



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi -Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie
Département : Biologie des êtres vivants



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : BIOLOGIE ANIMALE

Option : Ecophysiologie animale

Thème

Effet d'une huile essentielle sur des insectes à intérêt économique.

Présentée par : Smaal Douaa

Hamidane Hadil

Membres de Jury :

Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia

U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi

Encadrante

Pr. Tine Samir

U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi

Président

Dr. HLAIMIA Samira

U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi

Examinatrice

SOLTANI Meriem

U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi

Co- encadrante

Année universitaire : 2025/2026

REMERCIEMENT

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu tout puissant et miséricordieux,
qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*La première personne que nous tenons à remercier est notre encadrante **Pr.***

***TINE- DJEBBAR Fouzia** pour avoir mis à notre disposition un
environnement de travail favorable notamment en ce qui concerne
l'approche méthodologique et les aspects matériels de cette étude.*

*Toutes nos considérations à l'égard de **Dr. HLAIMIA Samira** qui nous
avons fait l'honneur de juger le présent travail.*

*Nos plus vifs remerciements vont également à **Pr. Tine Samir** pour avoir
accepté de présider ce jury.*

*Nos remerciements vont également à **Melle SOLTANI MERIEM**, notre co-
encadrante, pour son suivi attentif, ses conseils méthodologiques et son
investissement tout au long de la réalisation de ce travail.*

À nos parents et à tous nos frères et sœurs.

*Nos remerciements s'adressent également à ceux qui ont contribué de loin
ou de près.*

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES	4
2.1. Présentation de matériel animal	4
2.1.1. <i>Tribolium confusum</i> (Jaquelin Du Val, 1868)	4
2.1.2. <i>Sitophilus granarius</i> (Carl Von Linné, 1758)	5
2.1.3. <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius, 1792)	6
2.2. Collecte et élevage	8
2.3. Présentation de la plante, <i>Deverra scoparia</i> (Coss. & Durieu, 1855)	8
2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de <i>Deverra scoparia</i>	10
2.5. Traitement et bioessais	11
2.5.1. Toxicité par fumigation	11
2.5.2. Toxicité par contact	12
2.6. Test de répulsion	13
2.7. Analyses statistiques	14
III. RESULTATS	15
3.1. Rendement en huile essentielle	15
3.2. Essais toxicologiques	15
3.1.1. Toxicité par fumigation	15
3.1.2. Toxicité par contact	17
3.3. Effet répulsif	20
IV. DISCUSSION	22
4.1. Rendement en HE de <i>D. scoparia</i>	22
4.2. Effets adulticide de l'HE de <i>D. scoparia</i>	22
4.3. Effet répulsif de l'HE de <i>D. scoparia</i>	25
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	27
RESUMES	28
Français	28
Anglais	29
Arabe	30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 1	Efficacité insecticide de l'HE extraite des parties aériennes de <i>D. scoparia</i> , appliqués par fumigation sur les adultes de <i>T. confusum</i> , <i>S. granarius</i> et <i>R. dominica</i> : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.	16
Tableau 2	Efficacité insecticide de l'HE extraite des parties aériennes de <i>D. scoparia</i> , appliqués par contact sur les adultes de <i>T. confusum</i> , <i>S. granarius</i> et <i>R. dominica</i> : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.	19
Tableau 3	Pourcentage (PR) et classe de répulsion de l'HE extraite des parties aériennes de <i>D. scoparia</i> , sur les adultes de <i>T. confusum</i> , <i>S. granarius</i> et <i>R. dominica</i> .	20

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 1	Présentation de l'adulte <i>Tribolium confusum</i> .	5
Figure 2	Présentation de l'adulte <i>Sitophilus granarius</i> .	6
Figure 3	Présentation de l'adulte <i>Rhyzopertha dominica</i> .	8
Figure 4	<i>Deverra scoparia</i> (Photos personnelles).	10
Figure 5	Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillateur de type Clevenger.	11
Figure 6	Test de toxicité par fumigation	12
Figure 7	Test de toxicité par contact.	12
Figure 8	Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.	13
Figure 9	Toxicité par fumigation ($\mu\text{L/L}$ d'air) de l'HE extraite des parties aériennes de <i>D. scoparia</i> sur les adultes de <i>T. confusum</i> , <i>S. granarius</i> et <i>R. dominica</i> à différentes durées d'exposition : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	16
Figure 10	Toxicité par contact ($\mu\text{L/mL}$) de l'HE extraite des parties aériennes de <i>D. scoparia</i> sur les adultes de <i>T. confusum</i> , <i>S. granarius</i> et <i>R. dominica</i> à différentes durées d'exposition : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n = 4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	19

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

La croissance démographique mondiale, estimée à 9,7 milliards d'habitants d'ici 2050 (United Nations, 2022), entraînera une augmentation considérable de la demande alimentaire. Pour garantir la sécurité alimentaire mondiale et répondre aux besoins futurs, la production agricole, en particulier celle des céréales et des légumineuses, devra augmenter d'environ 70 % (FAO, 2009).

