



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH
جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف
CHADLI BENDJEDID EL TARF UNIVERSITY
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES
قسم البيولوجيا



Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

«Toxicologie Fondamentale & Appliquée»

Thème

Contribution à la mise au point d'une méthode de bio
contrôle des ravageurs des denrées stockées à base
d'huiles essentielles

Présenté Par : **Ouannas Amira & Merdaci Malak**

Soutenue publiquement le : Dimanche 14 Juin 2026

devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
ROUIBI Asma	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Présidente
AMOURA Mounia	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directrice de mémoire
RAHMOUNE Houria	MAA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examinatrice

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier vivement ALLAH, Le Clément, Le Miséricordieux, de Lui seul revient notre réussite et notre bonheur. Il nous a donné la santé et beaucoup de persévérance et de volonté pour surmonter les difficultés durant nos études et pour achever ce modeste travail.

Un vif remerciement à notre encadreur **Dr. Amoura M** qui nous a donné beaucoup de conseils et nous a dirigé du mieux qu'il pouvait. Nous le remercions chaleureusement de la confiance qu'il nous a toujours accordée durant ces mois.

Nous tenons également à adresser nos sincères remerciements aux membres du jury, **Dr. ROUIBI Asma** et **Dr. RAHMOUNE Houria**, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et d'évaluer ce travail. Nous leur exprimons notre profonde gratitude pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire ainsi que pour leurs remarques, suggestions et précieux conseils qui contribueront à l'amélioration de ce travail.

À **Mme Hayette**, ingénieure du laboratoire de chimie, avec mes sincères remerciements pour son aide précieuse, sa disponibilité et son soutien tout au long de ce travail

Nous présentons nos chaleureux remerciements aux enseignants du Département de Biologie pour leurs aides et leur orientation durant notre formation.

Nos derniers remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Amira & Malak

Dédicace

Je remercie ALLAH, le tout puissant pour m'avoir aidé à élaborer ce travail et qui m'a donné la patience par rapport aux moments difficiles rencontrés sur mon chemin.

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont soutenue tout au long de ma vie.

A ma tendre mère " **Arifa** " qui m'a toujours aidé à faire le bon choix dans ma vie et qui m'a aidé avec son soutien et ses conseils.

A papa " **Mosbah** " qui m'a beaucoup aidé par son soutien, sa Compréhension et ses encouragements.

A mes chères frères **Housseem** , **Nassim** , **Moutaz** et ma petite sœur **Douaa** et ma grand-mère **Hadda** .

A mes charmantes amies **Sana** , **Aya**

A tous ceux qui sont pour la science, le savoir... Je dédie ce travail.

Malak

Dédicace

Je remercie ALLAH, le tout puissant pour m'avoir aidé à élaborer ce travail et qui m'a donné la patience par rapport aux moments difficiles rencontrés sur mon chemin.

À la source de tendresse et de pureté, à celle dont les prières au cœur de la nuit illuminaient mes chemins obscurs et me poussaient toujours vers la réussite...

À ma chère mère, **Charifa**, que Dieu la protège et la préserve.

À ma chère famille ainsi qu'à tous ceux qui ont toujours été à mes côtés, par une parole bienveillante ou une prière sincère en mon absence.

À la mémoire de mon cher père, **Youcef**, que Dieu ait son âme. Tu n'es plus là où tu étais, mais tu es partout là où je suis, j'aurais tant aimé que tu sois présent pour partager ce moment, mais je sais que, de là où tu es, tu veilles sur moi. C'est grâce à toi, après la grâce de Dieu, que j'ai pu atteindre cette étape dont tu rêvais pour moi avant même que je n'en rêve moi-même. Que ce travail soit un hommage à ton amour et à ton éternel souvenir.

À mes chers frères, **Raïd** et **Saïd**, mes piliers et mon soutien inconditionnel dans la vie. Que Dieu vous accorde la réussite, le bonheur et l'accomplissement dans tout ce que vous entreprendrez.

À mon fiancé, pour sa patience, ses encouragements continus et sa présence rassurante tout au long de ce parcours.

À mes chères amies, **Lina** et **Hadjer**, mes compagnes de route, en souvenir de notre belle complicité et des précieux moments partagés.

A tous ceux qui sont pour la science, le savoir... Je dédie ce travail.

Amira

Résumé

La présente étude porte sur l'évaluation de l'activité répulsive des huiles essentielles de *Mentha piperita*, *Laurus nobilis* et *Syzygium aromaticum* récolte de la région d EL Tarf ,vis-à-vis des adultes de *Lasioderma serricorne* et *Tribolium castaneum*, deux insectes ravageurs des denrées stockées. Les huiles essentielles ont été obtenues par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Les rendements obtenus sont de 1,12 % pour *Mentha piperita*, 1,40 % pour *Laurus nobilis* et 6,25 % pour *Syzygium aromaticum*. Sachant que le rendement l'HE est varié selon la nature et l'origine de la plante utilisée. Selon le classement de **McDonald et al. (1970)**, Les résultats obtenus montrent que les trois huiles essentielles présentent une activité répulsive vis-à-vis des deux espèces étudiées. Pour *Tribolium castaneum*, l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* a présenté le taux de répulsion le plus élevé avec 73,30 %, suivie de *Mentha piperita* (61,66 %) et de *Laurus nobilis* (54,58 %). Concernant *Lasioderma serricorne*, l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a enregistré le taux de répulsion le plus important avec 73,91 %, suivie de *Syzygium aromaticum* (72,75 %), tandis que *Mentha piperita* a présenté un taux de répulsion de 43,36 %. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité répulsive des huiles essentielles étudiées contre les insectes des denrées stockées. L'intensité de l'effet répulsif varie selon l'espèce végétale et l'insecte cible, ce qui suggère leur potentiel comme moyen naturel et respectueux de l'environnement dans la protection des produits stockés.

Mots-clés : Huiles essentielles, *Mentha piperita*, *Laurus nobilis*, *Syzygium aromaticum*, activité répulsive, *Lasioderma serricorne*, *Tribolium castaneum*, denrées stockées.

Abstract

The present study aims to evaluate the repellent activity of the essential oils of *Mentha piperita*, *Laurus nobilis*, and *Syzygium aromaticum*, collected from the El Tarf region, against adults of *Lasioderma serricorne* and *Tribolium castaneum*, two major pests of stored products. The essential oils were extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus. The yields obtained were 1.12% for *Mentha piperita*, 1.40% for *Laurus nobilis*, and 6.25% for *Syzygium aromaticum*. It should be noted that the yield of essential oils varies according to the nature and origin of the plant material used. According to the classification of McDonald et al. (1970), the results showed that the three essential oils exhibited repellent activity against both insect species studied. For *Tribolium castaneum*, the essential oil of *Syzygium aromaticum* showed the highest repellency rate (73.30%), followed by *Mentha piperita* (61.66%) and *Laurus nobilis* (54.58%). Regarding *Lasioderma serricorne*, the essential oil of *Laurus nobilis* recorded the highest repellency rate (73.91%), followed by *Syzygium aromaticum* (72.75%), whereas *Mentha piperita* exhibited a repellency rate of 43.36%. These results highlight the repellent effectiveness of the studied essential oils against stored-product insects. The intensity of the repellent effect varies according to both the plant species and the target insect, suggesting their potential as natural and environmentally friendly agents for the protection of stored products.

Keywords: Essential oils, *Mentha piperita*, *Laurus nobilis*, *Syzygium aromaticum*, repellent activity, *Lasioderma serricorne*, *Tribolium castaneum*, stored products.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط الطارد للزيوت الأساسية المستخلصة من نباتات النعناع الفلفلي (*Mentha piperita*) والغار (*Laurus nobilis*) والقرنفل (*Syzygium aromaticum*) ، التي جُمعت من منطقة الطارف، تجاه الحشرات البالغة من خنفساء السجائر (*Lasioderma serricorne*) وخنفساء الدقيق الحمراء (*Tribolium castaneum*) ، وهما من أهم آفات المواد الغذائية المخزنة. وقد تم استخراج الزيوت الأساسية بطريقة التقطير المائي باستعمال جهاز من نوع كليفنجر (Clevenger). بلغت مردودية الاستخلاص 1.12% بالنسبة لـ *Mentha piperita*، و1.40% بالنسبة لـ *Laurus nobilis*، و6.25% بالنسبة لـ *Syzygium aromaticum*. وتجدر الإشارة إلى أن مردودية الزيوت الأساسية تختلف باختلاف طبيعة وأصل المادة النباتية المستعملة. ووفقاً لتصنيف **McDonald وآخرين (1970)** أظهرت النتائج أن الزيوت الأساسية الثلاثة تمتلك نشاطاً طارداً تجاه النوعين المدروسين. بالنسبة لـ *Tribolium castaneum*، سجل الزيت الأساسي لـ *Syzygium aromaticum* أعلى نسبة طرد بلغت 73.30%، يليه *Mentha piperita* بنسبة 61.66%، ثم *Laurus nobilis* بنسبة 54.58%. أما بالنسبة لـ *Lasioderma serricorne*، فقد حقق الزيت الأساسي لـ *Laurus nobilis* أعلى نسبة طرد بلغت 73.91%، يليه *Syzygium aromaticum* بنسبة 72.75%، في حين سجل *Mentha piperita* نسبة طرد قدرها 43.36%. تُبرز هذه النتائج الفعالية الطاردة للزيوت الأساسية المدروسة ضد حشرات المواد المخزنة. كما تختلف شدة التأثير الطارد باختلاف النوع النباتي والحشرة المستهدفة، مما يشير إلى إمكانية كوسيلة طبيعية وصديقة للبيئة في حماية المنتجات المخزنة.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية، النعناع الفلفلي (*Mentha piperita*) ، الغار (*Laurus nobilis*) ، القرنفل (*Syzygium aromaticum*)، النشاط الطارد، *Lasioderma serricorne*، *Tribolium castaneum*، المواد الغذائية المخزنة.

Liste des photos

N° Photo	Titre	Page
01	Matériels utilisé au laboratoire pédagogique de chimie, au sein de la faculté SNV, UCBET.	31
02	Des échantillons d'adultes de <i>Tribolium castaneum</i>	31
03	Des échantillons d'adultes de <i>Lasioderma serricorne</i>	31
04	Hydro distillateur	35
05	Des tubes Eppendorf	35

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
01	Répartition géographique du <i>Lasioderma serricorne</i>	4
02	<i>Lasioderma serricorne</i>	5
03	Stade larvaire de <i>Lasioderma serricorne</i>	5
04	Le cycle biologique du <i>Lasioderma serricorne</i>	6
05	Répartition géographique de <i>T. castaneum</i> dans le monde	8
06	<i>Tribolium castaneum</i>	9
07	L'adulte de <i>Tribolium castaneum</i> (A : face dorsale, B : face ventrale)	9
08	Cycle biologique de <i>Tribolium castaneum</i>	10
09	La menthe poivrée.	12
10	Répartition géographique de la menthe poivrée	13
11	<i>Laurus nobilis</i>	14
12	Répartition géographique du <i>Laurus nobilis</i>	15
13	Clous de Girofle	16
14	Une carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde	17
15	Structures chimiques des principaux composants des huiles essentielles	24
16	Schéma du dispositif d'Hydrodistillation	25
17	Schéma de l'entraînement à la vapeur	26
18	Taux de répulsion (%) des trois huiles essentielles (<i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha piperita</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> vis-à-vis des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> en fonction de la dose.	41
19	Taux de répulsion (%) des trois huiles essentielles (<i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha piperita</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> vis-à-vis des adultes de <i>Lasioderma serricorne</i> en fonction de la dose.	44

Liste des tableaux

N° Tableau	Titre	Page
01	Pourcentage de répulsion selon le classement de McDonald et al., 1970.	37
02	Rendements d'extraction des huiles essentielles des trois plantes d'étude.	38
03	Effet répulsif des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha poivrée</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> sur les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> .	40
04	Effet répulsif des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha piperita</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> sur les adultes de <i>Lasioderma serricorne</i> .	43

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des photos

Liste des figures

Liste des tableaux

Table de matière

Introduction	01
---------------------------	-----------

Chapitre 01. Généralités sur *Lasioderma serricorne* et *Tribolium castaneum*

1.1. Origine et répartition géographique de <i>Lasioderma serricorne</i>	04
1.1.1. Classification	05
1.1.2. Description morphologique	05
1.1.3. Cycle biologique	06
1.1.4. Régime alimentaire et dégâts	06
1.1.5. Ennemis naturels	07
1.1.6. Méthodes de lutte	07
1.1.7. Importance économique	07
1.2. Origine et répartition géographique de l'espèce <i>Tribolium castaneum</i>	07
1.2.1. Position systématique	09
1.2.2. Description morphologique	09
1.2.3. Cycle biologique	10
1.2.4. Dégâts et importance économique	10
1.2.5. Méthodes de lutte	11

Chapitre 02. Généralité sur le matériel végétal utilisé

2.1.Description botanique de la menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i> L.)	12
2.1.1. Classification botanique	12
2.1.2. Origine et répartition géographique	12
2.1.3. Culture et multiplication	13
2.1.4. Composition chimique	13
2.2.Présentation générale de laurier noble (<i>Laurus nobilis</i> L.)	14
2.2.1. Description botanique	14
2.2.2. Classification botanique	14
2.2.3. Habitat et écologie	15
2.2.4. Répartition géographique	15
2.2.5. Composition chimique	16
2.3.Présentation générale de clou de girofle (<i>Syzygium aromaticum</i>)	16
2.3.1. Caractéristiques botaniques de la plante	16
2.3.2. Origine et répartition géographique	17
2.3.3. Position systématique.....	17
2.3.4. Composition chimique	18
2.3.5. Propriétés médicale	18

Chapitre 03. Généralité sur les huiles essentielles

3.1.Définition des huiles essentielles.....	20
3.2.Localisation et rôles des huiles essentielles chez les végétaux	20
3.3.Rôles biologiques et écologiques	21
3.4.Propriétés physiques	21
3.5.Propriétés chimiques.....	22
3.6.Composition chimique	22
3.6.1. Les terpènes	22
3.6.2. Les composés aromatiques.....	23
3.6.3. Les composés d'origines diverses	24
3.7.Méthodes d'extraction	24
3.7.1. Hydrodistillation	25

3.7.2. Entraînement à la vapeur d'eau (Distillation à la vapeur)	25
3.7.3. Hydrodiffusion.....	26
3.7.4. Expression à froid	26
3.7.5. Extraction par fluide supercritique (SFE)	26
3.7.6. Enflourage et Macération L'enflourage	27
3.8.Activités biologiques des huiles essentielles.....	27
3.8.1. Activité antibactérienne	27
3.8.2. Activité anti-infectieuse (Antiseptique)	27
3.8.3. Activité antifongique Face à la problématique croissante des infections fongiques et de la résistance aux antibiotiques	27
3.8.4. Activité anti-radicalaire et antioxydante	28
3.9.Action insecticide	28
3.9.1. Modes d'action des huiles essentielles sur les insectes	28

