



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 et applique »

Thème

Étude de l'effet des huiles essentielles de quelques plantes
médicinales à l'égard des adultes de *Sitophilus zeamais*.

Présenté Par : **TAMER Salsabil**

Soutenue publiquement le : 16/06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
GHEID Samira	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
SERRAGE Nassima	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
DELIMI Amel	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Co- Directeur de mémoire
ARKOUB FATMA Zouhra	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

D'abord, nous remercions dieu qui nous donné la force, la patience et volonté pour réaliser ce travail.

*J'exprime mes sincères remerciements à Dr **GHEID Samira**, a université Chadli Benjedid El Tarf de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directrice de mémoire,

***Dr. SERRAGE Nassima**, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'encadrer cette recherche. Je la remercie sincèrement pour la rigueur de son suivi, la pertinence de ses critiques constructives, éléments déterminants dans la réalisation de ce projet.*

*Je tiens à exprimer mes sincères et très vifs remerciements à notre co- encadrante, **Dr Delimi Amel**, pour ses orientations pertinentes. Son aide m'a été d'une grande importance pour mener à bien cette recherche. Je lui adresse mes véritables appréciations pour sa disponibilité sans faille et sa patience.*

*Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude et mon profond respect à **Dr ARKOUB FATMA Zouhra**, enseignante à l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf, d'avoir accepté généreusement de diriger ce travail.*

Nos remerciements vont également à tous enseignants de département de science de la nature et de vie.

*Aussi suis-je très reconnaissant les techniciens de laboratoire qui
ont participé à notre formation, qu'ils veuillent bien trouver ici
l'expression de notre gratitude, et tous ceux qui ont contribué de
près ou de loin à accomplir.*

Merci

Dédicace

Je dédie ce travail, avant tout, à ma chère famille, source inépuisable d'amour, de patience et de soutien.

À mes parents, pour leurs sacrifices, leurs prières et leurs encouragements qui m'ont accompagnée tout au long de mon parcours.

À mes sœurs, pour leur présence réconfortante, leur affection et leur soutien moral indéfectible.

À mes proches et à mes amis, qui ont toujours cru en moi et dont les encouragements constants ont constitué une véritable source de motivation et de sérénité durant la réalisation de ce projet de fin d'études.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail, je témoigne ma profonde gratitude et mon immense reconnaissance.

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	1
2. MATERIEL ET METHODES.....	3
2.1 Présentation de la zone d'El Tarf.....	3
2.2. Modèle biologique animal.....	4
2.2.1. Présentation de l'insecte <i>Sitophilus zeamais</i>	4
2.2.2. Origine et taxonomie.....	4
2.2.3. Position systématique de <i>Sitophilus zeamais</i>	4
2.2.4. Morphologie de l'insecte.....	5
2.2.5. Bio-écologie.....	5
2.2.6. Dégâts causés par <i>Sitophilus zeamais</i>	7
2.2.7. Condition d'élevage de <i>Sitophilus zeamais</i>	7
2.3. Présentation des plantes étudiées.....	8
2.3.1. <i>Ruta chalepensis</i>	8
2.3.1.1. Présentation de la famille des rutacées.....	8
2.3.1.2. Caractères botaniques.....	8
2.3.1.3. Genre <i>Ruta</i>	8
2.3.1.4. Présentation de l'espèce <i>Ruta chalepensis</i>	10
2.3.1.5. Position Systématique de <i>Ruta Chalepensis</i>	10
2.3.1.6. Description botanique.....	10
2.3.1.7. Présentation de la famille des Lamiaceae.....	12
2.3.2. Présentation de <i>Mentha pulegium</i>	12
2.3.2.1. Position systématique de <i>Mentha pulegium</i>	13
2.3.2.2. Description botanique <i>Mentha pulegium</i>	14
2.3.2.3. Séchage et conservation.....	14
2.4. Extraction de l'huile essentielle.....	15
2.5. Calcule du rendement en huile essentielle.....	16
2.6. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i> sur adultes de <i>Sitophilus zeamais</i>	16
2.7. Evaluation de mortalité des adultes de <i>Sitophilus zeamais</i>	17
2.7.1. Calcul de la mortalité corrigée.....	17

2.7.2. Détermination de la CL50	18
3. RESULTATS	18
3.1. Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i>	18
3.2. Evaluation de mortalité corrigée des adultes de <i>Sitophilus zeamais</i> par d'huile essentielle <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i> par effet de contact.....	19
3.2.1. Effet de <i>Ruta chalepensis</i>	19
Effet de <i>Mentha pulegium</i>	22
4. DISCUSSION.....	25
Conclusion.....	27
Résumé	28
Abstract.....	29
ملخص.....	30
Références Bibliographiques	

Liste des Figures

N° Figure	Titre	Page
01	Les échantillons des plantes ont été collectés au niveau d'une station d'échantillonnage localisée à Jebel Bou Latan (F'zara au sein de la commune de Lac des Oiseaux), située dans la wilaya d'El Tarf, au nord-est de l'Algérie.	03
02	<i>Sitophilus zeamais</i>	04
03	Cycle de développement de <i>Sitophilus zeamais</i> (https://solution-nuisible.fr/guides-conseils/charancon/).	06
04	Dégâts causés par <i>Sitophilus zeamais</i>	07
05	Élevage de masse de <i>Sitophilus zeamais</i> sur substrat de maïs en conditions contrôlées (étuve) (Photo personnel, 2026).	08
06	<i>Ruta montana</i>	09
07	<i>Ruta chalepensis</i> L	09
08	<i>Ruta graveolens</i> L	09
09	<i>Ruta Chalepensis</i> .	10
10	Schéma présente les différentes parties aériennes du <i>Ruta chalepensis</i>	11
11	<i>Mentha puleguim</i> .	13
12	Séchage la plante <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i> dans une étuve du laboratoire de Biologie végétale.	14
13	Montage d'hydro distillateur de type	15
14	Teste de la toxicité par contact direct de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i> sur l'adulte de <i>Sitophilus zeamais</i>	16
15	Mortalité corrigé moyenne (%) des adultes en fonction de la concentration et du temps d'exposition.	19

TABLE DES MATIERES

16	Relation entre les probits des mortalités corrigées et les logarithmes décimaux des concentrations de l'huile essentielle après 72h	21
	d'exposition. La qualité de l'ajustement est exprimée par le coefficient de détermination (R^2).	
17	Mortalité corrigé moyenne (%) des adultes en fonction de la concentration et du temps d'exposition.	23
18	Relation entre les probits des mortalités corrigées et les logarithmes décimaux des concentrations de l'huile essentielle après 72h d'exposition. La qualité de l'ajustement est exprimée par le coefficient de détermination (R^2).	24

Liste des Tableaux

N° Tableaux	Titre	PAGE
01	Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles extraites	18
02	Rendement d'huile essentielle <i>Ruta chalepensis</i> et <i>Mentha pulegium</i>	18
03	Mortalité corrigé (%) des adultes de <i>Sitophilus zeamais</i> après traitement par les différentes concentrations de l'huile essentielle du <i>Ruta chalepensis</i> après 24h ,48h et 72h ($m \pm SE$; N= 10).	20
04	Effet de <i>Ruta chalepensis</i> sur les adultes de <i>Sitophilus zeamais</i> : données exprimées après transformation angulaire.	20
05	Transformation en probit des mortalités corrigées et des doses en logarithmes décimaux.	21
06	Transformation en probit des mortalités corrigées et des doses en logarithmes décimaux.	22
07	Mortalité corrigé (%) des adultes de <i>Sitophilus zeamais</i> après traitement par les différentes concentrations de l'huile essentielle du <i>Mentha pulegium</i> après 24h ,48h et 72h ($m \pm SE$; N= 10).	23
08	Effet de <i>Mentha pulegium</i> sur les adultes de <i>Sitophilus zeamais</i> : données exprimées après transformation angulaire.	23
09	Transformation en probit des mortalités corrigées et des doses en logarithmes décimaux.	24
10	Analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration $\times$ Temps) des effets sur la mortalité de <i>Sitophilus zeamais</i> .	25

INTRODUCTION



1. INTRODUCTION

En Algérie, comme dans l'ensemble de l'Afrique du Nord, les céréales constituent une composante essentielle de la production agricole et représentent la base de l'alimentation humaine. Elles alimentent également plusieurs secteurs de transformation, notamment la meunerie, la boulangerie et l'industrie agroalimentaire (**Boulal et al., 2007**). Cependant, la production et le stockage des céréales demeurent confrontés à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques susceptibles d'entraîner des pertes économiques importantes.

Parmi ces contraintes, les insectes ravageurs des denrées stockées occupent une place prépondérante en raison des pertes quantitatives et qualitatives qu'ils provoquent, ainsi que de leur capacité à favoriser le développement de microorganismes pathogènes (**Aymen, 2005**). Leur présence dans les structures de stockage entraîne une détérioration des grains, une diminution de leur valeur nutritionnelle et commerciale, ainsi qu'une réduction de leur pouvoir germinatif (**Gwinner et al., 1996**). Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont *Sitophilus zeamais*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granarius*, *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum*. Leur développement est favorisé par des conditions de température et d'humidité adéquates, tandis que certaines espèces produisent des sécrétions riches en quinones susceptibles d'altérer la qualité des denrées et de présenter des risques pour la santé humaine (**Roger, 2002**). Les dégâts peuvent débuter dès la maturation des grains et se poursuivre durant toute la période de stockage (**Pruthi et Singh, 1950**).

Afin de limiter ces pertes, les pesticides chimiques ont longtemps constitué le principal moyen de lutte grâce à leur efficacité et à leur facilité d'utilisation. Dans les systèmes de stockage, les fumigants tels que la phosphine et le bromure de méthyle sont largement employés pour protéger les céréales contre les infestations (**Suthisut et al., 2011**). Toutefois, leur utilisation intensive et parfois incontrôlée a entraîné de nombreuses conséquences négatives, notamment la contamination de l'environnement et des denrées alimentaires, la toxicité pour les organismes non ciblés ainsi que l'apparition de populations d'insectes résistantes (**Isman, 2005 ; Carlos, 2006 ; Leonard et Ngamo, 2004 ; Nicolopoulou-Stamati et al., 2016**).

Face à ces préoccupations, l'intérêt pour les alternatives naturelles issues des plantes n'a cessé de croître au cours des dernières décennies. De nombreuses recherches se sont orientées vers l'identification de métabolites secondaires végétaux présentant des propriétés insecticides, répulsives ou inhibitrices du développement des insectes (**Ndomo et al., 2009**).