Dans ce contexte, les systèmes alimentaires mondiaux sont confrontés à la nécessité d'améliorer continuellement les rendements agricoles tout en optimisant les stratégies de conservation des denrées stockées (Albahri *et al.*, 2023). Toutefois, les pertes post-récolte demeurent un défi majeur pour la sécurité alimentaire mondiale (Yigezu *et al.*, 2021). Ces pertes résultent principalement de l'action combinée des insectes ravageurs, des conditions de stockage inadéquates et des facteurs abiotiques, lesquels engendrent une dégradation progressive des qualités nutritionnelles, physico-chimiques et organoleptiques des produits entreposés (Yousuf *et al.*, 2025).

Parmi les principaux ravageurs de blé figurent *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae), *Sitophilus granarius* (Coleoptera : Curculionidae) et *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrichidae), trois espèces d'importance économique majeure retenues comme modèles biologiques dans la présente étude. Leur activité biologique altère significativement les conditions microclimatiques au sein des stocks, notamment par l'élévation de la température et de l'humidité relative. Ces modifications favorisent le développement de moisissures et de micro-organismes opportunistes, amplifiant ainsi le phénomène de contamination secondaire (Stathas *et al.*, 2023).

La lutte contre les ravageurs des denrées stockées repose encore largement sur l'utilisation de fumigants et d'insecticides chimiques de synthèse, notamment la phosphine. Toutefois, leur emploi intensif et répété a favorisé l'émergence et la propagation de phénomènes de résistance chez de nombreuses espèces d'insectes ravageurs (Alzahrani & Ebert, 2023). À l'échelle physiologique et moléculaire, ces organismes développent des mécanismes adaptatifs complexes, tels que la résistance métabolique, associée à la surexpression d'enzymes de détoxification, notamment les cytochromes P450 monooxygénases et les glutathion S-transférases, ainsi que la résistance par modification de la cible biologique, résultant de mutations génétiques affectant la sensibilité de récepteurs essentiels tels que l'acétylcholinestérase (Pu & Chung, 2024).

Par ailleurs, l'utilisation massive de ces xénobiotiques est à l'origine d'impacts environnementaux et sanitaires préoccupants, incluant la contamination des écosystèmes, l'altération de la biodiversité et l'apparition de troubles physiologiques chez les organismes non ciblés, notamment des perturbations endocriniennes chez l'être humain (Ali *et al.*, 2021 ; Sánchez-Bayo, 2021). Dans ce contexte, l'adoption de stratégies de lutte intégrée (Integrated Pest Management, IPM) s'impose comme une approche durable et indispensable. Cette démarche vise à maintenir les populations de bioagresseurs en dessous du seuil économique de nuisibilité, tout en minimisant les risques pour la santé humaine, les organismes non ciblés et l'environnement (Zhou *et al.*, 2024).

Dans cette perspective, les bio-insecticides issus des ressources végétales font l'objet d'un intérêt scientifique croissant. Parmi eux, les huiles essentielles (HE) et leurs constituants bioactifs apparaissent comme des molécules à fort potentiel biocide, dont l'efficacité a été largement démontrée contre un large éventail d'insectes ravageurs. Leur diversité de modes d'action constitue un atout majeur pour le développement de stratégies de lutte plus durables (Abdelgaleil *et al.*, 2021 ; Gupta *et al.*, 2023).