Chapitre 04. Matériels et Méthodes

4.1.Matériel de laboratoire utilisé	30
4.2.Matériel biologique.....	31
4.2.1. Présentation des insectes ravageurs étudiés	31
4.2.2. Présentation des espèces végétales utilisées.....	32
4.2.2.1.Présentation scientifique de <i>Laurus nobilis</i> (rend / laurier)	32
4.2.2.2.Présentation scientifique de <i>Mentha piperita</i> (menthe poivrée)	32
4.2.2.3.Présentation scientifique de clou de girofle (<i>Syzygium aromaticum</i>)	33
4.2.3. Huiles essentielles.....	33
4.3.Méthodes de travail.....	34
4.3.1. Élevage de masse des insectes.....	34
4.3.2. Extraction et rendement des huiles essentielles.....	34
4.3.2.1. Méthodes d'extraction.....	34
4.3.2.2.Calcul du rendement de l'huile essentielle.....	35
4.3.3. Test de répulsion des huiles essentielles	36
4.3.3.1.Le pourcentage et le classement de répulsion	36

Résultats et Discussion

5.1. Le rendement de l'extraction en huiles essentielles	38
5.1.1. Laurier noble (<i>Lauru snobilis</i>)	38
5.1.2. Menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i>)	39
5.1.3. Clou de girofle (<i>Syzygium aromaticum</i>)	39
5.2. Évaluation de l'effet des huiles essentielles par répulsion.....	40
5.2.1. Effet répulsif des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha poivrée</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> à l'égard des adultes de <i>Tribolium castaneum</i>	40
5.2.2. Effet répulsif des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> , <i>Mentha poivrée</i> et <i>Syzygium aromaticum</i> à l'égard des adultes de <i>Lasioderma serricorne</i>	43
Conclusion	48

Références bibliographiques

INTRODUCTION

Introduction

La conservation efficace des grains, des céréales et de leurs dérivés constitue un enjeu géopolitique et économique majeur pour l'approvisionnement alimentaire mondial **(Elbrense et al., 2022)**. Ces ressources de base sont vitales pour la subsistance humaine. Parallèlement, la culture des légumineuses vivrières s'impose comme l'une des solutions les plus économiques et durables pour répondre aux besoins nutritionnels des populations, particulièrement dans les pays en développement **(Soltner, 1990)**.

En Algérie, la filière céréalière occupe une place stratégique, illustrée par une consommation de blé qui s'élevait déjà à 201 kg par habitant en 2003 **(Djaouti, 2010)**. Cependant, les rendements nationaux restent limités par une instabilité chronique de la productivité. Cette situation découle de la vulnérabilité des cultures aux contraintes abiotiques (stress thermiques, sécheresse, dégradation des sols) et biotiques (maladies, bioagresseurs) **(Geerts et al., 2011)**, un phénomène accentué par le manque de variétés locales résistantes ou tolérantes.

Afin de pallier ces fluctuations de production et d'assurer un approvisionnement régulier du marché, le stockage à court et à long terme est devenu une étape indispensable de la régulation économique. Toutefois, durant cette période d'entreposage, les grains sont exposés aux attaques de divers nuisibles (rongeurs, champignons, acariens et insectes). Parmi eux, les coléoptères et les lépidoptères causent les dommages les plus sévères **(Delobel, 1993 ; Fleurat-Lessard, 1994)**, entraînant une dépréciation à la fois quantitative et qualitative des denrées **(Gwinner et al., 1996)**.

Parmi les insectes ravageurs les plus redoutables en milieu stocké figurent *Tribolium castaneum* (Herbst) et *Lasioderma serricorne* (Fabricius). Leur prolifération est largement favorisée par les conditions microclimatiques des structures de stockage. Au-delà des pertes de biomasse, les adultes de ces espèces sécrètent des substances chimiques, notamment des quinones, qui s'avèrent irritantes pour l'Homme, altèrent les propriétés organoleptiques (odeur et coloration) des aliments et peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux en cas d'ingestion **(Roger, 2002)**. De plus, certains de ces ravageurs initient leurs dégâts dès la maturation des graines au champ et poursuivent leur dynamique destructrice au sein des entrepôts **(Pruthi et Singh, 1950)**.

INTRODUCTION

Pour endiguer ces fléaux, l'usage des pesticides chimiques de synthèse demeure la méthode de lutte la plus répandue. Néanmoins, cette approche intensive montre aujourd'hui de graves limites en raison de ses impacts délétères sur la santé publique, de la rémanence des résidus dans la chaîne alimentaire et de la pollution environnementale (**Isman, 2005 ; Carlos, 2006**). De surcroît, la pression de sélection exercée par ces molécules chimiques induit le développement rapide de phénomènes de résistance chez les populations d'insectes cible.

Face à ces contraintes, la recherche scientifique s'oriente activement vers le développement d'alternatives écologiques et durables, parmi lesquelles les biopesticides d'origine végétale occupent une place de choix (**Camara et al., 2009**). À cet égard, les huiles essentielles (HE) représentent une solution particulièrement prometteuse. Déjà largement exploitées en aromathérapie, pharmacie, parfumerie et cosmétique, ces substances volatiles possèdent un large spectre d'activités biologiques (insecticide, répulsive, ovicide) (**Cimangaet al., 2002**). Au cours des dernières décennies, de nombreux travaux ont ainsi mis en évidence leur efficacité concrète dans la préservation des denrées stockées contre les insectes inféodés (**Shaaya et al., 1997 ; Kellouche et Soltani, 2004**).

C'est dans ce contexte global que s'inscrit notre travail de recherche. Cette étude vise à évaluer le potentiel répulsif des huiles essentielles extraites de trois plantes aromatiques récoltées dans la wilaya d'El Tarf : le laurier noble (*Laurus nobilis*), la menthe poivrée (*Mentha piperita*) et le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*). Le choix de cette région du nord-est de l'Algérie se justifie par sa riche biodiversité floristique et son rôle agro-économique crucial. Les propriétés de ces extraits ont été testées vis-à-vis de deux modèles biologiques majeurs : *T. castaneum* et *L. serricornis*.

L'objectif ultime de ce mémoire est de proposer une méthode alternative de lutte raisonnée, biosourcée et respectueuse de l'environnement, applicable dans les entrepôts de stockage de céréales. Pour ce faire, notre travail s'articule autour de trois grands axes :

- **La première partie** dresse une synthèse bibliographique de l'état des connaissances sur la bio-écologie de *T. castaneum* et de *L. serricornis*, ainsi que sur les caractéristiques botaniques et chimiques des trois plantes d'intérêt (*L. nobilis*, *M. piperita* et *S. aromaticum*).

INTRODUCTION

- **La deuxième partie** décrit le matériel biologique utilisé et détaille le protocole expérimental mis en œuvre pour l'extraction des huiles essentielles et la réalisation des tests de répulsion.
- **La troisième partie** est consacrée à la présentation des résultats obtenus, suivie d'une discussion approfondie à la lumière de la littérature scientifique actuelle.

Enfin, une conclusion générale synthétisera les principaux apports de ce travail et ouvrira des perspectives quant à l'application pratique de ces essences végétales à plus grande échelle.

CHAPITRE I :
Généralités sur Lasioderma serricorne
et Tribolium castaneum

Chapitre 01. Généralités sur *Lasioderma serricorne* et *Tribolium castaneum*

1.1. Origine et répartition géographique de *Lasioderma serricorne*

Lasioderma serricorne, communément appelé vrillette du tabac, est un coléoptère appartenant à la famille des Anobiidae. Cet insecte, de petite taille (2 à 3 mm), constitue un ravageur majeur des marchandises distribuées. L'origine de *L. serricorne* est généralement attribuée aux régions tropicales du continent américain, où les conditions climatiques ont favorisé son développement initial **(Rees, 2004)**. Avec l'intensification des échanges commerciaux internationaux, notamment du tabac et des produits secs, cette espèce s'est progressivement disséminée à l'échelle mondiale. Sa capacité de vol ainsi que son adaptation aux environnements confinés facilitent sa dispersion **(Hill, 2002)**.

Actuellement, *L. serricorne* présente une distribution cosmopolite. L'espèce est largement répandue dans les régions tropicales et subtropicales, où elle peut se développer tout au long de l'année **(Rees, 2004)**. Dans les régions tempérées, sa présence est principalement associée aux environnements chauffés tels que les habitations, entrepôts et industries agroalimentaires **(Hill, 2002)**.



Figure 01 : Répartition géographique du *Lasioderma serricorne*

1.1.1. Classification : Sa position systématique selon **Fabricius (1792)** est la suivante :

- **Règne :** Animalia
- **Embranchement :** Arthropodes
- **Classe :** Insectes
- **Ordre :** Coléoptères
- **Famille :** Anobiidae
- **Genre :** *Lasioderma*
- **Espèce :** *Lasioderma serricorne*



Figure 02 : *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792).

1.1.2. Description morphologique

L'adulte de *Lasioderma serricorne* mesure généralement entre 2 et 3mm de longueur. Il possède un corps ovale et convexe de couleur brun rougeâtre. Les antennes sont dentées en forme de scie et les élytres sont lisses et finement ponctués (Rees, 2004). La larve (fig 03) est blanchâtre, arquée en forme de « C » et peut atteindre 4 à 5 mm au dernier stade larvaire. Elle représente le stade le plus destructeur des denrées distribuées (Hill, 2002).



Figure 03 : Stade larvaire de *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792).

Les œufs sont de forme oblongue, blanchâtres, tandis que la nymphe est de type exarate et évolue progressivement vers une coloration brunâtre avant l'émergence de l'adulte.

1.1.3. Cycle biologique

Lasioderma serricorne est un insecte holométabole dont le cycle biologique comprend quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte. La durée du développement dépend principalement de la température et de l'humidité relative. Dans des conditions optimales (30–35 °C et 70 % d'humidité relative), le cycle peut être complété en 25 à 30 jours (Rees, 2004).

Après l'accouplement, la femelle pond entre 40 et 100 œufs directement sur les substrats alimentaires. Les larves éclosent après quelques jours et se nourrissent activement des denrées distribuées. Avant la nymphose, elles construisent un cocon protecteur constitué de débris alimentaires (Hill, 2002).

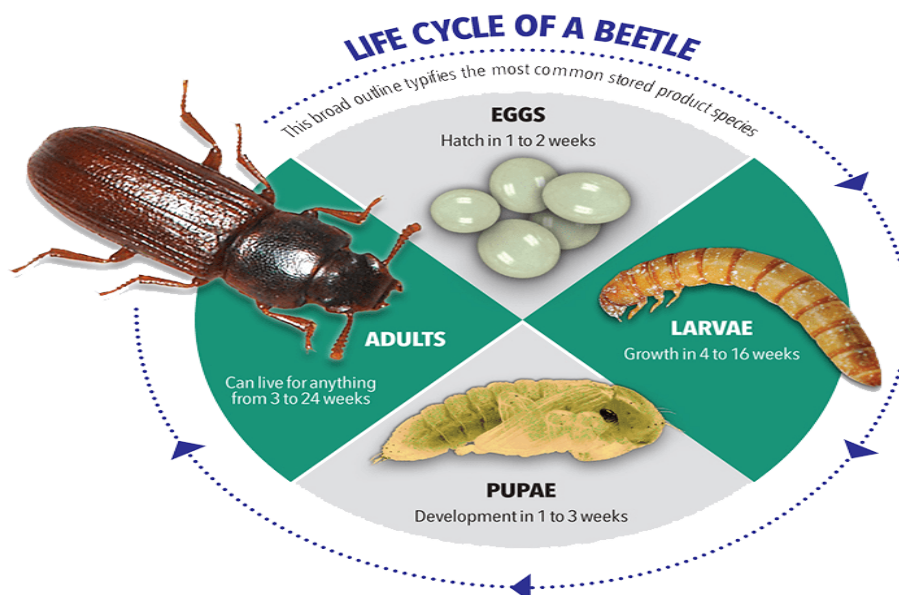


Figure 04 : Le cycle biologique du *Lasioderma serricorne* (Myers et Hagstrum, 2012).

1.1.4. Régime alimentaire et dégâts

Lasioderma serricorne est un insecte polyphage attaquant principalement les produits végétaux secs tels que le tabac, les céréales, les épices et les fruits secs (Hill, 2002 ; Rees, 2004). Les larves constituent le stade le plus nuisible. Elles creusent des galeries dans les fournitures stockées, entraînant une dégradation physique importante ainsi qu'une

contamination par les déjections, les cocons et les cadavres d'insectes. Ces infestations entraînent des pertes quantitatives et qualitatives importantes et rendent les produits impropres à la consommation ou à la commercialisation.

1.1.5. Ennemis naturels

Plusieurs parasitoïdes et prédateurs naturels participent à la régulation des populations de *L. serricorne*, notamment *Anisopteromalus calandrae* et *Lariophagus distinguendus* (Rees, 2004). Cependant, leur efficacité demeure limitée en conditions réelles de stockage.

1.1.6. Méthodes de lutte

La lutte contre *Lasioderma serricorne* repose sur une stratégie intégrée combinant des méthodes préventives, physiques, biologiques et chimiques (Hill, 2002 ; Rees, 2004). Les mesures préventives incluent l'assainissement des locaux, le stockage hermétique des denrées et le contrôle de la température et de l'humidité. Les traitements physiques, notamment le froid et la chaleur, permettent d'éliminer efficacement les différents stades de développement.

La lutte chimique repose principalement sur la fumigation à la phosphine, bien que des phénomènes de résistance aient été signalés. Par ailleurs, les huiles essentielles et extraits végétaux représentent une alternative prometteuse grâce à leurs propriétés répulsives et insecticides (Isman, 2006 ; Regnault-Roger et al., 2012).

1.1.7. Importance économique

Lasioderma serricorne représente un ravageur majeur des disponibilités distribuées, entraînant d'importantes pertes économiques dans les secteurs agroalimentaires et du tabac. Les infestations entraînent une dégradation de la qualité des produits, une diminution de leur valeur commerciale ainsi que des coûts supplémentaires liés aux traitements et au stockage (Hill, 2002 ; Rees, 2004).

1.2. Origine et répartition géographique de l'espèce *Tribolium castaneum*

Tribo, communément appelé tribolium rouge de la farine, est un coléoptère appartenant à la famille des Tenebrionidae. Il constitue l'un des principaux ravageurs secondaires des denrées stockées, notamment les produits céréaliers transformés (Rees, 1996 ; Nenaah,

2014). Cette espèce est largement répandue dans les zones de stockage des céréales, farines et produits dérivés, où les larves et les adultes provoquent d'importantes pertes qualitatives et quantitatives. *Tribolium castaneum* serait originaire du sud de l'Asie. Son association ancienne avec les denrées distribuées témoigne de sa remarquable adaptation aux environnements anthropisés(**Delobel et Tran, 1993**).