Plusieurs travaux ont montré que les extraits végétaux et les biopesticides peuvent être intégrés efficacement dans les programmes de protection intégrée des cultures grâce à leur biodégradabilité, leur faible impact environnemental et leur richesse en composés bioactifs tels que les terpènes, les flavonoïdes et les alcaloïdes (**Arnason et al., 2008 ; Glitho et al., 2008 ; Regnault-Roger et al., 2008 ; Mouden et al., 2017 ; Souto et al., 2021**). Ils représentent ainsi une alternative prometteuse pour réduire les pertes post-récolte, notamment dans les régions où les systèmes de stockage restent vulnérables aux infestations (**Bezabih et al., 2022**).

Parmi les substances naturelles les plus étudiées figurent les huiles essentielles. Produites par les plantes comme mécanisme de défense contre les insectes, les agents pathogènes et divers stress environnementaux, elles possèdent de nombreuses propriétés biologiques, notamment insecticides, répulsives, antialimentaires et inhibitrices de croissance. Leur rôle dans les stratégies modernes de protection des cultures est aujourd'hui largement reconnu (**Lahlou, 2004**).

Dans cette perspective, la présente étude vise à évaluer l'activité insecticide des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* L. et de *Mentha pulegium* L. vis-à-vis des adultes de *Sitophilus zeamais*, l'un des principaux ravageurs des céréales stockées. Ces deux espèces aromatiques, largement répandues dans le bassin méditerranéen, sont reconnues pour leur richesse en composés bioactifs susceptibles d'exercer une activité insecticide et de constituer une alternative écologique aux pesticides chimiques conventionnel

MATERIELETT METHODES

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'El Tarf

Le Jebel Bou Latan, situé dans la région de F'zara au sein de la commune de Lac des Oiseaux, dans la wilaya de El Tarf (**Fig. 1**), les coordonnées géographiques approximatives sont : Latitude : 36.83° Nord et Longitude : 8.12° Est, s'inscrit dans un paysage naturel caractéristique du nord-est algérien, marqué par un relief vallonné à montagneux et un climat méditerranéen humide. Elle abrite une biodiversité remarquable incluant une flore méditerranéenne variée, au sein de laquelle les plantes médicinales occupent une place importante. Parmi les espèces les plus répandues figurent le chêne-liège (*Quercus suber*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*), le myrte (*Myrtus communis*), ainsi que d'autres plantes aromatiques et médicinales comme le romarin (*Rosmarinus officinalis*)(L.) et le thym (*Thymus vulgaris*). Ces plantes sont reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques, notamment antiseptiques, anti-inflammatoires et antioxydantes, et sont traditionnellement utilisées par les populations locales dans le traitement de diverses affections. Ainsi, cette richesse floristique confère à la région une valeur écologique et ethnobotanique considérable.

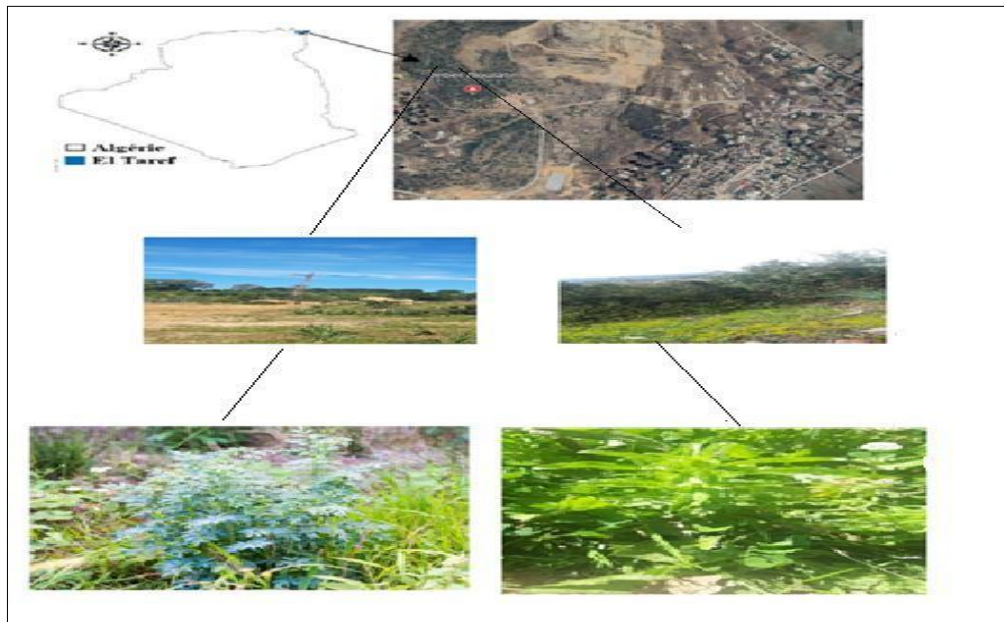


Figure 1 : Les échantillons des plantes ont été collectés au niveau d'une station d'échantillonnage localisée à Jebel Bou Latan (F'zara au sein de la commune de Lac des Oiseaux), située dans la wilaya de *El Tarf*, au nord-est de l'Algérie.

2.2. Modèle biologique animal

2.2.1. Présentation de l'insecte *Sitophilus zeamais*

Sitophilus zeamais (**Fig. 2**), communément appelé charançon du maïs ou calandre du maïs, est une espèce d'insectes coléoptères de la famille des Curculionidae, à répartition pantropicale. Ce charançon est un insecte ravageur des céréales stockées, dont les larves se développent à l'intérieur des grains. Il attaque non seulement le maïs, mais également d'autres céréales, telles que blé, riz, sorgho, etc., ainsi que les produits dérivés (farine), ainsi que certaines denrées stockées comme les cossettes de manioc. Un coléoptère Histeridae: *Teretrius (Neotepetrius) nigrescens* (Lewis), originaire du Mexique, est actuellement employé en lutte biologique pour limiter les dégâts de ce ravageur.

2.2.2. Origine et taxonomie

Longtemps considéré comme *sitophilus oryzae* de grande taille, *sitophilus zeamais* est un insecte cosmopolite, mieux adapté que *S.oryzae* aux températures et aux humidités élevées. C'est le principal ravageur du riz dans le monde : il est particulièrement répandu en Afrique sur maïs. Son origine reste inconnue de manière certaine (Akol *et al.*, 2011 in (NDIAYE, 2018a)).

2.2.3. Position systématique de *Sitophilus zeamais* :

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : hexapoda

Classe : Insecta

Ordre : Coleoptera

Famille : Curculionidae

Genre : *Sitophilus*

Espèce : *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855)



Figure 2: *Sitophilus zeamais*

2.2.4. Morphologie de l'insecte

L'Adulte est de couleur brun-rouge foncé et noir, avec en général deux petites taches claires sur chaque élytre, Certains détails morphologiques permettent de distinguer *S. zeamais* de *S. Oryzae* l'épistérne méta thoracique porte, à chacune de ses extrémités, trois rangées de ponctuations (deux seulement chez *S.oryzae*) : la fossette frontale située entre les yeux est profonde et allongée (**Delobel et Tran, 1993**). La ponctuation du pronotum ne laisse pas apparaître de ligne médiane lisse, ou du moins celle-ci n'atteint pas la base de pronotum. L'armature génitale : la face dorsale de l'édéage est creusée de deux sillons longitudinaux (bien visibles en lumière rasante), son extrémité est recourbée et pointue, sclérite en forme de y au 8e sternite invaginé (spiculum ventral) de la femelle qui est censé être arrondi et épais chez *S. oryzae* alors qu'il est pointu et mince chez *S. zeamais*. Dimorphisme sexuel comme chez *s.oryzae* (**Delobel et Tran, 1993**). Le charançon du maïs est légèrement plus grand que le charançon du riz ; en effet, il mesure en moyenne 2,8 mm contre 2,3 mm (**NDIAYE, 2018a**).

S. zeamais préfère les grains de grande taille comme le maïs. Larve semblable à celle de *S. oryzae*. Il y a quatre stades larvaires ; la nymphe s'effectue à l'intérieur du grain. Lorsque plusieurs larves sont présentes dans le même grain, il n'en émerge qu'un seul adulte (cannibalisme) (**Delobel et Tran, 1993**). *Sitophilus zeamais* a une plus grande activité de vol que *S. oryzae* ; et donc une capacité de dispersion naturelle plus grande. Il y a aussi un effet significatif du type de céréales, en général, les insectes élevés sur le maïs ont une plus grande activité de vol que ceux élevés sur le blé. En effet, l'activité de vol de *Sitophilus zeamais* est de 35% sur le maïs contre 18% sur le blé (**Vásquez-Castro et al., 2009**).

2.2.5. Bio-écologie

Le Développement optimum de *Sitophilus zeamais* (**Fig. 3**) est entre 27 et 31°, pour 70% d'humidité. Les céréales ayant une teneur en eau inférieure à 10% ne sont que peu attaquées (**Delobel et Tran, 1993**). Les variétés de maïs à spathes enveloppant hermétiquement l'épi sont relativement protégées contre *S. zeamais* (infestation réduite de moitié environ) ; mais d'autres ravageurs peuvent offrir des portes d'entrée aux charançons. De nombreux autres facteurs interviennent dans les mécanismes de résistance du maïs à *S. zeamais* : parmi les principaux : dureté du péricarpe, teneur en protéines, teneur en acides phénoliques du péricarpe (notamment l'acide (E) férulique), teneur en acide palmitique. Les variétés de paddy à glumelles hermétiquement fermées ou résistant à la cassure sont moins infestées que les autres variétés

(Delobel et Tran, 1993). Le cycle de développement complet des charançons, qui sont des espèces holométaboles et polyvoltines, est de 26 à 35 jours dans les zones tropicales et sub-tropica« Cette étude s'inscrit dans la recherche de solutions naturelles et durables pour la protection des céréales stockées, en utilisant les huiles essentielles comme alternative aux pesticides chimiques (Haryadi et Fleurat Lessard, 1994 ; Seck, 2009 ; Gallo *et al.*, 2002 ; cité par (NDIAYE, 2018b) ; et enfin, il est de 31 jours environ à 27,5°C pour la souche symbiotique (Charles, 1997 ; Lefèvre, 2004).

Ce cycle peut atteindre 110 jours dans des conditions très défavorables (Cornelius *et al.*, 2008). En effet, selon Seri-Kouassi *et al.* (1987), la diversité des conditions écologiques entraînent l'adaptation des populations tandis que leurs cycles subissent des variations. Les données écologiques influenceraient donc les paramètres biologiques des populations. Chez *S. zeamais*, la maturité sexuelle est acquise dès le jour même où l'insecte sort du grain. Les femelles se déplacent sur la nourriture pour libérer l'hormone sexuelle, la phéromone ; et les mâles sont alors attirés par cette phéromone pour l'accouplement (Mason, 2003).