Les HEs constituent un ensemble complexe de métabolites secondaires synthétisés par les plantes aromatiques et médicinales. Leur activité biologique repose sur une grande diversité de composés volatils, principalement représentés par les monoterpénoïdes, les sesquiterpénoïdes et les phénylpropanoïdes, dont la biosynthèse implique principalement deux voies métaboliques majeures : la voie de l'acide mévalonique (MVA) et celle du méthylérythritol phosphate (MEP) (Bergman *et al.*, 2021). La voie MVA, localisée dans le cytoplasme, conduit à la formation des sesquiterpènes (C15) et des triterpènes (C30), tandis que la voie MEP, qui se déroule dans les plastes, est responsable de la synthèse des hémiterpènes (C5), des monoterpènes (C10), des sesquiterpènes (C15) et des diterpènes (C20). Les composés aromatiques, notamment les phénylpropanoïdes, généralement moins abondants, proviennent principalement de la voie du shikimate. Certains composés phénoliques, tels que le carvacrol et le cuminaldéhyde, peuvent toutefois être issus de la biosynthèse terpénique par des réactions de désaturation. Les constituants des HEs s'accumulent préférentiellement dans les fleurs, les feuilles, les graines et les fruits, où ils sont stockés au sein de structures sécrétrices spécialisées, notamment les trichomes glandulaires et les cavités sécrétrices (Zeni *et al.*, 2021).

Les profils qualitatifs et quantitatifs des HEs sont fortement influencés par de nombreux facteurs, notamment l'organe végétal exploité, le stade phénologique de la plante, les variations génétiques, la méthode d'extraction utilisée, les fluctuations saisonnières, la nature du sol ainsi que les conditions climatiques (Bendjazia *et al.*, 2019). En fonction de leur composition chimique et de la concentration de leurs constituants, elles peuvent agir comme agents toxiques, répulsifs ou attractifs, modulant ainsi le comportement des insectes ou provoquant leur mortalité directe. Au-delà de leurs propriétés insecticides, elles présentent de nombreuses activités biologiques et pharmacologiques, notamment des effets antioxydants, antimicrobiens, antifongiques, antiviraux et antiparasitaires, ce qui confère à ces métabolites naturels un intérêt considérable dans les domaines de la santé, de l'agriculture et de la protection des denrées stockées (De Sousa *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2022).

Dans cette étude, l'espèce *Deverra scoparia* a été retenue. À notre connaissance, les études portant sur l'activité insecticide de son HE demeurent limitées et concernent principalement *Sitophilus oryzae* (Annaz *et al.*, 2026), *Parlatoria blanchardi* (Hammoudi *et al.*, 2026) et certains acariens phytophages comme *Tetranychus urticae* (Attia *et al.*, 2011). Les données relatives à son efficacité contre les espèces ciblées dans notre étude, restent inexistantes, ce qui confère à ce travail un intérêt scientifique et appliqué particulier.

À cet égard, notre recherche a été consacrée à l'évaluation de la toxicité par fumigation et par contact, et de la capacité répulsive de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia* contre les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de matériel animal

2.1.1. *Tribolium confusum* (Jaquelin Du Val, 1868)

Tribolium confusum est un coléoptère cosmopolite de la famille des Tenebrionidae, caractérisé comme un ravageur secondaire polyphage. Les adultes de *T. confusum* sont allongés de couleur brun rougeâtre, mesurant entre 4,0 et 4,5 mm de longueur et entre 1,0 et 1,2 mm de largeur corporelle. Les mâles et les femelles sont morphologiquement indiscernables à l'aide de la microscopie optique. Cependant, l'utilisation de la microscopie électronique à balayage permet d'observer des plages sexuelles sétifères caractéristiques des mâles, pouvant servir à la détermination du sexe (Zohry, 2017).

La tête est visible en vue dorsale, dépourvue de rostre. Les pattes sont composées de la hanche (coxa), du trochanter, du fémur, du tibia et de cinq articles tarsaux sur les pattes antérieures et médianes, tandis que les pattes postérieures possèdent quatre articles tarsaux. Toutes se terminent par deux griffes simples, incurvées à leur extrémité et pourvues de sensilles (Zohry, 2017).

Les antennes de l'adulte comprennent 11 articles : le scape, le pédicelle et un flagelle constitué de neuf articles. Ces articles sont de forme cylindrique et leur longueur diminue généralement vers l'extrémité distale de l'antenne. Les antennes des larves sont composées de trois articles insérés dans une structure membraneuse appelée antacorium, qui assure leur connexion avec la capsule céphalique. L'antenne comprend un article basal subcylindrique (antennomère I), un second article muni d'un lobe (antennomère II) et un article apical (antennomère III), à la fois très petit et allongé, inséré à l'extrémité de l'antennomère II et portant une longue soie. De manière générale, le corps des larves est allongé et cylindrique et mesure généralement entre 5,75 et 6,9 mm de longueur et entre 0,75 et 0,95 mm de largeur, au dernier stade. Il est principalement de couleur blanchâtre, faiblement sclérifié et recouvert d'une pilosité clairsemée constituée de soies blanchâtres (Zohry, 2017).