Actuellement, l'espèce présente une distribution cosmopolite et se retrouve dans la majorité des zones de stockage des céréales et farines. Son développement est particulièrement favorisé dans les régions tropicales et les environnements chauffés des zones tempérées (**Christine, 2001**). Plusieurs populations présentent aujourd'hui une résistance importante à différents insecticides, notamment aux fumigants et insecticides de contact (**Delobel et Tran, 1993**).



Figure 05 : Répartition géographique de *T. castaneum* dans le monde (Christine, 2001)

1.2.1. Position systématique : selon **Roth (1980)** est la suivante :

- **Règne :**Animalia
- **Embranchement :** Arthropodes
- **Classe :** Insectes
- **Ordre :** Coléoptères
- **Famille :**Tenebrionidae
- **Genre :***Tribolium*
- **Espèce :***Tribolium castaneum*



Figure 06: *Tribolium castaneum*

1.2.2. Description morphologique

L'adulte de *Tribolium castaneum* mesure entre 3 et 4mm de longueur et présente une coloration brun rougeâtre uniforme. Le corps est allongé et les trois derniers articles antennes forment une masse caractéristique (**Christine, 2001**). La larve est de couleur jaune clair et peut atteindre environ 6mm à maturité. Les œufs sont blanchâtres et recouverts d'une substance collante facilitant leur adhésion au substrat (**Camara, 2009**). La nymphe est de couleur blanchâtre à jaunâtre et présente deux petites épines à l'extrémité abdominale.

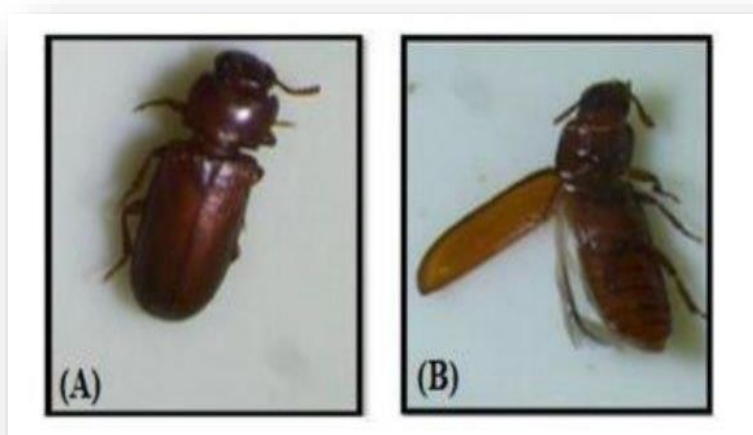


Figure 07 : L'adulte de *Tribolium castaneum* (A : face dorsale, B : face ventrale), (**Kechaoui et Mekdoud, 2022**).

1.2.3. Cycle biologique

Le développement de *Tribolium castaneum* est de type holométabole et comprend quatre (figure 08) œuf, larve, nymphe et adulte. La femelle pond plusieurs centaines d'œufs directement sur les denrées distribuées. Le développement de l'espèce dépend fortement de la température, de l'humidité et de la qualité du substrat alimentaire. Dans des conditions optimales (30–35 °C et 70 % d'humidité relative), le cycle complet peut être réalisé en 23 à 28 jours (Kassimi, 2014). Les larves représentent le stade le plus actif sur le plan alimentaire et provoquent l'essentiel des dégâts dans les denrées stockées (Godon et Willim, 1998).

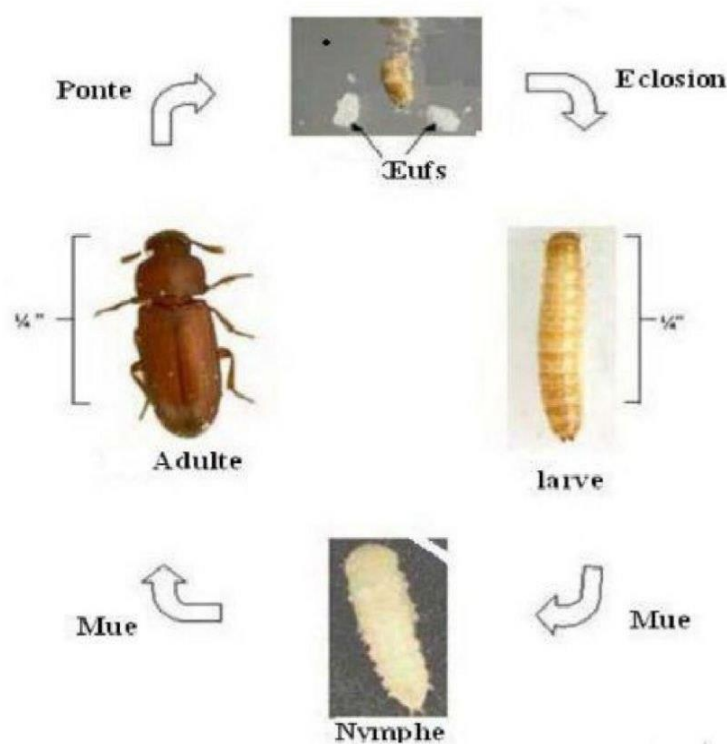


Figure 08 : Cycle biologique de *Tribolium castaneum* (Kechaoui & Mekdoud, 2022).

1.2.4. Dégâts et importance économique

Tribolium castaneum attaque principalement les céréales, les farines, les fruits secs et diverses fournitures distribuées (Campbell & Runnion, 2003). Les infestations entraînent une dégradation importante de la qualité des produits par la présence de déjections, d'exuvies et de cadavres d'insectes. Les adultes et les larves produisent

également des substances responsables d'une odeur désagréable et d'une altération des propriétés organoleptiques des denrées (**Gatel, 2003 ; Christine, 2001**). Ces contaminations provoquent une diminution importante de la valeur commerciale des produits stockés.

1.2.5. Méthodes de lutte

La lutte contre *Tribolium castaneum* repose sur des méthodes préventives, physiques, chimiques et biologiques. La fumigation à base de phosphine demeure l'une des principales méthodes utilisées dans les structures de stockage, bien que des phénomènes de résistance aient été observés (**Gueye et al., 2011**). Par ailleurs, les biopesticides végétaux et les huiles essentielles représentent des alternatives prometteuses grâce à leurs propriétés répulsives et insecticides (**Isman, 2000**).

CHAPITRE II :
Généralités sur le matériel végétal
utilisé

Chapitre 02. Généralités sur le matériel végétal utilisé

2.1. Description botanique de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.)

La menthe poivrée *Mentha piperita* (L.) est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Lamiaceae. Elle possède un rhizome rampant et traçant ainsi qu'une tige quadrangulaire dressée ou ascendante pouvant atteindre 50 à 80 cm de hauteur. Les feuilles constituent l'organe principal de synthèse de l'huile essentielle. Elles sont opposées, ovales-lancéolées, dentées et portées par un court pétiole. Leur surface est riche en trichomes sécréteurs contenant les substances aromatiques volatiles (**Benayad, 2008 ; Idrissi, 1982**). Les fleurs sont de couleur violacée et regroupées en épis terminaux. Le fruit est un tétrakène entouré d'un calice persistant. La plante dégage une odeur puissante et caractéristique accompagnée d'une saveur fraîche et piquante (**Benayad, 2008 ; Jahandiez et Maire, 1932**).

2.1.1. Classification botanique : La classification botanique de la menthe poivrée est la suivante :

- **Règne :** Plantae
- **Division :** Magnoliophyta
- **Classe :** Magnoliopsida
- **Ordre :** Lamiales
- **Famille :** Lamiaceae
- **Genre :** *Mentha*
- **Espèce :** *Mentha × piperita* L.



Figure 09 : La menthe poivrée [pngree.com].

La menthe poivrée est également connue sous les noms de menthe anglaise, peppermint ou Mitcham.

2.1.2. Origine et répartition géographique

La menthe poivrée est un hybride cultivé dont l'origine probable remonte à l'Angleterre et aux régions méditerranéennes (**François, 2012**). Les principaux pays producteurs sont les États-Unis et l'Inde. Elle est également cultivée en Europe, notamment en France, au Canada, au Chili, en Argentine ainsi que dans plusieurs pays africains tels que le Maroc, le Kenya et la Tanzanie. Cette large répartition géographique est liée à son importance économique et à ses nombreuses applications dans les domaines pharmaceutique, alimentaire et cosmétique.



Figure 10 : Répartition géographique de la menthe poivrée

2.1.3. Culture et multiplication

La menthe poivrée s'adapte à différents types de sols, mais elle préfère les sols riches en humus, frais et bien drainés. Étant un hybride stérile, sa multiplication est exclusivement végétative. Elle s'effectue principalement par division des rhizomes ou par l'utilisation de stolons. La récolte est généralement réalisée juste avant la floraison, période où la teneur en huile essentielle est maximale. Après récolte, les feuilles sont rapidement séchées à une température inférieure à 42°C afin de préserver les composés volatils. Les feuilles séchées doivent être conservées dans des récipients hermétiques à l'abri de la chaleur, de l'humidité et de la lumière (**Eberhard et al., 2005**).

2.1.4. Composition chimique

La menthe poivrée possède une composition chimique complexe dominée par l'huile essentielle ainsi que par différents métabolites secondaires. Son huile essentielle contient principalement des composés terpéniques tels que le menthol, la menthone, le mentho furane, le limonène et le 1,8-cinéole. La plante renferme également des flavonoïdes, des tanins et divers composés phénoliques responsables de plusieurs propriétés biologiques. La composition chimique peut varier selon les conditions climatiques, l'origine géographique et les méthodes de culture.

2.2. Présentation générale de laurier noble (*Laurus nobilis* L.)

Le laurier noble (*Laurus nobilis* L.) appartient à la famille des Lauraceae, une famille botanique comprenant plusieurs espèces aromatiques riches en huiles essentielles (**Barla et al., 2007**). Depuis l'Antiquité grecque et romaine, cette plante est utilisée comme épice et comme plante médicinale en raison de ses propriétés thérapeutiques et aromatiques (**Demir et al., 2004**). Les recherches récentes montrent que le laurier noble possède également des propriétés biologiques et biochimiques importantes qui lui confèrent un intérêt dans les domaines pharmaceutique et biotechnologique (**Ferreira et al., 2006**).

2.2.1. Description botanique

Le laurier noble est un arbuste ou un petit arbre à croissance lente pouvant atteindre 2 à 10 mètres de hauteur. Les jeunes rameaux sont glabres et de couleur brun rougeâtre. L'écorce est grisâtre à la base du tronc et devient plus verte sur les parties supérieures (**Geerts et al., 2002 ; Demir et al., 2004**). Les feuilles sont persistantes, alternes, coriaces et de couleur vert foncé. Elles sont allongées à lancéolées et riches en glandes sécrétrices contenant l'huile essentielle (**Lobstein et al., 2017**). Les fleurs sont petites, odorantes et de couleur blanchâtre à jaunâtre. Elles apparaissent à la fin du printemps et sont regroupées en petites ombelles axillaires (**Beloued, 2001**). Les fruits sont des baies charnues de type drupe dont la couleur évolue du vert au noir à maturité (**Alejo-Armijo et al., 2017**).

2.2.2. Classification botanique : La classification botanique du laurier noble est la suivante (**Quezel et Santa, 1962**) :

- **Règne** : Végétal
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Ordre** : Laurales
- **Famille** : Lauraceae
- **Genre** : *Laurus*
- **Espèce** : *Laurus nobilis*



Figure 11 : *Laurus nobilis*

2.2.3. Habitat et écologie

Le laurier noble est une espèce méditerranéenne sempervirente caractérisée par une croissance relativement lente (**Alejo-Armijo et al., 2017**). Il se développe principalement dans les régions humides et tempérées et préfère les sols fertiles, riches en humus et bien drainés (**Iserin, 2001**). Cette espèce supporte difficilement les températures inférieures à -5°C ainsi que les périodes prolongées de sécheresse. Elle nécessite une humidité relativement constante pour assurer un développement optimal (**Teuscher et al., 2005**). Grâce à son système racinaire développé, le laurier noble peut s'adapter à plusieurs types de sols à l'exception des sols fortement acides.

2.2.4. Répartition géographique

Le laurier noble est largement réparti dans les régions tempérées et subtropicales. Il constitue une espèce caractéristique du bassin méditerranéen et de l'Europe méridionale (**Sage, 2012**). En Algérie, l'espèce pousse naturellement dans les régions du Tell algérien et du Constantinois où les conditions bioclimatiques sont favorables à son développement (**Beloued, 2001 ; Maatallah et al., 2016**). Le laurier noble est également cultivé dans plusieurs pays tels que la Turquie, le Maroc, l'Espagne, l'Italie, la France et le Mexique pour l'exploitation de ses feuilles aromatiques et de son huile essentielle.

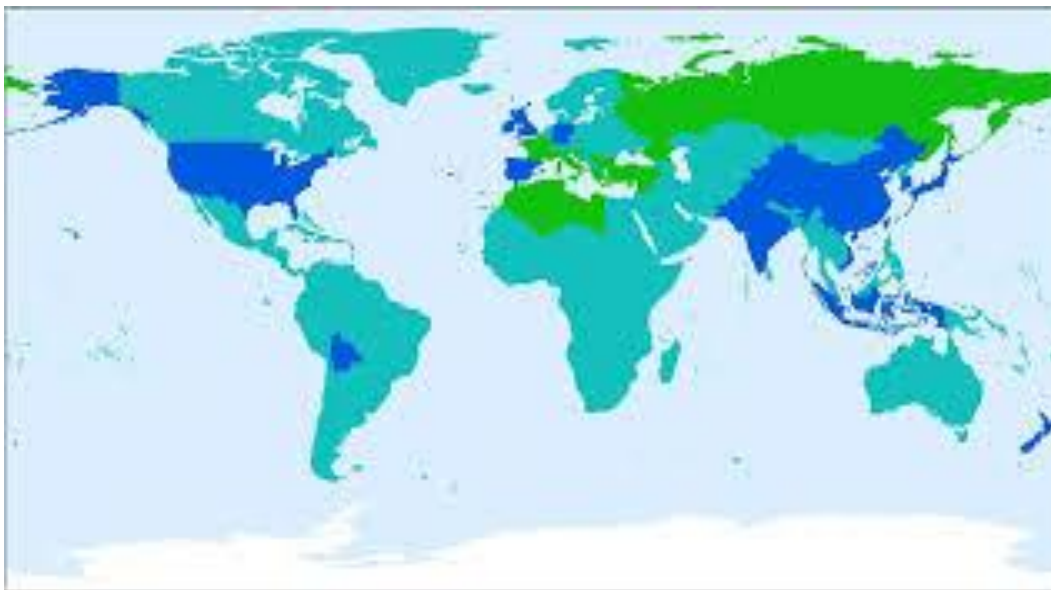


Figure 12 : Répartition géographique du *Laurus nobilis*

2.2.5. Composition chimique

Le laurier noble possède une composition biochimique riche en métabolites secondaires. Son huile essentielle contient principalement le 1,8-cinéole, le linalol, l'eugénol, le sabinène et l' α -terpinéol. Les feuilles et les fruits renferment également des flavonoïdes, des tanins et plusieurs composés phénoliques responsables de nombreuses propriétés biologiques. La composition chimique varie selon l'origine géographique, les conditions climatiques et l'organe végétal étudié.