Le développement larvaire (3 à 4 stades larvaires et un stade nymphal) jusqu'à l'âge adulte se déroule à l'intérieur du grain. L'incubation des oeufs va de 3 à 6 jours (Gallo *et al.*, 2002). En général, les larves du genre *Sitophilus* se nourrissent préférentiellement d'endosperme ou de germe, réduisant alors les valeurs nutritives des protéines et vitamines (Dal Bello *et al.*, 2001). La limite inférieure concernant la température pour le développement de l'oeuf à l'adulte des charançons est de 15,6°C et la limite supérieure est de 32,5°C à 75% d'humidité relative (Thrône, 1994). Après la mue imaginale, l'adulte reste un à deux jours dans le grain avant l'émergence selon la température (Longstaff, 1981 ; Charles, 1997 ; NDIAYE, 2018a).

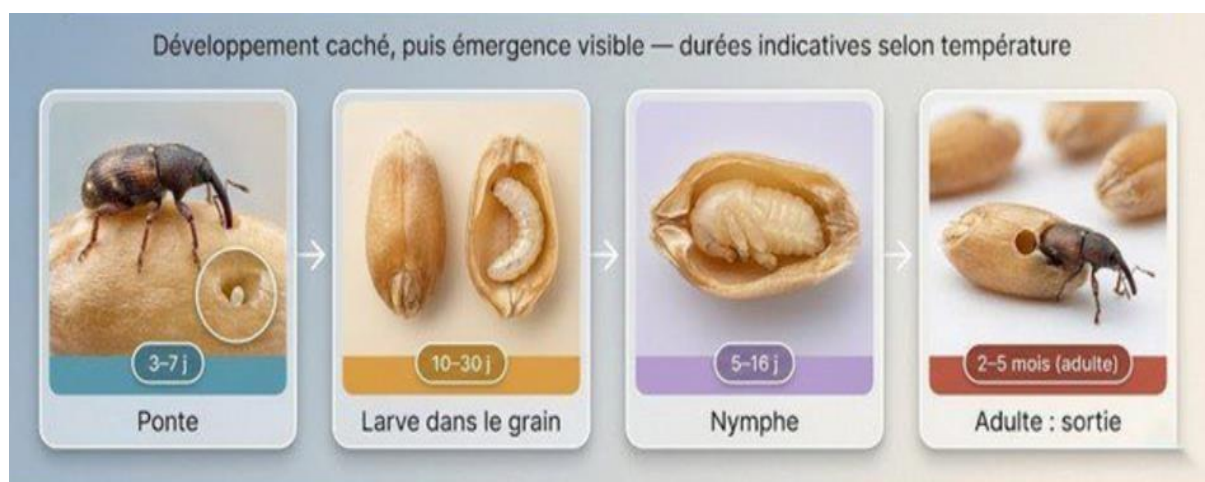


Figure 3 : Cycle de développement de *Sitophilus zeamais* (Anonyme 1).

2.2.6. Dégâts causés par *Sitophilus zeamais*

Les dégâts causés par *Sitophilus zeamais* (**Fig. 4**) sur le maïs sont importants et commencent dès le stockage des grains. Cet insecte ravageur creuse des galeries à l'intérieur des grains, entraînant une perte de poids, une dégradation de la qualité nutritionnelle et une diminution du pouvoir germinatif des semences (**Rees, 2004 ; Tefera et al., 2011**). L'alimentation larvaire se développe entièrement à l'intérieur du grain, ce qui rend l'infestation difficile à détecter à un stade précoce. En conditions favorables de température et d'humidité, les populations peuvent se multiplier rapidement, provoquant des pertes quantitatives pouvant dépasser 30 à 50 % en stockage prolongé (**Boxall, 2002**). De plus, les attaques de *S. zeamais* favorisent le développement secondaire de moisissures, ce qui compromet davantage la qualité sanitaire des stocks (**Nukenine, 2010**).

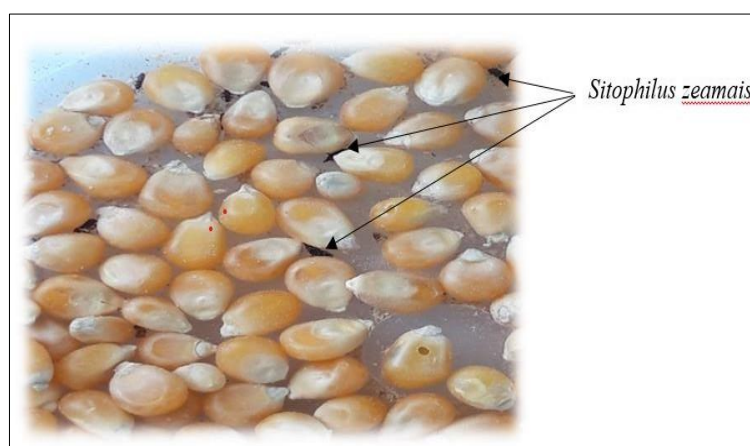


Figure 4 : Dégâts causées par *Sitophilus zeamais* (**Photo personnel, 2026**).

2.2.7. Condition d'élevage de *Sitophilus zeamais*

Les insectes de *Sitophilus zeamais* proviennent d'un stock de maïs infesté collecté dans la région d'El Tarf. L'élevage est réalisé dans des bocaux en verre contenant le maïs qui est utilisée comme substrat alimentaire. L'élevage des insectes se fait dans une étuve sous des conditions optimales de développement, caractérisées par une température de 37 °C- 40 °C et à une humidité relative voisine à 70% (**Fig. 5**).

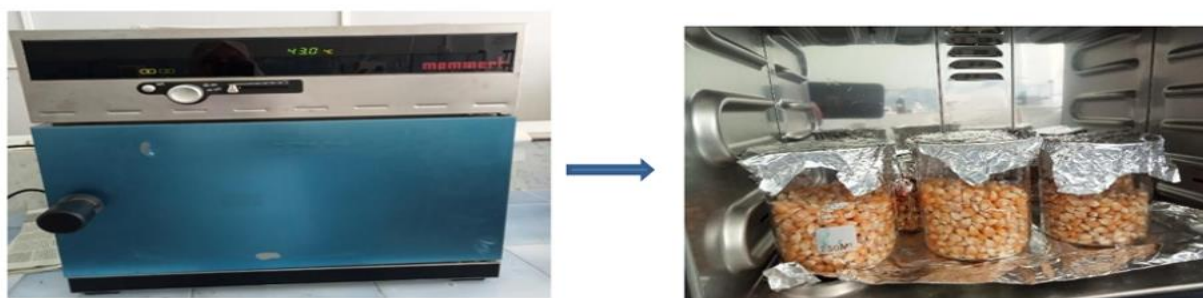


Figure 5: Élevage de masse de *Sitophilus zeamais* sur substrat de maïs en conditions contrôlées (étuve) (Photo personnel, 2026).

2.3. Présentation des plantes étudiées

2.3.1. *Ruta chalepensis*

2.3.1.1. Présentation de la famille des Rutacées

La famille des Rutaceae comprend environ 1 500 espèces de répartition cosmopolite, mais néanmoins essentiellement tropicales et subtropicales. Celles –ci sont regroupées en 155 genres, dont les plus importants sont: *Zanthoxylum*, *Melicop*, *Agathosma*, *Boronia*, *Citrus*, *Ruta*, (Btineau, 2010).

2.3.1.2. Caractères botaniques

Ce sont des arbres et des arbustes, parfois lianoides. Plus rarement des herbes (*Dictamnus*). Les plantes sont parfois épineuses. Les feuilles, non stipulées, souvent persistants ou coriaces, sont habituellement alternes, opposées chez le jaborandi, rarement verticillées, composées-imparipennés à trifoliées, parfois unifoliées (*Citrus*), parfois pennatiséquées (*Ruta*), ou composées palmées. Le limbe est marqué de points translucides, surtout sur les bordes. Le rachis et le pétiole des feuilles unifoliées sont parfois ailes et articulés (Botineau, 2010).

2.3.1.3. Genre *Ruta*

Le nom " *Ruta* " vient du mot grec " *reuo* ", qui signifie libérer, montrant sa réputation comme un libérateur des maladies (AbuHamdah, 2001). Certain genre est constitué d'environ 60 espèces (Al-sagair, 2004). Ces espèces sont des arbustes caractérisés par des feuilles vertes grisâtre, une forte odeur et un goût amer (Tounsi *et al.*, 2011).

Certaines auteurs les considèrent comme des plantes uniquement cultivées mais il existe des formes sauvages qui se distinguent légèrement de celles cultivées par leurs feuilles et tiges plus

courtes et rugueuses, leur odeur et goût plus forts. *Ruta* spp, se propage par une bouture d'une branche ou d'autres parties de la plante et rarement par les graines (**Pollio et al, 2008**). Plusieurs espèces sont assignées au genre *Ruta* parmi lesquelles figurent *Ruta montana* (**Fig. 6**)., *R. chalepensis*(**Fig. 7**)., *R. graveolens* (**Fig. 8**). Cependant, les espèces du genre *Ruta* ne sont pas toujours définie de manière uniforme et les limites entre les espèces sont donc floues (**lièvre, 2004**) Elles sont réparties dans le bassin méditerranéen. Certaines espèces sont endémiques et sont trouvées uniquement dans l'île de Canari et la Corse et d'autres s'étendent à l'Afrique, l'Asie, et l'Amérique (**Pollio et al, 2008**).



Figure 6: *Ruta montana*



Figure 7: *Ruta chalepensis* L.



Figure 8 : *Ruta graveolens* L.

2.3.1.4. Présentation de l'espèce *Ruta chalepensis*

R. chalepensis (Fig. 9) est une plante herbacée à tiges ligneuse à la base, pouvant atteindre 1 m (Baba aissa, 1999). Les feuilles de 6 à 12 cm de long, sont aromatiques, ovales, larges, pennatiséquées, bleu-vert, elles présentent de nombreux lobes oblongs, lancéolés ou aborales. En été, s'épanouissent des fleurs de 1 à 2 cm de diamètre, en coup, de couleur jaune foncé, portant quatre ou cinq pétales frangés de longs poils. Elles sont réunies en cymes lâches (Mioulane, 2004). C'est une espèce méditerranée, relativement commune dans tout l'Algérie septentrionale (Baba aissa, 1999), au Nord-Est de l'Afrique, sud de l'Europ et le sud –ouest de l'Asie (Mioulane, 2004)

2.3.1.5. Position Systématique de *Ruta Chalepensis* :

Règne : Planta

Embranchement : Angiospermes

Classe : Eudicote

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Sapindales

Famille : Rutaceae

Genre : *Ruta*

Espèce : *Ruta chalepensis*



Figure 9 : *Ruta Chalepensis*

2.3.1.6. Description botanique

Ruta chalepensis (Fig. 10) est une plante herbacée vivace à base ligneuse, pouvant atteindre environ 1 m de hauteur (Baba Aissa, 1999). Elle se présente sous forme d'un petit sous-arbrisseau érigé, densément ramifié, mesurant généralement de 0,5 à 1 m, parfois jusqu'à 1,5 m. Les tiges sont robustes et portent un feuillage abondant, fortement aromatique. Les feuilles, longues de 4 à 15 cm et larges de 2 à 9 cm, sont disposées en spirale et profondément divisées (2 à 3 fois pennatiséquées).

