. International Book Distributors, Dehradun, Inde: pp (219-222).
- Sommerard Jean-Charles., 2012.** Les eaux florales, Presses du Châtelet ; Paris, 296p.
- Soon-Il Kim., Jung-Yeon Roh., Do-Hyoung Kim., Han-Seung Lee., Young-Joon Ahn., 2003.** Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential Oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research* 39(3): pp (293–303).
- Stahl-Biskup. E., Venskutonis. R. P., 2012.** Thyme in handbook of herbs and spices. Woodhead Publishing: pp (499-525).
- Stahl-Biskup. E., Saez. F, 2002.** The genus *Thymus*. London; New York, USA: Taylor et Francis, 346p.
- Staub Hervé., Bayer Lily., 2013.** Traité approfondi de phyto-aromathérapie : avec présentation de 750 huiles essentielles connues, Ed Grancher, Paris, 686p.
- Stefan. JR., 1978.** Description et biologie des insectes. Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. AFNOR-I.T.C.F, Paris, 237p.
- Teuscher Eberhard, Anton Robert, Lobstein Annelise., 2005.** Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles, Ed Tec & Doc. Lavoisier, 1120p.
- Teusher. E., Anton. R., Lobstein. A., 2005.** Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles. Tec et Doc, Paris : pp (285-289).
- Tutin, T. G., 1964.** *Flora Europaea*. Cambridge University Press. 455p.
- Vázquez-Fresno, R., 2019.** *Thymus vulgaris* : une plante médicinale polyvalente. *Journal of Medicinal Plants Research*, 13(2), pp (1-9).
- Vijayan, K.K., Ajithan Thampuran. R.V, 2004.** Pharmacology and Toxicology of *Cinnamon* and *Cassia*. In *Cinnamon and Cassia: The Genus Cinnamomum*. Vol. pp (259-284).
- Vincent. C., Coderre. D., 1998.** Les bio pesticides : Gaëtan Morin Editeur (Montréal) et Tec & Doc Lavoisier. Antenne, 5 : pp (7- 29).

Références bibliographiques

- Xavier Reculeau-Arnoud, 2013.** La cannelle « Une épice pas comme les autres ». Mémoire de fin de formation de Phytothérapie Hippocratus 16p.
- Yahyaoui. N., 2005.** Extraction analyse et évaluation de l'effet insecticide de *Mentha spicata* contre *Rhyzopertha dominica* (Fabricus) (Coleoptera, Bostrychidae), et *Tribolium castaneum* (Herbest), (Coléoptère, Tenebrionidae). Thèse magistère, I.N.A., Alger, 102p.
- Youcef, AN., 1990.** Dictionary of Medicinal Plants, Librairie du Liban 160p.
- Yousef, A., 2012.** Antinociceptive activity of *Mentha piperita* leaf aqueous extract in mice. Liban J Med. 7p.
- Zandi Sohani. N., Ramezani. L, 2015.** Évaluation of five essential oils as botanical acaricides against the strawberry spider mite *Tetranychus Turkestani* Ugarov and Nikolskii. *Journal of international Biodeterioration et Biodegradation* (98) : pp (101-106).
- Zeghib. A, 2013.** Etude phytochimique et activités anti oxydante, anti proliférative, antibactérienne et antivirale d'extraits et d'huiles essentielles de quatre espèces endémiques du genre thymus. Thèse de doctorat, Université de Constantine Algérie.
- Zhang. K, Han ES, Dellinger. TH, Lu.J, Nam S, Anderson RA, et al., 2016.** *Cinamon* extract reduces VEGF expression via suppressing HIF-1alpha Gene expression and inhibits tumor growth in mice. *Molecular carcino-Genesis*; volume 56 (2): pp (436-446).

Résumé

L'objectif de cette étude était d'explorer le potentiel insecticide de trois huiles essentielles (cannelle, menthe verte, thym) contre le *Tribolium confusum*, un ravageur des stocks. Nous avons évalué leur toxicité par inhalation et leur effet répulsif.

Les tests d'inhalation ont montré que l'huile essentielle de menthe verte présente une activité bio insecticide très significative, avec un taux de mortalité atteignant 98% après 96h à la dose la plus élevée 160µl. Bien que les deux huiles essentielle la cannelle et le thym présentent une toxicité moins importante. Les tests de répulsion ont révélé que l'huile essentielle de la menthe et le thym sont plus répulsives avec un taux moyen de 69,9%, 65,8% respectivement. Ces découvertes suggèrent fortement que l'huile essentielle de la menthe verte peut servir comme un bio-insecticide puissant par inhalation et par répulsion pour limiter les dommages causés par ce ravageur dans les denrées stockées.

Mots clés :

Tribolium confusum, Menthe verte, cannelle, thym, inhalation, répulsivité, ravageur.

Abstract

The aim of this study was to explore the insecticidal potential of three essential oils (cinnamon, spearmint, thyme) against the stock pest *Tribolium confusum*. We assessed their toxicity by inhalation and their repellent effect.

The results are clear: spearmint essential oil stands out for its high inhalation toxicity, capable of eliminating almost 100% of *T. confusum* adults in 96 hours at 160µl. Although cinnamon and thyme are less effective by inhalation, all three oils show significant repellent activity (Mint 69.9%, Thyme 65.8%, and Cinnamon 47.4%).

These findings strongly suggest that spearmint essential oil can be used as a bio-insecticide to limit the damage caused by this pest in stored foodstuffs.

Keywords

Tribolium confusum, spearmint, cinnamon, thyme, inhalation, repellent, pest, stocks.