3. Présentation générale de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

2.3.1. Caractéristiques botaniques de la plante

Le giroflier est un grand arbre au tronc gris clair de 12 à 15 mètres de hauteur pouvant atteindre jusqu'à 20 mètres de haut. Il présente un port érigé et pyramidal. Son feuillage est aromatique, coriace, persistant vert sombre et vernissé au revers plus clair (**Rakotoatimanana et al., 1999**). Ces clous sont récoltés, après 6 à 8 ans de culture de l'arbre, 2 fois par an. Ce sont des boutons auxquels on ôte le pédicelle manuellement et que l'on met sécher au soleil jusqu'à ce qu'ils deviennent brun rouge (**Koroch et al., 2007**).

Position systématique :

Selon Barbelet (2015), *S. aromaticum* occupe la position systématique suivante :

- Règne : Plantae

- Classe: Angiosperma
- Sous-classe: Tipora
- Ordre: Myrtales
- Famille: Myrtaceae
- Genre: Syzygium
- Espèce: Syzygium aromaticum (L.) Merr. & L.M.Perry, (1939).



Figure 12 : Clous de Girofle (Anonyme 2, 2021)

2.3.2. Origine et répartition géographique

Les clous de girofle sont originaires des îles Maluku (également connues sous le nom de "îles aux épices") en Indonésie. Ils sont utilisés comme épice depuis des milliers d'années et étaient très appréciés dans l'Antiquité pour leurs propriétés médicinales et culinaires (**Turner, 2004**). Les premiers enregistrements écrits de clous de girofle proviennent de textes chinois du troisième siècle avant notre ère. Au Moyen Âge, les clous de girofle étaient commercialisés par les marchands arabes le long de la route des épices vers l'Europe, où ils sont devenus un produit de luxe populaire et coûteux (**Keay, 2005**).

Aujourd'hui, les clous de girofle sont cultivés dans de nombreuses régions du monde, notamment en Indonésie, au Sri Lanka, en Inde et dans certaines régions d'Afrique et d'Amérique du Sud.

Clou de girofle : une épice au rôle unique dans l'histoire et la santé (**T. Shafiet al, 2016**).

Le giroflier, qui trouve ses origines à Madagascar, est aussi cultivé en Indonésie et en Tanzanie. On a souvent reproché aux clous de girofle américains d'être de moindre qualité en raison de leur contenu en huile essentielle moins élevé (Alice, 2011).

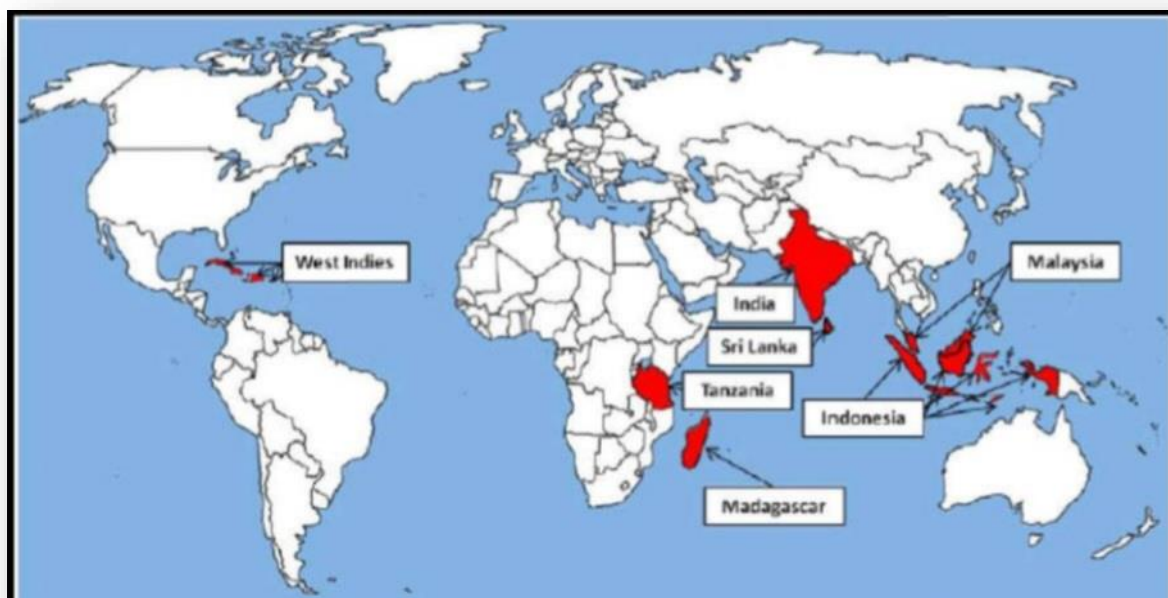


Figure 14 : Une carte géographique des principaux producteurs de clou de girofle au monde

2.3.3. Composition chimique

D'après la pharmacopée européenne, l'huile essentielle de giroflier est un liquide limpide, jaune foncé virant au brun-noir lorsqu'il est exposé à l'air. Elle possède une odeur caractéristique d'eugénol (Vele helene, 2015). La composition de l'huile essentielle de clou de girofle varie en fonction de son origine, du climat et des pratiques agricoles (Hamed, 2012).

L'huile essentielle extraite des boutons floraux contient 75 à 85 % d'eugénol (l'acétate d'eugényle) de 8 à 10%. Elle contient également des sesquiterpènes de 5 à 15% avec le caryophyllène, ainsi que des monoterpènes, monoterpénols, cétones, des oxydes et des acides sous forme de traces. Par contre l'huile essentielle extraite des feuilles du giroflier contient seulement 2 à 3% (Lamendin, 2004).

Celle des tiges (4 à 6%), l'huile essentielle renferme (6% de protéines, 20% de lipide...) (Leung, 1980).

2.3.4. Propriétés médicale

- **Stimulant général** : Indiqué en cas d'asthénie physique (impuissance, frigidité) ou intellectuelle (baisse de concentration).
- **Anti-infectieux puissant** : Efficace contre les affections bucco-dentaires (aphtes, abcès), ORL (angines, sinusites) et digestives (diarrhées).
- **Tonique utérin** : Stimule l'activité du myomètre pour faciliter l'accouchement (Vele, 2015).
- **Troubles digestifs** : Utilisé dans le traitement symptomatique des affections gastro-intestinales.
- **Odontalgique** : Employé pour soulager efficacement les douleurs dentaires.
- **Antioxydant** : Possède une forte activité antioxydante par le piégeage des radicaux libres (Dorman et *al.*, 2000).

CHAPITRE III :
Généralités sur les huiles essentielles

Chapitre 03. Généralités sur les huiles essentielles

3.1.Définition des huiles essentielles

Selon **Couic-Marinier et Lobstein (2013)**, les huiles essentielles sont des liquides volatils et parfumés, dépourvus de substances grasses, extraits de végétaux. D'après le Dictionnaire Larousse (édition 2000), une « huile essentielle » est principalement constituée d'un assemblage de substances terpéniques issues du métabolisme secondaire des plantes. Ces dernières remplissent plusieurs fonctions biologiques, telles que la défense contre les herbivores ou l'action insecticide, et sont également à l'origine des fragrances florales exploitées dans l'industrie de la parfumerie.

D'après la Pharmacopée française (8ème édition, 1965), une huile essentielle (également appelée essence ou huile volatile) est définie comme un produit complexe renfermant les principes volatils des plantes. Ces principes peuvent être plus ou moins altérés au cours du processus d'extraction. Bien que plusieurs méthodes existent, seules deux sont officiellement reconnues pour l'obtention des essences végétales : la distillation à la vapeur d'eau des plantes (ou de leurs parties spécifiques) et la méthode d'expression à froid (**Wichtl & Anton, 2003**).

3.2.Localisation et rôles des huiles essentielles chez les végétaux

D'une manière générale, la majorité des plantes possède la capacité de synthétiser des composés volatils, bien que ce soit souvent en quantités infimes. Seules environ 10 % des espèces végétales sont qualifiées de « plantes aromatiques ». La faculté d'accumuler ces huiles essentielles est une caractéristique distinctive de certaines familles botaniques réparties à travers le règne végétal (**Spichiger, 2002**). Selon **Black (1997)**, la synthèse et l'accumulation de ces essences s'effectuent au sein de structures histologiques spécialisées, dont la nature varie selon la famille de la plante. Ces structures sont classées en deux catégories :

- **Les sites exogènes** : situés à la surface des organes végétaux (ex: poils sécréteurs ou trichomes, cellules épidermiques).
- **Les sites endogènes** : situés à l'intérieur des tissus (ex: cellules sécrétrices internes), canaux sécréteurs ou poches sécrétrices

3.3.Rôles biologiques et écologiques

Les plantes produisent des huiles essentielles via le métabolisme secondaire, agissant principalement comme des mécanismes de communication et de défense. Elles jouent un rôle primordial dans la protection des végétaux contre les herbivores et les agents infectieux (propriétés antibactériennes et antifongiques), tout en favorisant la reproduction par l'attraction des pollinisateurs. Elles participent également à la thermorégulation, permettant à la plante de mieux résister à la chaleur (**Pavela et al., 2018**).

En outre, ces molécules agissent sur l'équilibre biologique de la plante. Sur le plan aromatique, elles définissent l'identité olfactive du végétal. Certains auteurs soulignent également leur influence sur les aspects physiologiques et émotionnels liés à la perception des odeurs, ainsi que leur interaction avec l'environnement ionique et énergétique de la plante.

3.4.Propriétés physiques

D'après **Bruneton EA(1999)**, les huiles essentielles partagent des caractéristiques physiques communes : elles sont volatiles, aromatiques et inflammables. À température ambiante, elles se présentent généralement sous forme de liquides transparents ou légèrement colorés (souvent dorés).

- **Densité** : En général, leur densité est inférieure à celle de l'eau ($d < 1$), à l'exception de quelques huiles essentielles comme celles de cannelle, de clou de girofle et de saffran ($d > 1$).
- **Solubilité** : Étant de nature lipophile, elles sont peu solubles dans l'eau. En revanche, elles se dissolvent aisément dans l'alcool, les huiles végétales et la plupart des solvants organiques.
- **Points d'ébullition** : Le point d'ébullition des huiles essentielles est toujours supérieur à 100°C et varie selon leur masse moléculaire. À titre d'exemple, les points d'ébullition du caryophyllène, du géraniol, du citral et de l' α -pinène sont respectivement de 260°C, 230°C, 228°C et 156°C. Selon **Valnet (1984)**, ces valeurs fluctuent généralement entre 160°C et 240°C.

- **Propriétés optiques** : Les huiles essentielles possèdent souvent un indice de réfraction élevé. Elles ont la capacité de dévier le plan de la lumière polarisée, ce qui les définit comme des substances optiquement actives (**Bruneton, 1999**).

3.5. Propriétés chimiques

Les huiles essentielles présentent une composition chimique d'une grande complexité, laquelle varie en fonction de nombreux facteurs (biotiques et abiotiques). Une connaissance précise de leurs constituants est indispensable, non seulement pour évaluer leur qualité et comprendre leurs propriétés biologiques, mais également pour prévenir d'éventuels risques de toxicité (**Couic-Marinier et Lobstein, 2013**).

La majorité de ces composants appartient à deux catégories distinctes, définies par leurs origines biogénétiques (**Drosso Sonate, 2002**) :

- **Le groupe des terpénoïdes** : issus de la voie du métabolisme de l'acide mévalonique (ex: monoterpènes, sesquiterpènes).
- **Le groupe des composés aromatiques (phénylpropanoïdes)** : dérivés de la voie de l'acide shikimique.

3.6. Composition chimique

Les huiles essentielles sont constituées de petites molécules volatiles appartenant principalement à la famille des terpénoïdes (ou terpènes). Ces molécules sont synthétisées à partir de l'isoprène. On y retrouve également des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (phénoliques) ainsi que divers autres constituants d'origines biogénétiques variées (**Labioud, 2016**).

3.6.1. Les terpènes

Selon **Hernandez-Ochoa (2005)**, les terpènes sont des hydrocarbures naturels dont la structure peut être cyclique ou linéaire. Leur unité de base est l'isoprène, une molécule à cinq atomes de carbone (C_5H_8). Ils sont classés selon le nombre d'unités isopréniques assemblées (**Figure 2-A**) :

- **Monoterpènes ($C_{10} H_{16}$)** : constitués de deux unités.

- **Sesquiterpènes (C 15 H 24)** : constitués de trois unités.
- **Diterpènes (C 20 H 32)** : constitués de quatre unités.
- **Tétraterpènes (C 40 H 64)** : comprenant huit unités (ex: caroténoïdes).
- **Polyterpènes (C 5 H 8)_n** : où n varie généralement entre 9 et 30.

Note : Les terpénoïdes sont des dérivés de terpènes possédant des fonctions chimiques oxygénées (alcools, aldéhydes, cétones, acides, etc.).

a. Les monoterpènes : Ce sont les constituants majoritaires des huiles essentielles (dépassant parfois 90 %). Très volatils, ils sont facilement entraînés par la vapeur d'eau. Ils se déclinent en trois structures :

- **Acycliques** : ex. myrcène, ocimène.
- **Monocycliques** : ex. terpinène, p-cymène.
- **Bicycliques** : ex. pinène, sabinène. On y trouve diverses fonctions : alcools (géraniol, menthol), aldéhydes (citronellal), cétones (carvone, menthone) et esters (acétate de linalyle).

b. Les sesquiterpènes : Ils représentent la catégorie la plus diversifiée avec plus de 3000 composés identifiés, tels que le β -caryophyllène, le β -bisabolène, l' α -humulène et le farnésol (**Bruneton, 1999 ; Hernandez-Ochoa, 2005**).

3.6.2. Les composés aromatiques

Moins fréquents que les terpènes, les composés aromatiques dérivent généralement de l'allyl- et du propénylphénol. Malgré leur rareté relative, ils jouent un rôle crucial dans les propriétés sensorielles. L'eugénol, par exemple, est responsable de l'odeur caractéristique du clou de girofle (**Ouïs, 2015**) (**Fig.13-B**).