Elles présentent une couleur vert glauque à bleu-vert caractéristique, avec de nombreux segments oblongs à lancéolés, ponctués de glandes translucides riches en huiles essentielles.

Les feuilles inférieures sont plus ou moins pétiolées, tandis que les stipules sont absentes. Lorsqu'on les froisse, elles dégagent une odeur forte et pénétrante.

La floraison survient en été. Les fleurs, de 1 à 2 cm de diamètre, sont regroupées en cymes terminales ou axillaires souvent disposées en corymbe. Elles sont bisexuées, généralement tétramères ou pentamères, avec les fleurs centrales souvent à cinq pièces florales. Les pétales libres, de couleur jaune verdâtre à l'extérieur et jaune vif à l'intérieur, sont bordés de fins cils. Les étamines, en nombre double de celui des pétales, entourent un ovaire supère presque arrondi, formé de 4 à 5 loges (**Mioulane, 2004**). Le fruit est une capsule lobée de 5 à 8 mm, s'ouvrant à maturité par l'apex et renfermant 5 à 10 graines. Les graines sont anguleuses, réniformes, de couleur brun foncé à noir brunâtre. La germination est de type épigé. Cette espèce, communément appelée Rue d'Alep, appartient à la famille des Rutaceae et est largement répandue dans les régions méditerranéennes, où elle est appréciée pour ses propriétés médicinales et insecticides.

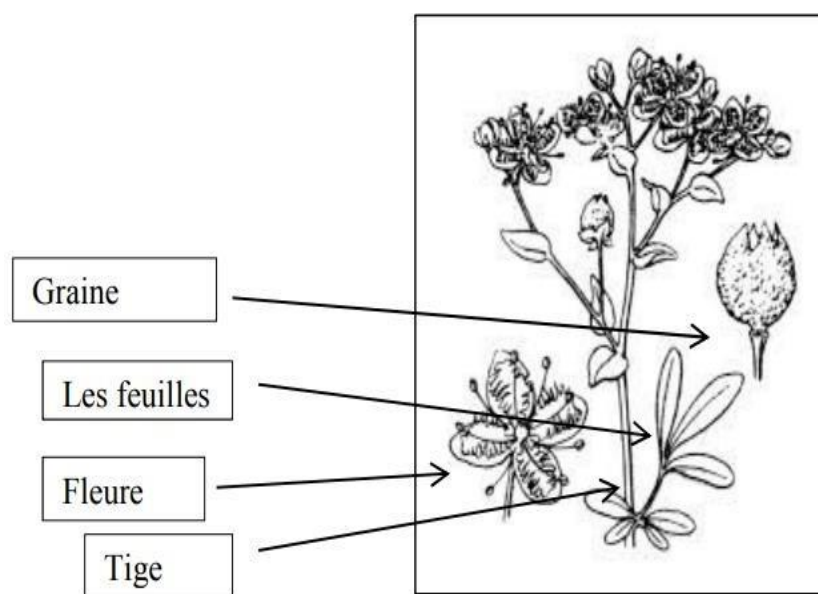


Figure 10 : Schéma présente les différentes parties aériennes du *Ruta chalepensis*

2.3.1.7. Présentation de la famille des Lamiaceae

Les familles des Lamiaceae ou Labiées comptent près de 7 000 espèces réparties dans plus de 230 genres et sont généralement trouvées dans des zones tempérées et méditerranéennes (**Harley et al., 2004; Judd et al., 2016**). Elle est caractérisée par des traits morphologiques comme la présence de tiges quadrangulaires, des feuilles décussées opposées et des fleurs bilabiées formant une inflorescence (**Raven et al., 2013**).

Les espèces appartenant à cette famille sont généralement riches en huiles essentielles produites par des glandes sécrétrices spécialisées, ce qui leur confère des propriétés aromatiques et biologiques importantes (**Bakkali et al., 2008**). Ces composés, notamment les monoterpènes et les sesquiterpènes, jouent un rôle clé dans la défense des plantes contre les agents pathogènes et les insectes (**Isman, 2020**).

En ce qui concerne l'économie, on peut citer plusieurs plantes ayant une valeur économique, parmi lesquelles la menthe (*Mentha*), le thym (*Thymus vulgaris*), la sauge (*Salvia officinalis*) et le romarin (*Rosmarinus officinalis*), qui sont couramment utilisées pour la phytothérapie, la nutrition, ainsi que dans les industries cosmétique et pharmaceutique (**Panda, 2015**).

Par ailleurs, de nombreuses espèces de cette famille se sont également révélées efficaces comme insecticides et repoussantes d'insectes nuisibles à cause de leur huile essentielle (**Isman, 2020**). Ceci fait de ces plantes des espèces qui sont très prometteuses pour le développement de méthodes de protection biologique.

2.3.2. Présentation de *Mentha pulegium*

La *Mentha pulegium* (**Fig, 11**) Linné, 1753 appelée localement « Fliou » (**Lemordant et al., 1977; Bellakhdar, 1978**), est également appelée pouliot, pouliot royal, herbe aux puces, chasse puce, herbe de Saint Laurent ou frétille. Le nom de pulegium vient de latin de pulex, la puce car la plante a la propriété d'éloigner les puces (**Bekhechi, 2008**). Les Menthes désignent un genre de dicotylédones gamopétales, de l'ordre des Lamiales et de la famille des Lamiacées, La *Mentha* formée de près de 3500 espèces réparties sur 8 sous-familles. Près de la moitié (47%) des Lamiaceae sont regroupées dans la sous-famille des Nepetoideae (**Bruneton, 1993**).

Au sein de la sous-famille des Nepetoideae, le genre *Mentha* est représenté par 18 espèces et environ 11 hybrides. L'hybridation intra spécifique est relativement aisée et rend la taxonomie

particulièrement délicate. Elle est toxique à forte dose et peut provoquer l'avortement. Cette plante a aussi la particularité d'être insecticide puisqu'elle a été déjà utilisée pour faire éloigner les insectes.

Le genre *Mentha*, est responsable d'environ 2000 tonnes d'huile essentielle dans le monde entier, ce qui en y fait le deuxième genre producteurs des huiles essentielles les plus importantes, après le genre *Citrus*. Les Menthes, du nom latin *Mentha*, sont des plantes vivaces, herbacées indigènes et très odorantes appartenant à la famille des Lamiacées (**Bruneton, 1993**).

Parmi toutes les labiées (Lamiaceae), les Menthes se reconnaissent, en plus de leur odeur spéciale, à leurs fleurs très petites, à leurs corolles presque régulières à quatre lobes presque égaux et leurs quatre étamines également presque égales. Les menthes ne dépassant pas 1 m, à tiges quadrangulaires, à feuilles pétiolées ou sessiles, arrondies ou ovales, plus ou moins dentées, à fleurs presque régulières mauves, roses ou blanches. Les quatre parties des fruits sont ovoïdes, parfois verruqueuses, l'odeur est forte et agréable, plus ou moins fine, à tiges fortifiées terminées par les fleurs inflorescences en tête arrondie.

2.3.2.1. Position systématique de *Mentha pulegium*

D'après Quézel **P.** et Santa **S.** en 1963 et Guignard **J.L.** et Dupont **F.** en 2004, la classification systématique de la *Mentha pulegium* est la suivante :

Règne: Végétal

Embranchement: Spermaphytes

Sous-embranchement: Angiospermes

Classe: Dicotylédones

Sous-classe : Gamopétales

Ordre: Lamiales

Famille: Labiacées

Genre: *Mentha*

Espèce: *Mentha pulegium*



Figure 11: *Mentha pulegium*

2.3.2.2. Description botanique *Mentha pulegium*

Mentha pulegium Famille des Lamiacées (Lamiaceae) ou Labiées (Labiatae), vivace, pubescente, couchée, parfois dressée de petite taille à taille moyenne (10 à 30 cm de haut, 45 de large) radicante, généralement poilue, à tiges florifères dressées, fortement aromatique à odeur piquante avec des petites feuilles étroites elliptiques à ovales, à peine dentées, à pétiole court, souvent poilues au revers avec des bractées foliacées. Elle possède des fleurs lilas, de 4,5 à 6 mm de long, qui apparaissent l'été, de juillet à fin septembre, parfois rose et d'autres fois blanches échelonnées le long de la tige. Ses corolles ont 4 lobes presque égaux et 4 étamines saillantes, en verticilles denses, très espacés mais pas en capitule terminal (sommet de la tige non fleuri). Elle possède des verticilles à l'aisselle des feuilles supérieures et moyennes avec un calice velu, nettement cannelé, poilu dans la gorge, les 2 dents inférieures plus étroites. Sa floraison étant de juillet à octobre

2.3.2.3. Séchage et conservation

La plante fraîche de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium* a été séchée à une température de 45 °C dans une étuve du laboratoire de biologie végétale de l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf (**Fig. 12**). Les échantillons ont été régulièrement retournés afin d'assurer un séchage homogène. Cette méthode vise à réduire l'humidité résiduelle et à prévenir la fermentation microbienne ainsi que la formation de moisissures.



Figure 12 : séchage la plante *R. chalepensis* et *Mentha pulegium* dans une étuve du laboratoire de Biologie végétale (**Photo personnel, 2026**).

2.4. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de huile essentielle de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium* a été réalisée au laboratoire de chimie de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf, en utilisant un hydrodistillateur de type Clevenger (**Fig. 13**). Au cours de cette procédure, une quantité de 100 g de feuilles sèches de *R. chalepensis* a été introduite dans un ballon de 1000 mL contenant 700 mL d'eau distillée. L'ensemble a été porté à ébullition à l'aide d'un chauffe-ballon pendant 3 à 4 heures à une température d'environ 100 °C (l'extraction est répétée trois fois).

À la fin de la distillation, le distillat obtenu se présente sous forme de deux phases non miscibles: une phase aqueuse et une phase organique contenant l'huile essentielle. L'huile essentielle obtenue a été conservée à une température de 4 °C afin de préserver ses propriétés.