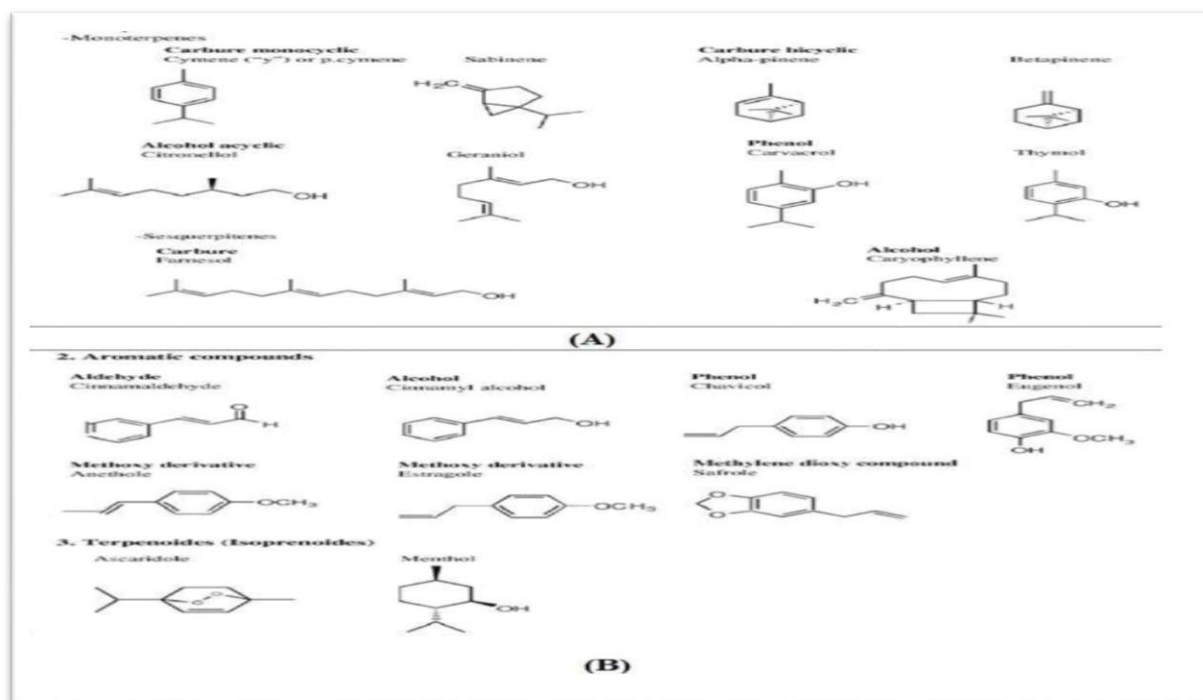


Figure 15 : Structures chimiques des principaux composants des huiles essentielles
(Guzman et Lucia, 2021)

3.6.3. Les composés d'origines diverses

Certains constituants des huiles essentielles ne sont pas synthétisés directement par les voies métaboliques classiques, mais résultent de la dégradation de molécules non volatiles. Ce processus peut découler de l'auto-oxydation de précurseurs tels que :

- **Les caroténoïdes :** dont la dégradation donne naissance à des composés comme la β -ionone.
- **Les acides gras :** notamment l'acide linoléique et l'acide α -linoléique. Leur décomposition (souvent par voie enzymatique ou oxydative) produit des molécules à chaîne courte telles que le 3-cis-hexénol (souvent associé à l'odeur d'herbe coupée) et le décanal (Piochon, 2008)

3.7.Méthodes d'extraction

Un large éventail de techniques est utilisé pour extraire les huiles essentielles, reflétant la diversité des matières premières et la sensibilité thermique de certains de leurs composants (Garnero, 1977). Parmi ces méthodes, nous citons :

3.7.1. Hydrodistillation

Le concept central consiste à immerger le matériel végétal directement dans une cuve remplie d'eau, puis à porter l'ensemble à ébullition. Les vapeurs générées sont ensuite condensées sur une surface froide (réfrigérant). La séparation de l'huile essentielle s'effectue naturellement par décantation en raison de la différence de densité entre l'huile et l'eau (**Bruneton, 1993**).

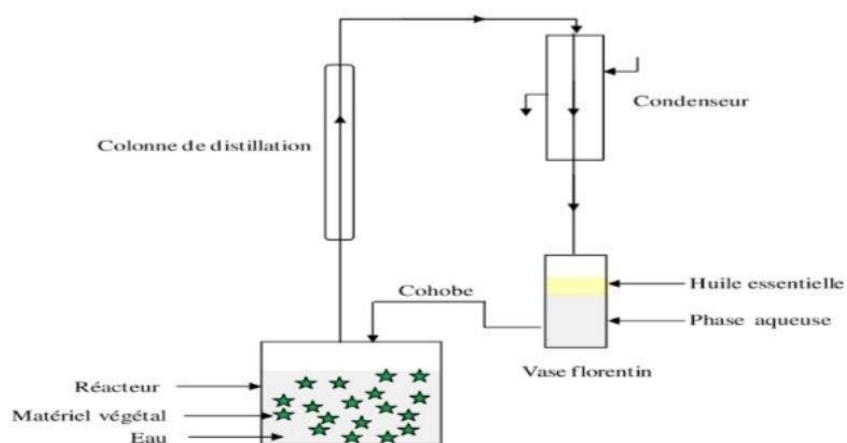


Figure 16 : Schéma du dispositif d'Hydrodistillation

3.7.2. Entraînement à la vapeur d'eau (Distillation à la vapeur)

Contrairement à l'hydrodistillation, le matériau végétal est disposé sur une grille perforée au-dessus du niveau de l'eau. La vapeur d'eau traverse le substrat, provoquant l'éclatement des structures sécrétrices et l'entraînement des composés volatils. Le mélange gazeux est ensuite condensé puis décanté (**Sawamura, 2009**).

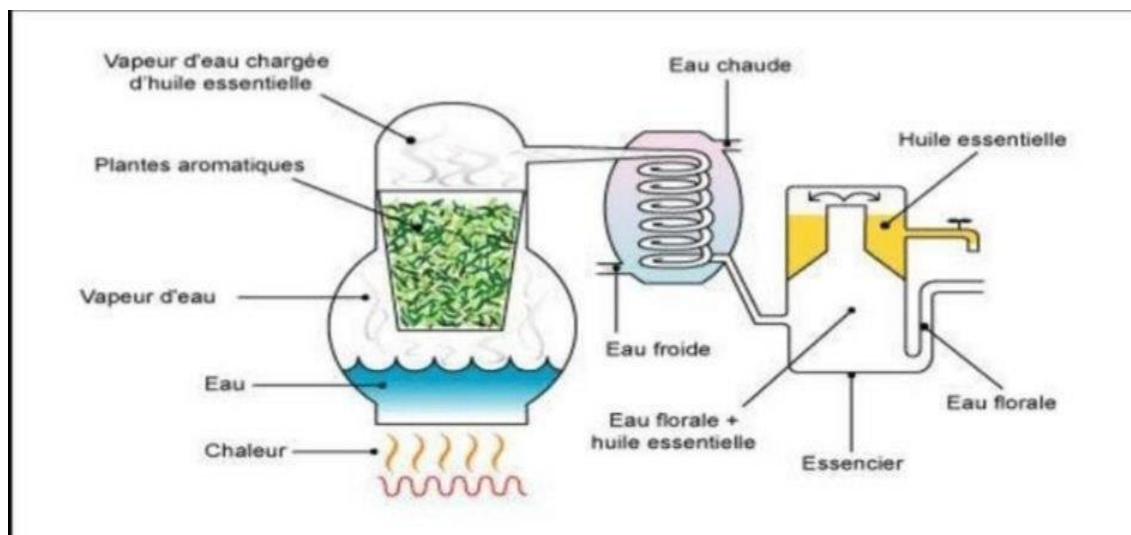


Figure 17 : Schéma de l'entraînement à la vapeur

3.7.3. Hydrodiffusion

L'hydrodiffusion est une variante de l'entraînement à la vapeur où le flux de vapeur circule de haut vers le bas (flux descendant). Cette technique exploite la gravité pour faciliter la séparation du mélange. Elle offre des avantages significatifs en termes de gain de temps et d'énergie, tout en évitant le contact prolongé du végétal avec l'eau bouillante (Lucchesi, 2005).

3.7.4. Expression à froid

Cette méthode est spécifiquement réservée aux agrumes (Péricarpes). Elle repose sur la rupture mécanique des poches à essence situées dans le zeste. L'huile libérée est ensuite séparée par décantation ou centrifugation. Cette technique « à froid » permet de préserver l'intégrité des molécules sensibles à la chaleur (Chaintreau et al., 2003).

3.7.5. Extraction par fluide supercritique (SFE)

C'est une méthode innovante qui utilise des solvants (principalement le CO₂) à des conditions de température et de pression dépassant leur point critique. Le fluide possède alors des propriétés intermédiaires entre un gaz (diffusion élevée) et un liquide (fort pouvoir solvant). C'est une méthode dite « verte », rapide, non toxique et permettant

d'obtenir des extraits d'une grande pureté sans résidus de solvants organiques (**Boukhatem et al., 2019**).

3.7.6. Enfleurage et Macération L'enfleurage

Consiste à saturer des corps gras (graisses neutres) avec le parfum des fleurs (ex: jasmin, violette). Il peut se faire à froid ou à chaud. La macération : Consiste à laisser le matériel végétal en contact prolongé avec un solvant (eau, huile ou alcool) afin d'en extraire les principes actifs (**Paris et Moyse, 1967**).

3.8. Activités biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont reconnues pour leur large spectre d'activités biologiques, attribué à la diversité de leurs composés chimiques.

3.8.1. Activité antibactérienne

L'efficacité antibactérienne des huiles essentielles varie selon leur composition. Les molécules phénoliques sont les plus actives, suivies des aldéhydes et des cétones (**Haddouchi & Benmansour**). À titre d'exemple, les huiles essentielles d'origan et de thym manifestent une activité supérieure contre des souches pathogènes telles qu'*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*. Cette efficacité est directement liée à leur richesse en phénols, notamment le thymol et le carvacrol (**Kaloustian et al., 2008**).

3.8.2. Activité anti-infectieuse (Antiseptique)

Contrairement aux antibiotiques, les antiseptiques issus des huiles essentielles exercent une action antimicrobienne rapide et non spécifique. Des travaux, comme ceux de **Lacoste et al. (1996)**, ont mis en évidence le fort pouvoir antiseptique des huiles de *Lippiasidoides*, une propriété également attribuée à la présence de thymol et de carvacrol.

3.8.3. Activité antifongique Face à la problématique croissante des infections fongiques et de la résistance aux antibiotiques

Les huiles essentielles offrent une alternative prometteuse. L'étude d'**El Ajjouri et al. (2008)** sur *Thymus bleicherinus* et *Thymus capitatus* a démontré une action antifongique

notable contre les champignons responsables de la pourriture du bois. Ce bio-pouvoir est corrélé à la haute concentration en phénols terpéniques.

3.8.4. Activité anti-radicalaire et antioxydante

Les huiles essentielles possèdent des propriétés antioxydantes capables de piéger les radicaux libres et d'inhiber la peroxydation des lipides. Ces propriétés sont évaluées par diverses méthodes, telles que le test au DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl) ou la décoloration du β -carotène. Cette activité est intrinsèquement liée à la composition chimique spécifique de chaque plante aromatique (**Bouzouita et al., 2008**).

3.9. Action insecticide

Le potentiel insecticide des huiles essentielles se manifeste par des effets larvicides, des inhibitions de croissance ou des effets anti-appétants (anti-nourrissants). **Kouassi et al. (2004)** ont révélé l'efficacité des huiles de *Melaleuca quinquenervia* et *Ocimum gratissimum* contre *Callosobruchus maculatus*. L'huile de *Juniperus phoenicea* a montré une toxicité élevée et un effet anti-appétant remarquable contre *Tribolium confusum*, un insecte ravageur des denrées stockées (**Bouzouita et al., 2008**).

3.9.1. Modes d'action des huiles essentielles sur les insectes

Les huiles essentielles agissent sur les insectes à travers plusieurs mécanismes physiologiques et biochimiques :

➤ Effets anti-appétants

Ces substances affectent directement la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et des acariens. Des travaux ont démontré que les monoterpènes agissent comme des inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (un enzyme clé de la transmission nerveuse) (**Keane & Ryan, 1999, cités par Bastien, 2008**).

➤ Effets sur l'octopamine

L'octopamine est un neuromodulateur spécifique aux invertébrés. Elle joue un rôle régulateur crucial dans la fréquence cardiaque, la motricité, le vol et le métabolisme.

Certaines molécules des huiles essentielles perturbent les récepteurs de l'octopamine, entraînant un déséquilibre physiologique total chez l'insecte **(Enan, 2000, cité par Bastien, 2008)**.

➤ Effets physiques

Les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule et le système respiratoire des insectes. En raison de leur nature lipophile, elles pénètrent les membranes cuticulaires ou obstruent les stigmates (orifices respiratoires), provoquant ainsi la mort de l'insecte par asphyxie. De plus, elles peuvent causer une déshydratation fatale des tissus chez les arthropodes à corps mous **(Isman, 2000, cité par Bastien, 2008)**.

CHAPITRE IV :
Matériels et Méthodes

Chapitre 4. Matériel et méthodes

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au sein du laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf. Elle est consacrée à la présentation du matériel biologique utilisé ainsi qu'aux méthodes adoptées, sur une période de trois mois, de février à mai.

4.1. Matériel de laboratoire utilisé

Pour la réalisation de nos expériences, nous avons utilisé le matériel suivant :

a) Pour l'extraction

- Une balance de précision ;
- Un mixeur ;
- Un hydrodistillateur (Clevenger) ;
- Des tubes Eppendorf ;
- Une micropipette pour récupérer l'huile essentielle après extraction ;
- Réfrigérateur à 4 °C pour la conservation de l'HE.
- Étiquettes.
- Papier aluminium ;
- Papier film.

b) Pour le dosage

Une étuve réfrigérée réglée à 27°C température optimale du développement de *Tribolium castaneum* et *Lasioderma serricornis*.

- Des flacons en plastique pour l'exposition des insectes à différentes doses de l'huile Essentielle.
- Une balance électrique pour peser les quantités de semoule utilisée pour les tests.
- Une boîte de pétrie de 15 cm de diamètre et de 2 cm de hauteur.
- Une micropipette pour le pipetage de l'huile essentielle naturelle et végétale.
- Un pinceau.
- Un tamis.
- Papier filtre de 9 cm.
- Étiquettes.



Photo 01 : Matériels utilisé au laboratoire pédagogique de chimie, au sein de la faculté SNV, UCBET.

4.2. Matériel biologique

4.2.1. Présentation des insectes ravageurs étudiés

Notre étude est basée sur des adultes jeunes (< 7 jours) de deux espèces de ravageurs des denrées stockées *Tribolium castaneum* et *Lasioderma serricorne*. Ces insectes proviennent d'élevages de masse réalisés au laboratoire de la faculté des sciences biologiques de l'université. Les individus de *T. castaneum* sont élevés sur la farine de blé, tandis que *L. serricorne* est élevé sur des substrats alimentaires secs (semoule, farine ou d'autre produits stockés). Ces deux espèces sont connues pour causer d'importants dégâts dans les produits stockés, en altérant leur qualité nutritionnelle et commerciale.



Photo 2. Des échantillons d'adultes de *Tribolium castaneum* (photo original, 2026).



Photo 3. Des échantillons d'adultes de *Lasioderma serricorne* (photo original, 2026).

4.2.2. Présentation des espèces végétales utilisées

Dans cette étude, nous avons utilisé deux plantes aromatiques largement répandues et reconnues pour leurs propriétés biologiques :

1. *Laurus nobilis* (le laurier, appelé “rend / رند”)
2. *Mentha piperita* (la menthe poivrée)
3. *Syzygium aromaticum* (le clou de girofle)

Les feuilles ont été récoltées dans la région de Zitouna, puis séchées à l’abri de la lumière et de l’humidité afin de préserver leurs composés actifs. Les échantillons sont conservés jusqu’à l’extraction des huiles essentielles.

4.2.2.1. Présentation scientifique de *Laurus nobilis* (rend / laurier)

Le laurier est une plante aromatique appartenant à la famille des *Lauraceae*, utilisée en alimentation et en médecine traditionnelle. Elle est riche en composés bioactifs tels que les terpènes et possède des propriétés insecticides, antifongiques et antibactériennes. Sa position systématique est la suivante, (Linée, 1753) :

➤ Position systématique

- **Règne** : Végétal
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous-embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Eudicotylédones
- **Ordre** : Laurales
- **Famille** : Lauraceae
- **Genre** : *Laurus*
- **Espèce** : *Laurus nobilis*

4.2.2.2. Présentation scientifique de *Mentha piperita* (menthe poivrée)

La menthe poivrée est une plante médicinale très utilisée pour ses propriétés thérapeutiques et aromatiques. Elle contient des composés actifs comme le menthol, connus pour leurs effets insecticides et répulsifs. Sa position systématique est la suivante, (Linée, 1753) :

➤ **Position systématique**

- **Règne :** Végétal
- **Embranchement :** Spermaphytes
- **Sous-embranchement :** Angiospermes
- **Classe :** Eudicotylédones
- **Ordre :** Lamiales
- **Famille :** Lamiaceae
- **Genre :** *Mentha*
- **Espèce :** *Mentha piperita*

4.2.2.3. Présentation scientifique de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

C'est un grand arbre au tronc gris clair ridé, d'une hauteur moyenne de 10 à 12 mètres, pouvant atteindre jusqu'à 20 mètres de haut, à port pyramidal et érigé. Son feuillage est coriace et persistant, Sa position systématique est la suivante :

Position systématique :

Selon Barbelet (2015), *S. aromaticum* occupe la position systématique suivante :

- **Règne :** Plantae
- **Classe:** Angiosperma
- **Sous-classe:** Tipora
- **Ordre:** Myrtales
- **Famille:** Myrtaceae
- **Genre:** *Syzygium*
- **Espèce:** *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry, (1939).



4.2.3. Huiles essentielles

Les huiles essentielles de *Laurus nobilis* et de *Mentha piperita* ont été obtenues par hydrodistillation à partir des feuilles séchées ; tandis que l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* a été extraite à partir des boutons floraux séchés. Les extraits obtenus sont des liquides aromatiques, conservés dans des tubes Eppendorf à une température de 4°C, jusqu'à leur utilisation pour les tests biologiques. Ces huiles essentielles sont riches en

composés volatils responsables de leur activité biologique, notamment de leur effet répulsif contre les ravageurs des denrées stockées.

4.3.Méthodes de travail

4.3.1. Élevage de masse des insectes

L'élevage de masse de *Tribolium castaneum* et *Lasioderma serricorne* a été réalisé dans des bocaux en plastique contenant environ 500g de farine de blé. Les insectes ont été maintenus dans des conditions contrôlées, avec une température comprise entre 26°C et 27°C et une humidité relative variant de 65% à 70%. Ces conditions ont été choisies afin de favoriser le développement optimal des insectes et d'obtenir une population homogène pour les essais expérimentaux.

4.3.2. Extraction et rendement des huiles essentielles

4.3.2.1. Méthodes d'extraction

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour extraire les composés actifs des plantes. Le choix de la méthode dépend principalement de la nature du matériel végétal (feuilles, graines, écorces), ainsi que du type de composés recherchés (huiles essentielles, flavonoïdes, tanins, etc.). Il dépend également du rendement souhaité et de la sensibilité de certains constituants aux températures élevées, ce qui peut influencer la qualité de l'extrait obtenu.

- **Hydrodistillation** : Parmi les différentes techniques d'extraction, telles que l'hydro-diffusion et l'entraînement à la vapeur d'eau, nous avons retenu la méthode d'hydrodistillation, en utilisant un appareil de type Clévenger. Cette méthode consiste à immerger directement le matériel végétal dans de l'eau, puis à porter le mélange à ébullition. La vapeur d'eau entraînant les composés volatils est ensuite condensée grâce à un réfrigérant. Après condensation, deux phases sont obtenues : une phase aqueuse (hydrolat) et une phase huileuse correspondant à l'huile essentielle, qui se sépare par différence de densité. Cependant, il est important de noter que cette technique peut entraîner une altération de certains composés sensibles lorsqu'elle est appliquée pendant une durée prolongée ou à des températures élevées.

Dans notre étude, les feuilles de *Laurus nobilis* et de *Mentha piperita* et les boutons floraux de *syzygium aromaticum* ont été préalablement séchées à l'abri de la lumière, à température ambiante pendant une semaine.

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée en introduisant 100 g de matière végétale coupée dans un ballon en verre, auxquels ont été ajoutés environ 700 ml d'eau distillée, de manière à recouvrir entièrement l'échantillon.

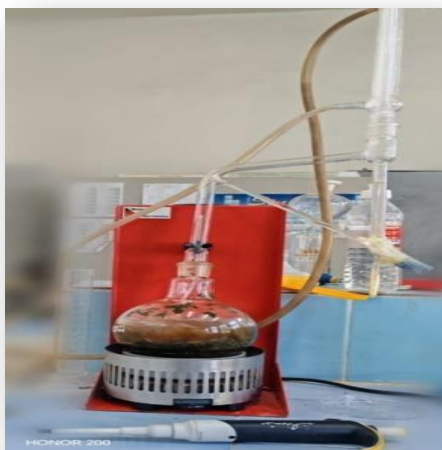


Photo 4. Hydro distillateur



Photo 5. Des tubes Eppendorf

Le mélange a ensuite été porté à ébullition pendant une durée de 2 heures. La vapeur d'eau générée a été condensée dans un système réfrigérant, permettant la récupération de l'huile essentielle. L'huile ainsi obtenue a été collectée dans des tubes Eppendorf fermés avec du parafilm afin de la protéger de la lumière, puis conservée à 4°C jusqu'à son utilisation dans les essais biologiques.

4.3.2.2. Calcul du rendement de l'huile essentielle

Le rendement en huile essentielle a été déterminé par le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et celles de la matière sèche utilisée selon la formule suivante :

$$R (\%) = M1 / M2 * 100$$

- **R(%)** : désigne le rendement de l'huile essentielle ;
- **M1** : désigne la masse de l'huile essentielle en (g) ;
- **M2** : désigne la masse de la plante végétale utilisée en (g) ;

4.3.3. Test de répulsion des huiles essentielles

Ce test a pour objectif d'évaluer l'effet répulsif des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *syzygium aromaticum* vis-à-vis des adultes de *Tribolium castaneum* et de *Lasioderma serricornis*. L'expérimentation est réalisée selon la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par **Jilani (1990)**.

Un total de vingt (20) adultes âgés de moins de 7 jours est déposé au centre d'un disque de papier filtre Whatman n°2 (9 cm de diamètre). Chaque disque est préalablement divisé en deux parties égales.

➤ **Préparation des doses** : Quatre concentrations des huiles essentielles sont préparées : 1 ; 2,5 ; 5 et 7,5 µl, diluées chacune dans 0,5 ml d'acétone.

➤ **Mode opératoire**

- Une moitié du disque de papier filtre est traitée avec une solution d'huile essentielle diluée dans l'acétone.
- L'autre moitié (témoin) reçoit uniquement l'acétone.
- Après évaporation du solvant à l'air libre pendant environ 10 minutes, les deux parties du disque sont réunies à l'aide d'un ruban adhésif.
- Le disque reconstitué est ensuite placé dans une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre.
- Les insectes sont introduits au centre du dispositif, puis la boîte est fermée.
- Chaque traitement est répété plusieurs fois afin d'assurer la fiabilité des résultats.

4.3.3.1. Le pourcentage et le classement de répulsion

La formule suivante est utilisée pour calculer le taux de répulsion

$$\text{PR (\%)} = ((\text{NC} - \text{NT}) / (\text{NC} + \text{NT})) * 100$$

- **NC** : nombre de l'individu présent sur la section du disque traitée exclusivement avec de l'acétone.

- **NT** : nombre de l'individu sur la section du disque traitée avec le mélange huile-acétone.

On calcule le taux moyen de répulsion (PR) et on l'assigne à l'une des diverses classes de répulsion allant de 0 à V (**McDonald et al., 1970**). Comme illustré dans le tableau ci-après :

Tableau 01. Pourcentage de répulsion selon le classement de **McDonald et al., 1970**.

Classes	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	$PR \leq 0,1 \%$	N'est pas répulsive
Classe I	$0,1\% < PR \leq 20\%$	Très faiblement répulsive
Classe II	$20 \% < PR \leq 40\%$	faiblement répulsive
Classe III	$40\% < PR \leq 60\%$	Modérément répulsive
Classe IV	$60\% < PR \leq 80\%$	répulsive
Classe V	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsive

CHAPITRE V :
Résultats et Discussion

Chapitre 05. Résultats & Discussion

5.1. Le rendement de l'extraction en huiles essentielles

Le rendement en huile essentielle est un indicateur de la richesse de la plante en essences volatiles. L'extraction par hydrodistillation de type Clevenger a été réalisée à partir de lots de 100 g de matière sèche pour chaque espèce végétale : les feuilles de laurier noble (*Laurus nobilis* L.) récoltées à El Tarf, les feuilles de menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) et les boutons floraux de clou de girofle (*Syzygium aromaticum* L.).

Les volumes d'huiles essentielles obtenus ont permis de calculer les rendements massiques exprimés en pourcentage (V/M, en %) rapportés à la matière sèche. Les résultats de ces extractions sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 02 : Rendements d'extraction des huiles essentielles des trois plantes d'étude.

Huile essentielle	Masse de matière sèche en (g)	Rendement de l'huile essentielle (%)	Masse de l'huile essentielle en (ml)
<i>Laurus nobilis</i>	100	1,4%	1,4
<i>Mentha piperita</i>	100	1,12%	1,12
<i>Syzygium aromaticum</i>	100	6,25%	6,25

Les résultats font ressortir des rendements d'extraction hautement variables d'une plante à l'autre. Cette fluctuation est tout à fait normale en phytochimie et s'explique par la nature anatomique des organes sécréteurs, l'espèce végétale, ainsi que les conditions écologiques de développement.

5.1.1. Laurier noble (*Laurus nobilis*)

Le rendement de 1,40 % obtenu pour les feuilles de laurier d'El Tarf se situe dans la fourchette haute des normes scientifiques établies pour cette espèce (généralement entre 0,5% et 1,5%). Ce résultat est supérieur à celui rapporté en Algérie par **Chafei et al. (2021)** (0,95 %) et par **Ben Jemâa et al. (2012)** en Tunisie (1,10 %). Il s'aligne en revanche parfaitement avec les travaux d'**Argentieri et al. (2012)** en Italie qui ont enregistré un taux de 1,40 %.

Cette excellente performance témoigne de la qualité de la matière première locale. Le microclimat de la région d'El Tarf (littoral humide et forte exposition ensoleillée) constitue un facteur environnemental majeur favorisant une biosynthèse optimale et une forte accumulation des monoterpènes volatils au sein des cavités sécrétrices des feuilles.

5.1.2. Menthe poivrée (*Mentha piperita*)

L'hydrodistillation de la menthe poivrée a généré un rendement de 1,12 %. Cette valeur est jugée très satisfaisante et s'accorde avec la littérature scientifique internationale, qui situe les rendements de *M. piperita* entre 1,00% et 2,50%. Nos résultats sont tout à fait comparables à ceux de **Derwichet al. (2010)** qui ont obtenu un rendement de 1,15 %.

Les feuilles de menthe synthétisent leurs essences au niveau de trichomes glandulaires (poils sécréteurs) superficiels. La méthode d'hydrodistillation par Clevenger permet une rupture efficace de ces structures pour libérer les molécules clés telles que le menthol et la menthone.

5.1.3. Clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

Le clou de girofle se distingue de manière spectaculaire avec un rendement exceptionnel de 6,25 %. Les boutons floraux de *S. aromaticum* sont scientifiquement reconnus pour être parmi les structures végétales les plus riches en huiles essentielles au monde (les rendements de la littérature oscillent entre 5% et 15%).

Notre valeur s'inscrit fidèlement dans la moyenne décrite par **Nurdjanah & Bermawie (2012)** (6% à 8%). Ce rendement massif s'explique par la forte densité de poches sécrétrices volumineuses situées dans le parenchyme du réceptacle floral du clou de girofle, contenant une forte proportion d'eugénol.

D'un point de vue pratique, l'obtention de tels rendements (1,40 % pour le laurier, 1,12 % pour la menthe et 6,25 % pour le clou de girofle) est un indicateur capital pour la rentabilité économique d'un projet de bio-contrôle.

Dans une optique de développement durable, l'utilisation de plantes offrant de bons rendements d'extraction permet de limiter les coûts de production industriels et de sécuriser de gros volumes de biopesticides. Cela confirme la viabilité de ces trois essences végétales

comme alternatives naturelles concrètes pour réduire la dépendance aux insecticides chimiques et minimiser les pertes financières post-récolte subies lors du stockage des grains.

5.2.Évaluation de l'effet des huiles essentielles par répulsion

5.2.1. Effet répulsif des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha poivrée* et *Syzygium aromaticum* à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum*

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des taux de répulsion obtenus avec les trois huiles essentielles testées sur les adultes de *Tribolium castaneum*. Les résultats obtenus montrent une variation de la réponse des deux espèces étudiées selon les huiles essentielles utilisées et les concentrations appliquées.

Les différentes doses ont provoqué des taux de répulsion variables chez les adultes de *T. castaneum* et *L. serricorne*. L'activité répulsive des trois huiles essentielles augmente généralement avec l'augmentation de la dose administrée, traduisant une relation dose-effet positive. Les taux de répulsion les plus élevés ont été observés aux fortes concentrations, ce qui confirme l'efficacité des trois huiles essentielles contre les adultes des deux insectes testés.