Figure 13 : Montage d'hydrodistillateur de type Clevenger (**Photo personnel, 2026**).

2.5. Calcul du rendement en huile essentielle

L'intérêt du calcul de rendement en huiles essentielles est à caractère économique et se résume dans la rentabilité d'utilisation de la plante choisie. Les rendements d'extraction sont calculés en tenant compte du taux de matière sèche de la plante (**Karahacane, 2015**) selon la relation

$$R (\%) = [m_1 / m_2] \times 100$$

Où:

R (%): rendement en huile essentielle en %.

m_1 : masse en grammes d'huile essentielle.

m_2 : masse en grammes de la matière végétale sèche.

2.6. Évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium* sur adultes de *Sitophilus zeamais*

Tout d'abord, nous avons extrait l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium*, et la quantité obtenue était satisfaisante pour mener à bien notre expérience. Les organismes de *Sitophilus zeamais* sont conservés dans des conditions de laboratoire, à une température de 20 à 25 °C et une humidité relative adéquate, dans des bocaux en verre contenant du maïs servant de substrat alimentaire. Nous avons prélevé des individus adultes que nous avons placés séparément dans des boîtes de pétri en plastique de 8 cm de diamètre, dont le couvercle est perforé pour permettre la respiration des insectes.

Par contact direct

Dans notre étude, une solution mère d'huile essentielle a été préparée dans de l'acétone à 95 %, puis homogénéisée par agitation pendant 5 min. À partir de cette solution, trois concentrations de 1,5 ; 3 et 6 µL d'huile essentielle par mL de solution ont été préparées et utilisées pour les essais expérimentaux. Après application, l'acétone a été laissée s'évaporer complètement avant l'introduction des insectes. Dans chaque boîte de pétri, dix adultes de *Sitophilus zeamais* ont été déposés. Le lot témoin a reçu uniquement de l'acétone à 95 %. Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque concentration d'huile essentielle. L'ensemble des boîtes a ensuite été placé dans une enceinte à température contrôlée et maintenue constante. La mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* a été évaluée après 24, 48 et 72 h d'exposition. Le pourcentage de mortalité a été calculé en fonction de la concentration de l'huile essentielle appliquée (**Fig. 14**).

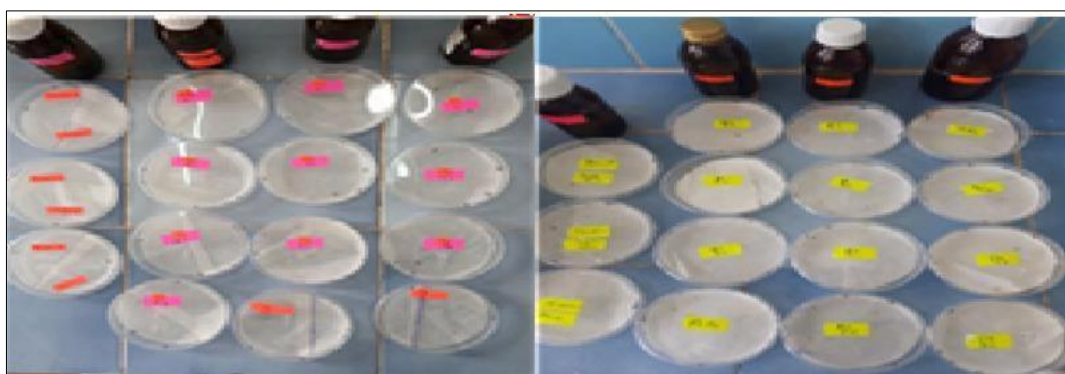


Figure 14. Teste de la toxicité par contact direct de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium* sur l'adulte de *Sitophilus zeamais* (**Photo personnel, 2026**).

2.7. Evaluation de mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais*

2.7.1. Calcul de la mortalité corrigée

Le traitement des valeurs notés lors l'observation des résultats de l'efficacité de l'huile essentielle dans la lutte des insectes, dans le test, il est fait selon la formule suivante :

$$M_c = (M_o - M_t) / (100 - M_t) \times 100$$

Tels que :

M_c = mortalité corrigée (Exprimé en %)

M_t = mortalité enregistrée chez le témoin

M_o = Mortalité enregistrée dans l'échantillon traité en (%) par l'équation suivante :

$$M_o = N_m / N_t \times 100$$

Transformation angulaire :

Après transformation angulaire des pourcentages de mortalité selon Bliss , cité par Fisher et Yates (1957) les données ainsi normalisées font l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification réalisée grâce à un logiciel Minitab (Weisberg, l'écart type $m \pm s$).

Analyse des probits :

Les pourcentages de mortalité corrigée subissent une transformation en probits (Finney, 1971). Les logarithmes des doses en fonction des probits nous permettent de déterminer la droite de régression, à partir de laquelle la concentration létale CL₅₀ est estimée.

2.7.2. Détermination de la CL₅₀

La Dose létale 50 : c'est la quantité de l'huile essentielle, administrée en une Seule fois, qui cause la mort de la moitié des insectes dans chaque essai. La CL₅₀ est une façon de mesurer le potentiel toxique à court terme (toxicité aiguë) d'une matière.

RESULTATS

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium*

Les paramètres organoleptiques de notre huile essentielle aspect, couleur, odeur sont résumé dans le tableau suivant:

Tableau 1: Caractéristiques organoleptiques des huiles essentielles extraites

Huiles	Aspect	Couleur	Odeur
<i>Ruta chalepensis</i>	Liquide limpide	jaune verdâtre	Très forte
<i>Mentha pulegium</i>	Liquide limpide	Jaune très pâle presque blanchâtre	Faible et léger

Chaque huile, a des propriétés organoleptiques caractéristiques (odeur, couleur et goût). A la température ambiante, les huiles extraites sont liquides limpides, on observe la couleur de *Ruta chalepensis* est jaune verdâtre, jaune très pâle presque blanchâtre pour le *Mentha pulegium*. Les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* se caractérisent par une odeur très forte, tandis que celles de *Mentha pulegium* présentent une odeur plus faible et plus légère.

Rendement de l'extraction

Pour chaque échantillon, nous avons calculé le rendement de l'extraction, les résultats sont présentes dans le tableau suivant

Tableau 2 : Rendement d'huile essentielle *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium*

Plantes	Partie utilisée	Rendement moyen
<i>Ruta chalpenesis</i>	Parties aériennes et feuilles	1,1%
<i>Mentha pulegium</i>	Feuilles et sommités fleuries	1,875%

3.2. Evaluation de mortalité corrigé des adultes de *Sitophilus zeamais* par d'huile essentielle *Ruta chalepensis* et *Mentha pulegium* par effet de contact

3.2.1. Effet de *Ruta chalepensis*

Dans l'objectif de connaître l'effet bioinsecticide de l'extrait de la plante testée, des essais toxicologiques à l'égard des adultes de *Sitophilus zeamais* des ont été réalisés. Les adultes ont été exposées pendant 3 jours à 3 concentrations de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* (1,5 μ L ; 3 μ L et 6 μ L). La présentation de la mortalité corrigé selon le temps durant des différentes séries d'expérience (témoins et traitées) sont également récapitulés dans le **Tableau 3**. Les résultats montrent une relation concentration-réponse positive, caractérisée par une augmentation du taux de mortalité avec l'élévation de la dose et du temps d'exposition (**Fig. 15**). Après 24 h de traitement, les taux de mortalité varient de 15,0 % à 30,5 % selon les concentrations testées. Après 48 h, la mortalité augmente progressivement, passant de 32,5 % pour la plus faible dose (1,5 μ L) à 47,5 % pour la dose la plus élevée (6 μ L). Au troisième jour d'exposition (72 h), les taux de mortalité atteignent respectivement 47,5 % et 70,0 % pour les doses de 1,5 μ L et 6 μ L. Ces résultats mettent en évidence une relation concentration-réponse nette, indiquant que l'augmentation de la concentration entraîne une augmentation significative de la mortalité des insectes exposés. L'analyse de la variance des données révèle un effet hautement significatif ($P < 0,001$) (**Tableau 8**).

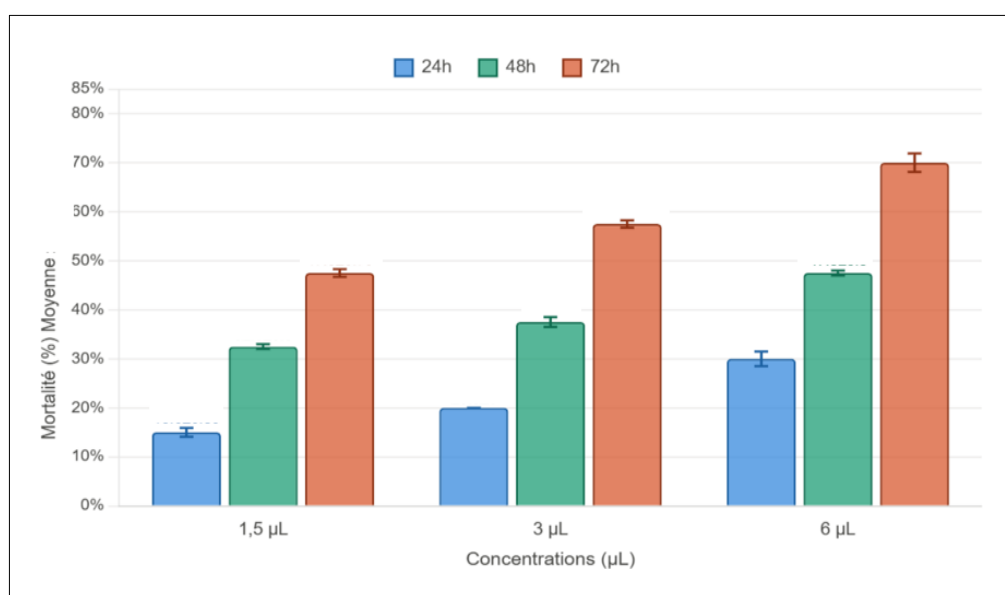


Figure 15 : Mortalité corrigé moyenne (%) des adultes en fonction de la concentration et du temps d'exposition.

Une transformation angulaire des mortalités corrigées a été effectuée pour normaliser les données **Tableau 4**.

L'équation de la droite de régression des probit des pourcentages de mortalité corrigée en fonction du logarithme décimal des concentrations de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* est présentée dans le **tableau 5 et la figure 16**. Le coefficient de détermination obtenu ($R^2 = 0,9944$) indique un excellent ajustement du modèle de régression et met en évidence une relation positive entre les probits de mortalité et le logarithme des concentrations testées. Cette forte corrélation confirme l'existence d'une relation concentration-réponse. À partir de cette équation, la concentration létale médiane (CL_{50}) après 72h d'exposition a été estimée à 3,07 μ L, indiquant qu'une dose de 3,07 μ L est suffisante pour provoquer 50 % de mortalité chez les adultes de *Sitophilus zeamais* dans les conditions expérimentales de l'étude.