Tableau 03 : Effet répulsif des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha poivrée* et *Syzygium aromaticum* sur les adultes de *Tribolium castaneum*.

La dose (μ l)	Huiles essentiels	Nombre des individus		Pourcentage de répulsion %
		Partie témoin	Partie traitée	
1ul	Laurier	15.33	4.67	53
	Menthe	14.66	5.34	46.60
	Girofle	15.66	4.33	56
2,5ul	Laurier	18.33	6.67	66.66
	Menthe	15.34	4.66	53.33
	Girofle	16	4	60
5ul	Laurier	19	1	80
	Menthe	16.68	3.32	66.66
	Girofle	19	1	82 ,5
	Laurier	19.66	0.34	96

7,5ul	Menthe	18	2	80
	Girofle	19.33	0.66	92.5

L'évaluation de l'effet répulsif des huiles essentielles (HE) de *Laurus nobilis* (Laurier noble), *Mentha piperita* (Menthe poivrée) et *Syzygium aromaticum* (Clou de girofle) met en évidence des variations notables de bioactivité face aux adultes de *Tribolium castaneum*. D'après les critères de classification de **McDonald et al. (1970)**, les propriétés répulsives de ces essences se répartissent entre les classes III et IV (**tableau04**)

Huile essentielle	<i>Laurus nobilis</i>	<i>Mentha piperita</i>	<i>Syzygium aromaticum</i>
Taux de répulsion	73.91%	43.36%	72.75%
Classe de répulsion	Classe IV	Classe III	Classe IV
Effet	Répulsive	Modérément répulsive	répulsive

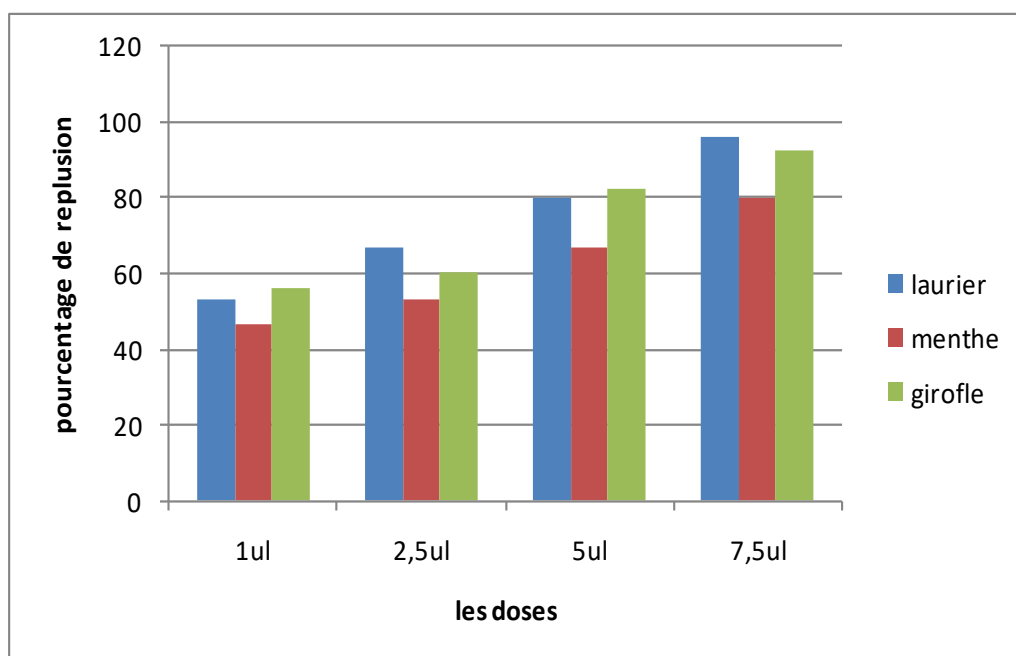


Figure 18 : Taux de répulsion (%) des trois huiles essentielles (*Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* vis-à-vis des adultes de *Tribolium castaneum* en fonction de la dose.

CHAPITRE V : Résultats et Discussion

Les résultats obtenus montrent que les trois huiles essentielles testées (*Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum*) exercent une activité répulsive importante contre les adultes de *Tribolium castaneum*. Cette activité varie en fonction de la dose appliquée et de la nature de l'huile essentielle

À la dose de 1 μ l, les taux de répulsion enregistrés sont de 53 % pour le laurier, 46,6 % pour la menthe poivrée et 56 % pour le clou de girofle. Ces résultats indiquent déjà une sensibilité des insectes aux substances volatiles présentes dans les huiles essentielles, avec une légère supériorité de l'huile de clou de girofle. Lorsque la dose augmente à 2,5 μ l, les taux de répulsion augmentent également pour atteindre 66,66 % pour le laurier, 53,33 % pour la menthe poivrée et 60 % pour le clou de girofle. Cette augmentation confirme l'existence d'une relation dose-effet positive ;

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* possèdent une activité répulsive importante contre les adultes de *Tribolium castaneum*, avec une efficacité qui augmente en fonction de la dose appliquée.

Ces observations sont en accord avec les travaux de **Caballero-Gallardo et al. (2011)**, qui ont démontré que plusieurs huiles essentielles et leurs constituants volatils exercent une activité répulsive significative contre *T. castaneum*.

Dans notre étude, l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* a présenté l'une des activités répulsives les plus élevées. Ce résultat concorde avec ceux de **El-Saad et al. (2011)**, qui ont rapporté une forte activité répulsive et fumigante de l'huile essentielle de clou de girofle contre *Tribolium castaneum*, attribuée principalement à sa forte teneur en eugénol.

De même, l'efficacité observée pour *Laurus nobilis* est cohérente avec les résultats de **Haouel et al. (2012)**, qui ont montré que l'huile essentielle de laurier possède des propriétés répulsives importantes contre plusieurs insectes des denrées stockées, notamment *Tribolium castaneum*.

Concernant *Mentha piperita*, les résultats obtenus confirment ceux rapportés par **Syam et al. (2018)**, qui ont mis en évidence une activité répulsive notable de l'huile essentielle de menthe poivrée contre *T. castaneum*. Toutefois, son efficacité reste

généralement inférieure à celle du clou de girofle, ce qui est également observé dans notre étude.

Enfin, l'augmentation du taux de répulsion avec l'augmentation de la dose appliquée confirme l'existence d'une relation dose-effet positive, phénomène largement décrit dans la littérature scientifique concernant les huiles essentielles utilisées contre les insectes des produits stockés.

5.2.2. Effet répulsif des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha poivrée* et *Syzygium aromaticum* à l'égard des adultes de *Lasioderma serricorne*

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des taux de répulsion obtenus avec les trois huiles essentielles testées sur les adultes de *Lasioderma serricorne*. Les résultats obtenus montrent une variation de la réponse des deux espèces étudiées selon les huiles essentielles utilisées et les concentrations appliquées.

Tableau 04: Effet répulsif des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* sur les adultes de *Lasioderma serricorne*.

La dose	Huiles essentielles	Nombre des individus		Pourcentage de répulsion %
		Partie témoin	Partie traitée	
1ul	Laurier	14.5	5.5	45
	Menthe	14	6	40
	Girofle	15.33	4.67	53.33
2,5ul	Laurier	14.66	5.34	46.66
	Menthe	15.32	4.68	53.33
	Girofle	16,66	3,34	66,6
5ul	Laurier	15.32	4.68	53.33
	Menthe	17.32	2.68	73.33
	Girofle	18.33	1.67	83.3
7,5ul	Laurier	17.32	2.68	73.33
	Menthe	18.66	1.34	80
	Girofle	19	1	90

CHAPITRE V : Résultats et Discussion

L'évaluation de l'activité répulsive des trois huiles essentielles (HE) contre les adultes de *Lasioderma serricorne* (**tab 06**) met en évidence un potentiel protecteur intéressant, bien que d'intensités variables. Selon l'échelle de **McDonald et al. (1970)**, les profils d'efficacité se séparent distinctement, s'étendant de la Classe III (modérément répulsive) à la Classe IV (répulsive).

Huile essentielle	<i>Laurus nobilis</i>	<i>Mentha piperita</i>	<i>Syzygium aromaticum</i>
Taux de répulsion	54.58%	61.66%	73.30%
Classe de répulsion	Classe III	Classe IV	Classe IV
Effet	Modérément répulsive	répulsive	Répulsive

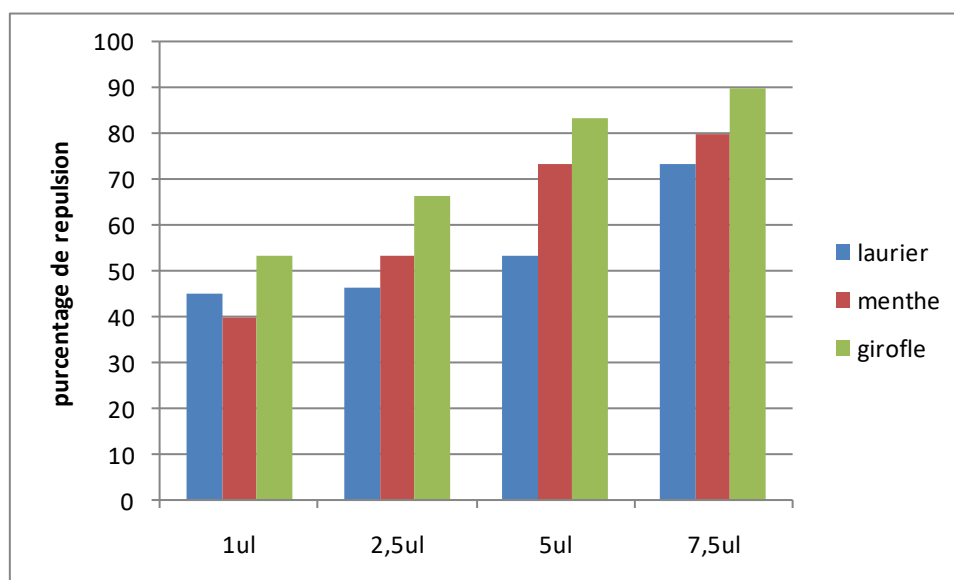


Figure 19 : Taux de répulsion (%) des trois huiles essentielles (*Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* vis-à-vis des adultes de *Lasioderma serricorne* en fonction de la dose.

Les données expérimentales montrent que l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* (Clou de girofle) surpasse nettement les autres essences, enregistrant le taux de répulsion le plus élevé avec 73.30% (Classe IV). Elle est suivie par l'HE de *Mentha piperita* (Menthe poivrée), qui manifeste également une action répulsive marquée de

61.66%, la propulsant aussi en Classe IV. En revanche, l'essence de *Laurus nobilis* (Laurier noble) avec un taux de 54.58%, son effet en deçà des autres traitements la confine à la Classe III (modérément répulsive).

Les résultats obtenus montrent que les trois huiles essentielles testées (*Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum*) exercent une activité répulsive variable contre les adultes de *Lasioderma serricornis*. Comme pour *Tribolium castaneum*, l'effet répulsif augmente progressivement avec l'augmentation de la dose appliquée, ce qui met en évidence une relation dose-effet positive

La dose de 1 µl, l'huile essentielle de clou de girofle présente le taux de répulsion le plus élevé (53,33 %), suivie du laurier (45 %) et de la menthe poivrée (40 %). Ces résultats indiquent que même à faible concentration, les huiles essentielles possèdent une capacité à perturber le comportement des insectes.

A la dose de 2,5 µl, les taux de répulsion augmentent pour atteindre 46,66 % pour le laurier, 53,33 % pour la menthe poivrée et 66,6 % pour le clou de girofle. L'huile essentielle de clou de girofle conserve ainsi son efficacité supérieure par rapport aux autres huiles testées.

La dose de 5 µl, une augmentation importante de l'activité répulsive est observée, avec des taux de 53,33 % pour le laurier, 73,33 % pour la menthe poivrée et 83,3 % pour le clou de girofle. Cette évolution montre que l'augmentation de la concentration favorise l'action des composés volatils sur les adultes de *L. serricornis*.

La dose maximale de 7,5 µl produit les meilleurs résultats avec 73,33 % de répulsion pour le laurier, 80 % pour la menthe poivrée et 90 % pour le clou de girofle. Ces valeurs confirment la forte efficacité répulsive des huiles essentielles, particulièrement celle du clou de girofle.

Globalement, l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* présente la meilleure activité répulsive avec un taux moyen de 73,30 %, suivie de *Mentha piperita* (61,66 %) puis de *Laurus nobilis* (54,58 %).

Ces résultats suggèrent que *Lasioderma serricornis* est particulièrement sensible aux composés aromatiques présents dans l'huile essentielle de clou de girofle. Ces résultats

sont comparables à ceux obtenus par Waseem Kamal et ses collaborateurs, qui ont évalué l'effet répulsif d'extraits botaniques contre *Lasioderma serricorne*. Les auteurs ont rapporté un taux maximal de répulsion de 86,67 % pour *Mentha longifolia* à la concentration de 75 %. Ainsi, le taux obtenu dans notre étude avec l'huile essentielle de clou de girofle (90 %) est légèrement supérieur à celui rapporté par ces auteurs

De plus, une étude réalisée par **Jianhua Lü** sur le comportement de *Lasioderma serricorne* vis-à-vis de composés naturels a montré que le citral et la rutine pouvaient atteindre des taux de répulsion allant jusqu'à 100 % dans certaines conditions expérimentales. Bien que ces valeurs soient supérieures à celles observées dans notre travail, notre huile essentielle de *Syzygium aromaticum* a néanmoins présenté une forte activité répulsive, proche des niveaux considérés comme très efficaces dans la littérature. Enfin, nos résultats confirment également ceux de **Masatoshi Hori**, qui a démontré que plusieurs huiles essentielles, notamment celles riches en composés aromatiques et terpéniques, exercent une forte répulsion. L'auteur a classé l'huile de menthe poivrée parmi les huiles les plus répulsives testées contre cette espèce.

En conclusion, l'analyse croisée de l'activité répulsive des huiles essentielles (HE) de *Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* révèle des profils d'efficacité hautement contrastés selon l'insecte cible. Ces variations mettent en évidence la notion de spécificité biologique de la sensibilité olfactive et comportementale chez les coléoptères des denrées stockées (*Tribolium castaneum* et *Lasioderma serricorne*).

L'huile essentielle de Clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) se distingue comme la seule essence maintenant une efficacité stable et maximale (Classe IV) sur les deux modèles biologiques, avec des taux quasi identiques (72.75% contre *T. castaneum* et 73.30% contre *L. serricorne*).

Cette performance constante repose sur l'action de son composé ultra-majoritaire, l'eugénol. L'eugénol agit comme un puissant poison neurotoxique généraliste chez les arthropodes en interférant avec les récepteurs de l'octopamine (un neurotransmetteur propre aux invertébrés). Face à ce signal de danger chimique omniprésent, les deux espèces déclenchent une stratégie de fuite immédiate et d'égale intensité.