Tableau 5: Transformation en probit des mortalités corrigées et des doses en logarithmes décimaux

Concentrations (µL)	1,5	3	6
$\text{Log}_{10}(C)$	0,176	0,477	0,778
Mortalité corrigée (%)	43,57	49,31	56,79
Probit	4,839	4,983	5,170

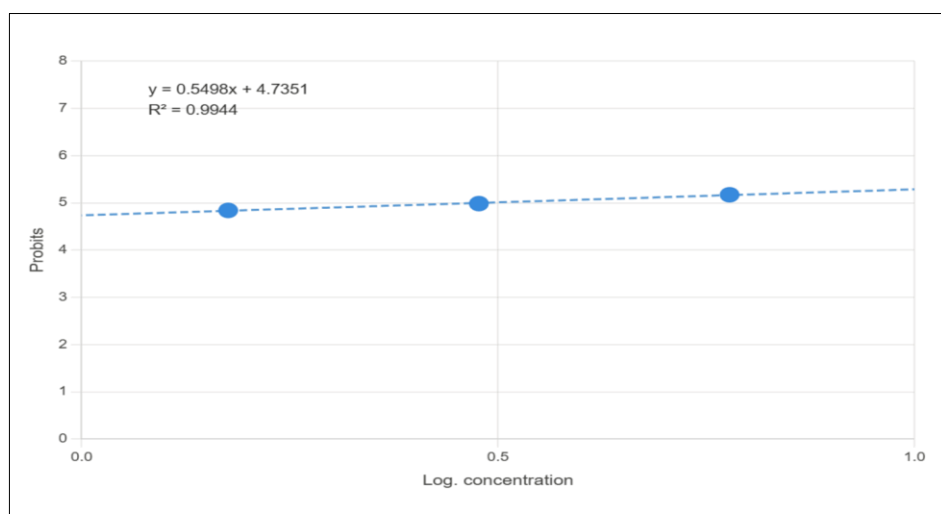


Figure16: Relation entre les probits des mortalités corrigées et les logarithmes décimaux des concentrations de l'huile essentielle après 72h d'exposition. La qualité de l'ajustement est exprimée par le coefficient de détermination (R^2).

L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration × Temps)

Les effets de la concentration, du temps d'exposition ainsi que leur interaction sur la mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* ont été évalués à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA: Concentration × Temps), réalisée sur les données issues de trois concentrations, trois temps d'exposition et quatre répétitions par traitement. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 6**. L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration × Temps) montre un effet très hautement significatif de la concentration sur la mortalité de *Sitophilus zeamais* ($F = 23,51$; $p < 0,000$), ainsi qu'un effet très hautement significatif du temps d'exposition ($F = 101,37$; $p < 0,000$).

En revanche, l'interaction entre la concentration et le temps n'est pas significative ($F = 0,49$; $p = 0,744$), indiquant que l'effet de la concentration sur la mortalité est indépendant du temps d'exposition dans les conditions expérimentales étudiées.

Tableau 6 : Analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration $\times$ Temps) des effets sur la mortalité de *Sitophilus zeamais*.

Source de variation	ddl	F	p
Concentration	2	23,51	< 0,0001
Temps	2	101,37	< 0,0001
Concentration $\times$ Temps	4	0,49	0,744
Erreur	27	—	—

2.1.1. Effet de *Mentha pulegium*

Dans l'objectif de connaître l'effet bioinsecticide de l'extrait de la plante testée, des essais toxicologiques à l'égard des adultes de *Sitophilus zeamais* ont été réalisés. Les larves ont été exposées pendant 3 jours à 3 concentrations de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* (1,5 μ L ; 3 μ L et 6 μ L). La présentation de la mortalité corrigée selon le temps durant des différentes séries d'expérience (témoins et traitées) sont également récapitulés dans le **Tableau 7**. Les résultats montrent une relation concentration-réponse positive, caractérisée par une augmentation du taux de mortalité avec l'élévation de la dose et du temps d'exposition. Après 24 h de traitement, les taux de mortalité varient de 5 % à 15 % selon les concentrations testées. Après 48 h, la mortalité augmente progressivement, passant de 15% pour la plus faible dose (1,5 μ L) à 35% pour la dose la plus élevée (6 μ L). Au troisième jour d'exposition (72 h), les taux de mortalité atteignent respectivement 20,5 % et 52,5 % pour les doses de 1,5 μ L et 6 μ L. Ces résultats mettent en évidence une relation concentration-réponse nette, indiquant que l'augmentation de la concentration entraîne une augmentation significative de la mortalité des insectes exposés. L'analyse de la variance des données révèle un effet dose hautement significatif ($P < 0,001$) (**Tableau 10**).

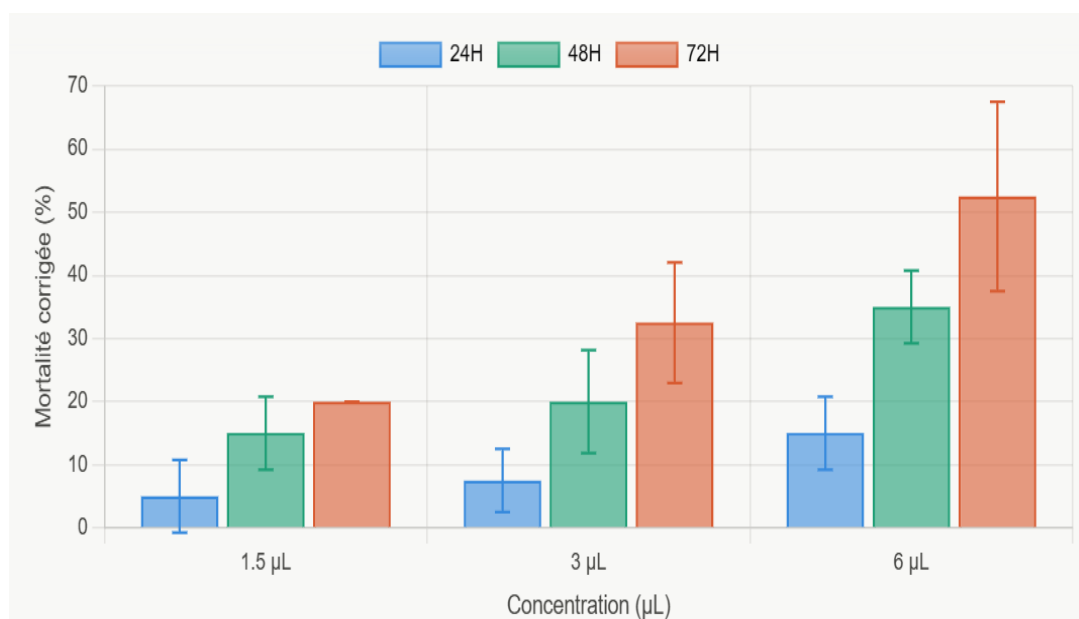


Figure 17 : Mortalité corrigé moyenne (%) des adultes en fonction de la concentration et du temps d'exposition.

Une transformation angulaire a été appliquée aux mortalités corrigées dans le but de normaliser les données présentées dans le **Tableau 8**.

L'équation de la droite de régression des probits des mortalités corrigées en fonction du logarithme décimal des concentrations de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* est consignée dans le **tableau 9** et illustrée par la **figure 18**. Le coefficient de détermination obtenu ($R^2 = 0,999$) témoigne d'un ajustement remarquable du modèle aux données expérimentales, traduisant une relation linéaire positive hautement significative entre la mortalité de *Sitophilus zeamais* et les concentrations appliquées. Cette relation confirme l'existence d'un effet concentration-réponse bien établi, caractéristique des bioinsecticides d'origine végétale. Sur la base de cette régression, la concentration létale médiane (CL_{50}) estimée après 72 heures d'exposition est de 1,7 µL, indiquant qu'une faible concentration de l'huile essentielle suffit à provoquer la mortalité de la moitié de la population adulte de *S. zeamais* testée dans les conditions expérimentales de la présente étude. Cette valeur reflète la toxicité élevée de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* vis-à-vis de ce ravageur des denrées stockées.

Tableau 9 : Transformation en probit des mortalités corrigées et des doses en logarithmes décimaux.

Concentrations (µL)	1,5	3	6
Log₁₀(C)	0,176	0,477	0,778
Mortalité corrigée (%)	26,92	34,76	46,43
Probit	4,476	4,938	5,524

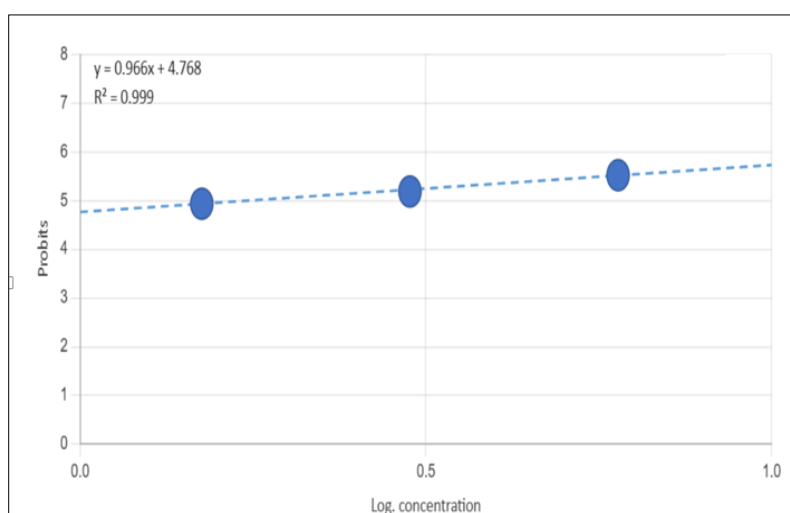


Figure 18: Relation entre les probits des mortalités corrigées et les logarithmes décimaux des concentrations de l'huile essentielle après 72h d'exposition. La qualité de l'ajustement est exprimée par le coefficient de détermination (R^2).

L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration × Temps)

Les effets de la concentration, du temps d'exposition ainsi que leur interaction sur la mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* ont été évalués à l'aide d'une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA Concentration × Temps), réalisée sur les données issues de trois concentrations, trois temps d'exposition et quatre répétitions par traitement. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 10**. L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration × Temps) montre un effet hautement significatif de la concentration sur la mortalité de *Sitophilus zeamais* ($F = 22,569$; $p < 0,0000$), ainsi qu'un effet très hautement significatif du temps d'exposition ($F = 33,369$; $p < 0,0000$). En revanche, l'interaction entre la concentration et le temps n'est pas significative ($F = 2,146$; $p = 0,102$), indiquant que l'effet de la concentration sur la mortalité est indépendant du temps d'exposition dans les conditions expérimentales étudiées.

Tableau 10. Analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration × Temps) des effets sur la mortalité de *Sitophilus zeamais*.

Source de variation	ddl	F	<i>p</i>
Concentration	2	22,569	< 0,0000
Temps	2	33,369	< 0,0000
Concentration × Temps	4	2,146	0,102
Erreur	27	—	—

DISCUSSION

4. DISCUSSION

Les résultats de la présente étude démontrent clairement l'activité insecticide des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* et de *Mentha pulegium* à l'égard des adultes de *Sitophilus zeamais*. Une relation concentration–réponse nette a été mise en évidence, la mortalité augmentant de manière progressive et significative avec l'élévation des concentrations appliquées, comportement typique des bioinsecticides d'origine végétale. Par ailleurs, l'effet du temps d'exposition s'est également révélé hautement significatif ($P < 0,001$), traduisant une action toxique cumulative des huiles essentielles testées. L'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA : Concentration $\times$ Temps) a confirmé que ces deux paramètres exercent des effets indépendants et hautement significatifs sur la mortalité de *S. zeamais*, sans interaction significative entre eux ($P = 0,102$), ce qui suggère que l'augmentation de la mortalité est attribuable de façon distincte à chacun des deux facteurs.

Ces résultats s'inscrivent dans la continuité des travaux récents de la littérature scientifique. Une méta-analyse conduite par **Campos et al. (2022)** portant sur l'utilisation des huiles essentielles contre *Sitophilus zeamais* a confirmé l'existence d'une relation dose–réponse marquée, les mortalités les plus élevées étant systématiquement associées aux concentrations les plus importantes. Ces auteurs ont en outre souligné le potentiel considérable des huiles essentielles en tant qu'alternatives durables aux insecticides chimiques de synthèse pour la protection des céréales stockées.

L'activité insecticide enregistrée pour *Mentha pulegium* peut être attribuée à la présence majoritaire du pulégone, un monoterpène aux propriétés neurotoxiques bien documentées. **Sousa et al. (2023)** ont démontré que cette huile essentielle réduisait significativement les populations de *S. zeamais* au cours du stockage du maïs, tout en limitant les dégâts causés aux grains. L'efficacité observée a été associée à l'action perturbatrice des composés terpéniques sur le système nerveux de l'insecte, entraînant paralysie puis mort.

Concernant *Ruta chalepensis*, son activité insecticide et répulsive est largement attribuée à la présence de cétones aliphatiques, notamment le 2-undécanone et le 2-nonanone. Ces molécules agissent sur plusieurs cibles physiologiques chez les insectes, perturbant à la fois la transmission nerveuse, la respiration cellulaire et les mécanismes enzymatiques de détoxification, ce qui expliquerait les niveaux élevés de mortalité enregistrés dans la présente étude.

Des résultats comparables ont été rapportés par **Fouad et al. (2023)**, qui ont mis en évidence une activité insecticide significative de diverses huiles essentielles contre *S. zeamais*, avec une mortalité croissante en fonction de la concentration et du temps d'exposition. Dans le même sens, **Moutassem et al. (2024)** ont observé des effets similaires avec les huiles essentielles de *Thymus pallescens* et *Cymbopogon citratus*, soulignant le rôle prépondérant de la concentration dans l'expression de l'activité insecticide des huiles essentielles.

L'action toxique des deux huiles essentielles étudiées pourrait résulter d'un effet synergique entre leurs différents constituants bioactifs, capables d'agir simultanément sur plusieurs cibles biologiques de l'insecte. Cette polyvalence d'action représente un avantage considérable par rapport aux insecticides chimiques, dont le mode d'action unique favorise le développement de résistances chez les populations de ravageurs.

En définitive, les résultats obtenus confirment le potentiel des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* et de *Mentha pulegium* comme alternatives écologiques et efficaces aux insecticides chimiques conventionnels pour la protection des stocks céréaliers contre *Sitophilus zeamais*. Leur efficacité insecticide élevée, conjuguée à leur biodégradabilité naturelle, leur faible toxicité résiduelle et leur impact environnemental limité, en font des candidats particulièrement prometteurs pour l'élaboration de stratégies de gestion intégrée des ravageurs des denrées stockées.

CONCLUSION

Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que les huiles essentielles de *Ruta chalepensis* et de *Mentha pulegium* présentent une activité insecticide remarquable contre les adultes de *Sitophilus zeamais*. Les essais biologiques ont montré que l'augmentation de la concentration et du temps d'exposition entraîne une hausse significative de la mortalité, confirmant l'efficacité de ces extraits végétaux. Les analyses statistiques ont également mis en évidence l'influence significative de ces deux facteurs sur la réponse des insectes.

Ces résultats soulignent l'intérêt des huiles essentielles comme alternatives naturelles aux insecticides chimiques conventionnels dans la protection des denrées stockées. Leur utilisation pourrait contribuer à une gestion plus durable des ravageurs tout en limitant les risques liés à l'emploi excessif des produits de synthèse.

Toutefois, des recherches complémentaires sont nécessaires pour identifier les composés actifs responsables de cette activité, évaluer leur mode d'action et vérifier leur efficacité dans les conditions réelles de stockage. Ainsi, les huiles essentielles étudiées constituent une voie prometteuse pour le développement de biopesticides respectueux de l'environnement et compatibles avec les principes de l'agriculture durable.

Résumé

RESUME

Cette étude a été réalisée afin d'évaluer l'activité insecticide des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* et de *Mentha pulegium* contre les adultes de *Sitophilus zeamais*, un ravageur majeur des céréales stockées. Différentes concentrations des huiles essentielles ont été testées et les taux de mortalité ont été enregistrés après 24, 48 et 72 heures d'exposition. Les résultats ont montré que les deux huiles essentielles possèdent une activité insecticide significative, avec une mortalité qui augmente en fonction de la concentration appliquée et de la durée d'exposition. L'analyse statistique a révélé un effet hautement significatif de la concentration et du temps sur la mortalité des insectes. L'étude de la relation concentration-réponse a mis en évidence un excellent ajustement du modèle de régression, permettant l'estimation des concentrations létales médianes (CL50). L'huile essentielle de *Mentha pulegium* a présenté une efficacité particulièrement élevée, avec une CL50 de 1,7 μ L après 72 heures d'exposition. Ces résultats démontrent le potentiel des huiles essentielles étudiées comme alternatives naturelles aux insecticides chimiques pour la protection des denrées stockées. Leur utilisation pourrait contribuer au développement de stratégies de lutte plus respectueuses de l'environnement et compatibles avec les principes de l'agriculture durable.

Abstract

This study was conducted to evaluate the insecticidal activity of the essential oils of *Ruta chalepensis* and *Mentha pulegium* against adults of *Sitophilus zeamais*, one of the most important pests affecting stored cereals. Different concentrations of the essential oils were tested, and mortality rates were recorded after 24, 48, and 72 hours of exposure. The results showed that both essential oils exhibited significant insecticidal activity, with mortality increasing as the concentration and exposure time increased. Statistical analyses revealed a highly significant effect of both concentration and exposure duration on insect mortality. The concentration–response relationship demonstrated an excellent fit of the regression model, allowing the estimation of median lethal concentrations (LC50). The essential oil of *Mentha pulegium* showed particularly high efficacy, with an LC50 value of 1.7 μ L after 72 hours of exposure. These findings highlight the promising potential of the studied essential oils as natural alternatives to chemical insecticides for the protection of stored products. Their use could contribute to the development of environmentally friendly pest management strategies that are consistent with the principles of sustainable agriculture.

الملخص

أُنجزت هذه الدراسة بهدف تقييم الفعالية الحشرية للزيوت الأساسية لنباتي *Mentha* و *Ruta chalepensis* ضد *pulegium* بالغات سوسة الذرة *Sitophilus zeamais*، التي تُعد من أهم الآفات التي تصيب الحبوب المخزنة. وقد تم اختبار تراكيز مختلفة من الزيوت الأساسية، مع تسجيل نسب الوفيات بعد 24 و 48 و 72 ساعة من التعرض.

أظهرت النتائج أن كلا الزيتين الأساسيين يمتلكان نشاطًا حشريًا معتبرًا، حيث ازدادت نسبة الوفيات بزيادة التركيز ومدة التعرض. كما بيّنت التحاليل الإحصائية وجود تأثير معنوي مرتفع لكل من التركيز والزمن على معدل وفيات الحشرات. وأظهرت دراسة العلاقة بين التركيز والاستجابة توافقًا ممتازًا لنموذج الانحدار، مما سمح بتقدير التركيزات القاتلة الوسطية (CL50). وقد أظهر الزيت الأساسي لنبات *Mentha pulegium* فعالية مرتفعة بشكل خاص، حيث بلغت قيمة التركيز القاتل الوسطي (CL50) 1.7 ميكرو لتر بعد 72 ساعة من التعرض.

تؤكد هذه النتائج الإمكانيات الواعدة للزيوت الأساسية المدروسة كبدايل طبيعية للمبيدات الكيميائية في حماية المواد المخزنة. كما يمكن أن يساهم استخدامها في تطوير استراتيجيات مكافحة أكثر احترامًا للبيئة ومتوافقة مع مبادئ الزراعة المستدامة.

Références Bibliographiques

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **AbuHamdah, S. (2001).** Étude ethnobotanique et phytochimique de quelques plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle palestinienne (Thèse de Doctorat). Université de Nantes, France.
2. **Akol, A. M., Sikora, R. A., & Richter, U. (2011).** Efficacy of botanical pesticides against stored product pests. *Journal of Stored Products Research*, 47(3), 210–218.
3. **Arnason, J. T., Simmons, S. L., & Regnault-Roger, C. (2008).** Phytochemical biopesticides: From research to commercialization. In C. Regnault-Roger (Ed.), *Biopesticides of plant origin*. CRC Press.
4. **Arnason, J. T., Sims, S. R., & Scott, I. M. (2008a).** Biopesticides from plants for control of stored grain pests. In **Ecologically Based Pest Management* (pp. 112–135). CAB International, Wallingford.
5. **Arnason, J. T., Sims, S. R., & Scott, I. M. (2008b).** Essential oils and their constituents as insecticides. In C. Regnault-Roger, B. J. R. Philogène, & C. Vincent (Eds.), *Biopesticides of Plant Origin* (pp. 135–159). Lavoisier, Paris.
6. **Aymen, E. M. (2005).** Évaluation de l'activité insecticide de quelques plantes aromatiques sur *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera : Curculionidae) (Mémoire de Magistère). Université d'Annaba, Algérie.
7. **Azaizeh, H., Saad, B., Khalil, K., & Said, O. (2002).** The state of the art of traditional Arab herbal medicine in the eastern region of the Mediterranean: A review. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 3(2), 229–235.
8. **Baba Aissa, F. (1999).** Encyclopédie des plantes utiles : Flore d'Algérie et du Maghreb, substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. Éditions EDAS, Rouiba, Algérie.
9. **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.