Le phénomène le plus remarquable de cette étude réside dans le croisement inverse des efficacités de *L. nobilis* et de *M. piperita* face aux deux insectes :

- **Le cas de *Laurus nobilis*** : Redoutable contre *T. castaneum* (73.91%, Classe IV), elle perd significativement en intensité face à *L. serricorne* (54.58%, Classe III). Le **1,8-cinéole (eucalyptol)**, molécule maîtresse du Laurier, semble être un puissant irritant pour le système olfactif de *T. castaneum*, mais s'avère beaucoup mieux toléré par *L. serricorne*.
- **Le cas de *Mentha piperita*** : Le schéma s'inverse totalement. Médiocre contre *T. castaneum* (43.36%, Classe III), elle devient une barrière répulsive majeure face à *L. serricorne* (61.66%, Classe IV). Le **menthol** et la **menthone** ciblent donc très spécifiquement des récepteurs sensoriels périphériques (sensilles antennaires) qui sont fonctionnels ou surreprésentés chez la lasioderme du tabac, alors qu'ils laissent *T. castaneum* relativement indifférent au même dosage.

D'une manière générale, les deux insectes ont montré une augmentation progressive du taux de répulsion avec l'augmentation de la dose appliquée. Cette relation dose-réponse confirme que l'efficacité des huiles essentielles dépend de la quantité de substances volatiles libérées dans le milieu. Les doses les plus élevées (7,5 µl) ont enregistré les meilleurs résultats pour toutes les huiles essentielles testées.

Ces différences de sensibilité entre les deux espèces peuvent être expliquées par des variations physiologiques et comportementales, notamment au niveau des récepteurs olfactifs, de la cuticule et de la capacité de détection des composés volatils. Des observations similaires ont été rapportées par **Regnault-Roger et al. (2012)**, qui ont montré que la réponse des insectes aux huiles essentielles varie selon l'espèce ciblée et la composition chimique de l'huile utilisée.

[

CONCLUSION

]

Conclusion

Dans le contexte actuel de la recherche de solutions alternatives aux insecticides chimiques, les huiles essentielles représentent une voie prometteuse pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs. Le présent travail a pour objectif d'évaluer le rendement d'extraction ainsi que l'activité répulsive des huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Mentha piperita* et *Syzygium aromaticum* vis-à-vis des adultes de *Tribolium castaneum* et *Lasioderma serricorne*.

Les résultats obtenus montrent que le rendement d'extraction varie en fonction de l'espèce végétale étudiée. Le rendement le plus élevé a été observé pour l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* (6,25 %), suivi de celui de *Laurus nobilis* (1,4 %) et de *Mentha piperita* (1,12 %). Cette différence pourrait être liée à la composition chimique propre à chaque espèce, ainsi qu'aux conditions d'extraction et de conservation du matériel végétal.

L'évaluation de l'activité répulsive a révélé une efficacité variable selon l'huile essentielle utilisées, l'espèce d'insecte et la dose appliquée. Les résultats ont montré une augmentation progressive du taux de répulsion avec l'augmentation de la dose, ce qui traduit une relation dose-réponse positive. Chez *Tribolium castaneum*, les huiles essentielles de *Laurus nobilis* et de *Syzygium aromaticum* ont présenté les effets répulsifs les plus efficaces, avec des taux moyens respectifs de 73,91 % et 72,75 %. Chez *Lasioderma serricorne*, l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* s'est révélée la plus efficace avec un taux moyen de répulsion de 73,30 %, suivie de *Mentha piperita* (61,66 %) et de *Laurus nobilis* (54,58 %).

Les résultats obtenus confirment ainsi le potentiel des huiles essentielles comme agents répulsifs naturels contre les insectes des denrées stockées. Parmi les huiles étudiées, *Syzygium aromaticum* apparaît comme l'espèce la plus prometteuse grâce à son rendement élevé et à son importante activité biologique contre les deux ravageurs testés.

En perspective, il serait intéressant d'approfondir cette étude par l'identification des principaux composés chimiques responsables de l'activité répulsive à l'aide de techniques analytiques telles que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS). Il serait également utile d'évaluer l'efficacité de ces huiles essentielles sur d'autres stades de développement des insectes (œufs, larves et

| CONCLUSION

nymphes), ainsi que sur d'autres ravageurs des produits stockés, afin de mieux valoriser leur utilisation dans les programmes de lutte intégrée et durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- **Abo-El-Saad M.M. et al. (2011).** Repellent and Fumigant Effects of Essential Oil from Clove Buds *Syzygium aromaticum* against *Tribolium castaneum*.
- **Alejo-Armijo, A., Altarejos, J., Salido, S., (2017).** Phytochemicals and biological activities of laurel tree (*Laurus nobilis*). *Natural Product Communications*, 12(5), 743-757.
- **Anonyme 2, 2021.** compagnie-des-sens.fr.

B

- **Barla, A., Topçu, G., Öksüz, S., Tümen, G., & Kingston, D. G. I. (2007).** Identification of cytotoxic sesquiterpenes from *Laurus nobilis* L. *Food Chemistry*, 104(4), 1478-1484.
- **Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2009).** Handbook of essential oils: science, technology, and applications. CRC Press.
- **Black, P., 1997.** The folklore and cosmetic use of various salvia species, chapitre one, ed white house, uk.
- **Boukhatem, M.N., Ferhat, A., Kameli, A. 2019.** Méthodes d'extraction et distillation des huiles essentielles : Revue de littérature. *Revue agrobiologia*. 9(2). Pp1653-1659.
- **Bruneton J. 1999.** Pharmacognosie, Phytochimie plantes médicinales 2ème édition. Technique et documentation. Lavoisier. Pp385-623.
- **Barbelet, S. 2015.** Le giroflier : historique, description et utilisations de la plante et de son huile essentielle. Université de Lorraine. Thèse de Doctorat en Pharmacie. 120p.
-

C

- **Caballero-Gallardo K., Olivero-Verbel J., Stashenko E. (2011).** Repellent Activity of Essential Oils and Some of Their Individual Constituents against *Tribolium castaneum* Herbst. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- **Camara, A. (2009).** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) Et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse de doctorat : sciences de l'environnement. Montréal : Université du Québec à Montréal, 154p.
- **Chaintreau, A., Joulai, D., Marin, C., Schmidt, C. O., VEY, M. 2003.** Quantification of fragrance compound suspected to cause skin reactions. *J Agric. Food. Chem.* 51. Pp398-403.
- **Christine B., 2001.** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique. 2^{ème} Edition. PP124-154.
- **Couic-Marinier, F., Lobstein, A. 2013.** Composition chimique des huiles essentielles. *Actualités Pharmaceutiques*. 52(525). Pp22-25.

D

- **Delobel A., et Trans, M., 1993.** Les coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. Ed. Orstom Paris, 424p.
- **Demir V., Gunhan T., Yagcioglu A.K., & Degirmencioglu A., 2004.** Mathematical modelling and the determination of some quality parameters of air-dried bay leaves. *Biosystems Engineering*, 88 : p. 325-335.
- **Demir V., Guhan T., Yagcioglu A.K., Ddegirmencioglu A., (2004).** Mathematical modeling and the Determination of some Quality Paramaters of Air-dried Bay leaves. *Biosystems Engineering*. 88 (3) : 325-335.
- **Djaouti M., (2010).** Renforcement des capacités des acteurs de la filière céréale en Algérie dans le cadre d'un partenariat Nord-Sud. Cas de la wilaya de Sétif. Thèse. Mast of Sciences. CIHEAM-Montpellier, 120 P.

- **Djermoun A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*. 1:45-53.
- **Dorman HJD., Figueiredo AC., Barroso JG and Deans SG., 2000 :** In vitro evaluation of antioxidant activity of essential oils and their components. *Flavour and Fragrance Journal*. 15, 12-16 p.
- **Drosso Sonate, J. 2002.** Composition chimique des huiles essentielles extraite de plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : valorisation. Université Ouagadougou. 12. P264.

E

- **Elbrense, H., El Hussein, I., Abo El Makarem, H., Abo Arab, R. and El Kholy, S., 2022.** Insecticidal, Antifeedant and repellent efficacy of certain essential oils against adult rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal Biology* 2022, 11(1), 3.
- **Enan E., 2001.** Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*. 130(3), 325.

F

- **Fleurrat-Leussard (1982) :** Autres méthodes de lutte contre les insectes et acariens des denrées stockées. Coed. AFNOR. I.T.C.F. Paris pp : 67-81.

G

- **Garnero M.J. 1977.** Problèmes rencontrés au cours de l'étude de la composition chimique des huiles essentielles. In *Parfumes cosmétiques aromes*. 14. Pp31-40.
- **Gueye A. C, Diome T, Thiaw C, et Sembene M, (2011).** Évolution des paramètres biodémographiques des populations de *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera,

Tenebrionidae) inféodé dans le mil (*Pennisetum glaucum* Leek) et le maïs (*Zea mays* L.). Journal of Applied Biosciences, Vol : 90:8355–8360.

- **Guzman E., Lucia A. 2021.** Essential oils and their individual components in cosmetic products. Enzo Berardesca. 8. p114.
- **Gwinner J., Harnisch R. et Muck O. (1996).** Manuel sur la manutention et la consommation des graines après récolte. Ed. GTZ. Eschborn. R.F.A, pp : 159-183.

H

- **Hadjou, S. et Lazri, C., 2023.** Extraction des huiles essentielles du thym d'Algérie (*Thymus algeriensis*) et l'origan (*Origanum floribundum*) et évaluation de leurs bioactivités vis-à-vis des adultes de *Tribolium confusum* (Coleoptera : Ténébrionidae). Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.
- **Hamed SF., Sadek Z., and Edris A., 2012 :** Antioxidant and antimicrobial activities of clove bud essential oil and eugenol nanoparticles in alcohol-free microemulsion. Journal of Oleo Science. 6, 641-648 p.
- **Haouel S. et al. (2012).** Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. Journal of Stored Products Research.
- **Hernandez-Ochoa L.R. 2005.** Substitution de solvants et matières actives de synthèse par combiné « Solvant/Actif » d'origine végétale. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. France.
- **Hori Masatoshi (2003).** Repellency of essential oils against the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (Fabricius) (Coleoptera: Anobiidae). Applied Entomology and Zoology, 38(4), 467-473.

I

- **Iserin P., (2001).** Encyclopédie des plantes médicinales. 2ème Ed. Larousse. Londres. 143 et 225-226.

- **Isman M.B., 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. Crop Prot. 19, 603–608.
- **Isman M.B., 2005.** Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annu. Rev. Entomol, N°51, pp.45-66.

K

- **Kellouche A. et Soltani N. (2004).** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). International Journal of Tropical Insect Science, vol.24, N°1, pp.184-191.
- **Kellou R. (2008).** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives Sud Céréales. Groupe Coopératif Occitan et Aude Coop. Thèse. Mast. C.I.H.E.A.M. I.A.M. Montpellier. France, pp : 47-48.
- **Kim Soon-Il, Park C., Ohh M.H., Cho H.C. & Ahn Y.J. (2003).** Contact and fumigant activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). Journal of Stored Products Research, 39(1).

L

- **Lamendin H., Toscano G., Requirand P., 2004 :** Phytothérapie et aromathérapie buccodentaires. EMC - Dentisterie. 1:179-92 p.
- **Leung A.Y., 1980 :** Encyclopedia of common natural ingredients used in food drugs and cosmetics. Wiley-Interscience Publication New York.
- **Lucchesi, M. L. 2005.** Thèse sur : Extraction sans solvant assistée par Microondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles, Université de la Réunion, France.

M

- **Myers, L., & Hagstrum, D. W. (2012).** Cigarette Beetle, *Lasioderma serricornis* (Fabricius) (Insecta: Coleoptera: Anobiidae). Featured Creatures, University of Florida, EENY-227

O

- **Ouis, N. 2015.** Étude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil. Thèse de doctorat. Université Ahmed Ben Bella-Oran, Alger.

P

- **Paris, R.R., Moyse, H. 1967.** Pharmacognosie spéciale spermaphytes (suite): angiospermes monocotylédones-dicotylédones-apétales et dialypétales. Collection de précis de pharmacie. Masson et Cie édit. Matière médicale - Tome II. p511.
- **Pavela, R., Zabka, M., Vrchotová, N., Tříška, J. 2018.** Effect of foliar nutrition on the essential oil yield of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Industrial Crops and Products. 112. pp762-765.
- **Piochon, M. 2008.** Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore Laurentienne : composition chimique, activités pharmacologiques et hémi-synthèse. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, Canada. P200.
- **Pruthi, H.S., Singh, M., 1950.** Pests of stored grain and their control. Special number. Indian Journal of Agricultural Science. 1-52 p.

Q

- **Quézel P., Santa S., (1962).** New flora of Algeria and the southern desert regions. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. 565.

R

- **Rakotoatimanana B.V. et al., 1999** : Contribution à l'optimisation d'une unité de production d'huiles essentielles. Mémoire de fin d'études, Département Génie Chimique, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo ESPA, Université d'Antananarivo.
- **Ranum, P., Pena-Rosas, J.P. & Garcia-Casal M.N. (2014).** Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 105-1126.
- **Rees D., 2004.** *Insects of Stored Products*. Manson Publishing, London.
- **Rees, D. (2004).** *Insects of Stored Products*. CSIRO Publishing.
- **Rozman Vladimir, Kalinović I. & Korunić Z. (2007).** Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*.

S

- **Sawamura, M. 2009.** *Citrus essential oils: flavor and fragrance*. Groupe de recherche en éco-extraction de produits naturels, Éd. de l'Université d'Avignon.
- **Shaaya E., Kostjukovski M., Eilberg J. & Sukprakarn C. (1997).** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33(1):7-15.
- **Sinha, R.N., 1971.** Multiplication of some stored-product insects on varieties of wheat, oats, and barley. *J. Econ. Entomol.*, 64:98-102.
- **Soltner D. (1990).** *Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées*.
- **Spichiger, R.E., Jeanmonod, D. 2002.** *Botanique systématique des plantes à fleurs : une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales*. PPUR Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. P413.
- **Syam S. et al. (2018).** Fumigant and Repellent Effects of Essential Oil Fractions of *Mentha piperita* against *Tribolium castaneum*.

T

- **T. Shafi, et al. (2016).** The contribution of wheat to human diet and health. Food Energy Secur. 2015;4(3):178-202. doi:10.1002/fes3.64.

V

- **Velé H., 2015 :** Valorisation officinale des huiles essentielles autorisées dans les phytomédicaments. UFR Sciences Pharmaceutiques et Ingénierie de la Santé. Thèse de doctorat.

W

- **Wu Yan, Zhang W.J., Huang D.Y., Wang Y., Wei J.Y. et al. (2015).** Chemical Compositions and Insecticidal Activities of *Alpinia kwangsiensis* Essential Oil against *Lasioderma serricorne*.