10. **Bekhechi, C. (2008).** Étude de la composition chimique et de l'activité biologique des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques d'Algérie (Thèse de Doctorat). Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
11. **Bellakhdar, J. (1978).** Médecine traditionnelle et toxicologie ouest-sahariennes : Contribution à l'étude de la pharmacopée marocaine*. Éditions Techniques Nord-Africaines, Rabat, Maroc.
12. **Bezabih, G., Yitbarek, W., & Yismaw, S. (2022).** Insecticidal efficacy of essential oils against stored grain insect pests: A review. *Journal of Stored Products Research*, 95, 101–112.
13. **Bezabih, M., Gure, A., & Teju, E. (2022).** Evaluation of insecticidal and repellent activities of essential oils of selected aromatic plants against stored product pests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(11), 3412–3421.
14. **Botineau, M. (2010).** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Éditions Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
15. **Boulal, A., Nia, B., & Doumandji, S. (2007).** Activité insecticide des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques contre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae). *Revue des Sciences de la Nature*, 4(1), 45–52.
16. **Boulal, H., Zaghouane, O., El Mourid, M., & Rezgui, S. (2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC), El Harrach, Algérie.
17. **Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (2e éd.). Éditions Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
18. **Campos, E. V. R. (2022).** Essential oils as potential tools to control *Sitophilus zeamais*: A systematic review and meta-analysis.
19. **Charles, G. (1997).** Protection des stocks de céréales en Afrique subsaharienne. *Cahiers Agricultures*, 6(3), 201–208.

20. **Cornelius, M. L., Deschamps, F. J., & Obasi, M. O. (2008).** Influence of temperature and relative humidity on the development and survival of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) on stored maize. *Journal of Stored Products Research*, 44(2), 115–122.
21. **Dal Bello, G., Padin, S., Lopez Lastra, C., & Fabrizio, M. (2001).** Laboratory evaluation of chemical-biological control of the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored grains. *Journal of Stored Products Research*, 37(1), 77–84.
22. **Delobel, A., & Tran, M. (1993).** Les Coléoptères des denrées alimentaires stockées dans les régions chaudes. ORSTOM/CTA, Paris.
23. **Fouad, H. A. (2023).** Insecticidal and Repellent Activities of Essential Oils Against *Sitophilus zeamais*. *Dose-Response*, 21(4).
24. **Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R. P. L., de Batista, G. C., Berti Filho, E., & Parra, J. R. P. (2002).** *Manual de Entomologia Agrícola* (3e éd.). Agronômica Ceres, São Paulo.
25. **Glitho, I. A., Ketoh, G. K., Amevoin, K., Nyamador, W. S., & Koumaglo, K. H. (2008).** Use of essential oils as biopesticides in stored products protection in West Africa. *African Journal of Science and Technology*, 9(2), 114-122.
26. **Glitho, I. A., Ketoh, G. K., & Nuto, Y. (2008a).** Insecticidal properties of essential oils against stored products pests in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, 3(6), 437–444.
27. **Glitho, I. A., Ketoh, G. K., & Nuto, Y. (2008b).** Utilisation des huiles essentielles de plantes aromatiques dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'Ouest. In C. Regnault-Roger et al. (Eds.), *Biopesticides d'Origine Végétale* (2e éd., pp. 261–278). Lavoisier, Paris.
28. **Gwinner, J., Harnisch, R., & Muck, O. (1996).** *Manual on the prevention of post-harvest grain losses*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany.
29. **Harley, R. M., Atkins, S., Budantsev, A. L., Cantino, P. D., Conn, B. J., Grayer, R., & Olmstead, R. G. (2004).** Labiatae. In J. W. Kadereit (Ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants* (Vol. 7, pp. 167–275). Springer, Berlin.

30. **Haryadi, Y., & Fleurat-Lessard, F. (1994).** Stockage des grains en pays chauds. In *Traité des maladies et ravageurs des cultures tropicales* (pp. 45–67). ACTA, Paris.
31. **Isman, M. B. (2005).** Tropical plants as sources of natural pesticides. In *The Tropical Agriculturalist: Biopesticides*. Macmillan, London.
32. **Isman, M. B. (2020).** Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry Reviews*, 19(1), 235–241.
33. **Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., Stevens, P. F., & Donoghue, M. J. (2016).** *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach* (4e éd.). Sinauer Associates, Sunderland.
34. **Lahlou, M. (2004).** Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research*, 18(6), 435–448.
35. **Lefèvre, C. (2004).** Protection des stocks de céréales contre les insectes en Afrique de l'Ouest. FAO, Rome.
36. **Lemordant, D., Boukef, K., & Lacoste, M. (1977).** Plantes utiles et toxiques de Tunisie. *Fitoterapia*, 48(3), 51–80.
37. **Leonard, & Ngamo, T. (2004).** Conseil phytosanitaire interafricain, bulletin d'informations phytosanitaires. Éditions F.A.O., Rome, N° 44.
38. **Longstaff, B. C. (1981).** Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae): A critical review. *Protection Ecology*, 3(2), 83–130.
39. **Mason, L. J. (2003).** Grain insect fact sheet: Maize weevil, *Sitophilus zeamais*. Purdue University Cooperative Extension Service, USA.
40. **Mioulane, P. (2004).** *Le grand guide des plantes aromatiques et médicinales*. Éditions Rustica, Paris.
41. **Mouden, S., Sarmiento, K. F., Klinkhamer, P. G., & Leiss, K. A. (2017).** Integrated pest management in Western flower thrips: Past, present and future. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2401.
42. **Mouden, S., Sarmiento-Machado, R. R., Khaleren, A., & Koskinen, P. (2017).** Current developments of essential oils in crop protection against arthropod pests and diseases. *Phytochemistry Reviews*, 16(2), 381–409.

43. **Moutassem, D. (2024).** Insecticidal activity of *Thymus pallescens* and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Sitophilus zeamais*. *Scientific Reports*, 14, 13951.
44. **Ndomo, A. F., Tapondjou, A. L., Tendonkeng, F., & Baudognhone, F. (2009).** Insecticidal activities of essential oils of *Callistemon viminalis* and *Ocimum canum* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 45(1), 13–18.
45. **Ndomo, A. F., Tapondjou, L. A., Tendonkeng, F., & Tchouanguép, F. M. (2009).** Évaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* contre *Acanthoscelides obtectus*. *Tropicultura*, 27(4), 209–215.
46. **Ndiaye, A. B. (2018a).** Bioécologie et gestion intégrée des insectes ravageurs des denrées stockées au Sénégal (Thèse de Doctorat). Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
47. **Ndiaye, A. B. (2018b).** Lutte biologique contre les insectes des stocks céréaliers en Afrique de l'Ouest (Thèse de Doctorat). Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
48. **Ngamo, T. S. L. (2004).** Potentialités insecticides des huiles essentielles de plantes aromatiques tropicales contre les ravageurs des denrées stockées (Thèse de Doctorat). Université de Yaoundé I, Cameroun.
49. **Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., & Hens, L. (2016).** Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4, 148.
50. **Panda, H. (2015).** Handbook on Medicinal Herbs with Uses. Asia Pacific Business Press, Delhi.
51. **Pollio, A., De Natale, A., Appetiti, E., Aliotta, G., & Touwaide, A. (2008).** Continuity and change in the Mediterranean medical tradition: *Ruta* spp. (Rutaceae) in Hippocratic medicine and present practices. *Journal of Ethnopharmacology*, 116(3), 469–482.
52. **Pruthi, H. S., & Singh, M. (1950).** Pests of stored grain and their control. *Indian Journal of Agricultural Science*, 18 (Part 4, Special Number), Third Revised Edition.
53. **Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013).** Biologie végétale (8e éd.). De Boeck Supérieur, Bruxelles.

54. **Regnault-Roger, C., Philogène, B. J. R., & Vincent, C. (2002).** Biopesticides d'origine végétale. Lavoisier-Tec & Doc, Paris.
55. **Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2008).** Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
56. **Seck, D. (2009).** Gestion des ravageurs des stocks de céréales au Sénégal : Bilan et perspectives. *Cahiers Agricultures*, 18(1), 78–85.
57. **Seri-Kouassi, B. P., Kanko, C., Aboua, L. R. N., Koukoua, G., & N'Guessan, Y. T. (1987).** Activité insecticide des huiles essentielles de trois plantes aromatiques de Côte d'Ivoire sur *Sitophilus zeamais*. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 305(3), 141–144.
58. **Sousa, P. A. S. (2023).** Novel Approach for a Controlled Delivery of Essential Oils during Long-Term Maize Storage: Clove Bud and Pennyroyal Oils Efficacy to Control *Sitophilus zeamais*. *Insects*, 14, 366.
59. **Souto, A. L., Sylvestre, M., Tölke, E. D., Tavares, J. F., Barbosa-Filho, J. M., & Cebrián-Torrejón, G. (2021).** Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: Prospects, applications and challenges. *Molecules*, 26(16), 4835.
60. **Suthisut, D., Fields, P. G., & Chandrapatya, A. (2011a).** Contact toxicity, feeding reduction, and repellency of essential oils from three plants from the ginger family (Zingiberaceae) and their major compounds against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Economic Entomology*, 104(4), 1445–1454.
61. **Suthisut, D., Fields, P. G., & Chandrapatya, A. (2011b).** Fumigant toxicity of essential oils from three Thai plants (Zingiberaceae) and their major compounds against *Sitophilus zeamais*, *Tribolium castaneum* and two parasitoids. *Journal of Stored Products Research*, 47(3), 222–230.
62. **Throne, J. E. (1994).** Life history of immature maize weevils (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. *Environmental Entomology*, 23(6), 1459–1471.
63. **Tounsi, M. S., Wannes, W. A., Ouerghemmi, I., Jegham, S., Ben Ayed, M., Haouari, M., & Marzouk, B. (2011).** Juice components and antioxidant capacity of four Tunisian Citrus varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 142–151.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

64. Vázquez-Castro, J. A., Fazolin, M., Catani, V., Damaceno, V. O., & de Melo, M. S. (2009). Potencial inseticida de óleos essenciais para o controle de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(12), 1630–1635.