Règne : Animalia

Sous-règne : Bilateria

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Sous-classe : Pterygota

Ordre : Coleoptera

Sous-ordre : Polyphaga

Famille : Tenebrionidae

Genre : Tribolium

Espèce : *Tribolium confusum* (Jaquelin Du Val, 1868)



Figure 1. Présentation de l'adulte *Tribolium confusum*.

2.1.2. *Sitophilus granarius* (Carl Von Linné, 1758)

Sitophilus granarius, ou charançon du blé, est un coléoptère d'importance historique majeure rattaché à la famille des Curculionidae. Il représente le modèle typique de l'insecte foreur primaire (Mew & Misra, 1994). Sur le plan évolutif, cet insecte présente une adaptation biotique remarquable : il est strictement aptère, ses ailes membraneuses étant totalement atrophiées et ses élytres soudés. Cette incapacité biologique de voler restreint sa dispersion naturelle et lie exclusivement sa prolifération mondiale aux flux de transport logistique intercontinentaux des stocks de grains par l'homme (Stejskal *et al.*, 2023).

Le comportement de ponte de la femelle est un processus hautement spécialisé. À l'aide de son rostre, elle creuse une cavité profonde dans l'endosperme du grain, y dépose un œuf unique, puis scelle instantanément l'orifice par la sécrétion d'un bouchon gélatineux fluide (bouchon mucilagineux) qui se solidifie au contact de l'air (Stejskal *et al.*, 2023). La larve, apodiforme et blanche, dévore l'intérieur de la graine en y effectuant ses mues, suivie d'une nymphose interne. L'adulte n'émerge qu'après avoir complété sa maturation cuticulaire, laissant un opercule d'émergence circulaire caractéristique (Lowe *et al.*, 2000).

L'adulte mesure entre 3 et 5 mm de long et arbore une livrée sombre, brun-noirâtre mate. Sa tête est prolongée vers l'avant par un rostre rigide, allongé et légèrement incurvé, qui porte à son extrémité distale des pièces buccales broyeuses microscopiques. Les antennes coudées et pectinées sont insérées à la base de ce rostre (Stejskal *et al.*, 2023). La position systématique est la suivante:

Règne : Animalia

Sous-règne : Bilateria

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Sous-classe : Pterygota

Ordre : Coleoptera

Sous-ordre : Polyphaga

Famille : Curculionidae

Genre : Sitophilus

Espèce : *Sitophilus granarius* (Carl Von Linné, 1758)



Figure 2. Présentation de l'adulte *Sitophilus granarius*.

2.1.3. *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792)

Rhyzopertha dominica, un bioagresseur primaire connu sous le nom de Capucin des grains, est un coléoptère d'une agressivité commerciale extrême appartenant à la famille des Bostrichidae (Arthur *et al.*, 2021). Grâce à un appareil buccal de type broyeur pourvu de mandibules hautement minéralisées et asymétriques, il est capable de perforer les enveloppes péricarpiques les plus denses des grains de blé sains et de s'attaquer à l'endosperme avec succès.

L'oviposition s'effectue directement sur la surface externe des grains. Selon les investigations de (Kavanagh *et al.*, 2024), dès le premier stade larvaire, la jeune larve de type scarabéiforme fore un tunnel microscopique pour s'installer au cœur de l'albumen. Elle y accomplit la totalité de son développement post-embryonnaire (3 à 5 stades) de manière strictement endogée. Cette niche écologique interne dissimule l'infestation lors des contrôles visuels initiaux dans les silos. (Arthur *et al.*, 2021) rappellent que la cinétique de développement est thermophile : elle est inhibée en deçà de 18 C, mais atteint son optimum à 34 C, permettant l'émergence d'une nouvelle génération en 25 jours.

L'imago possède un corps cylindrique compact, mesurant 2,5 à 3 mm de long, d'une coloration variant du brun foncé au noir de jais. L'élément anatomique le plus remarquable, détaillé par (Kavanagh *et al.*, 2024), est la structure du pronotum : fortement convexe, tuberculé et denté sur sa marge antérieure, il s'étend vers l'avant de manière à masquer intégralement la capsule céphalique en vue dorsale, mimant une forme de capuchon.

L'activité nutritionnelle combinée des larves internes et des adultes libres produit d'importantes quantités de farine de dégradation (sciure), réduisant le grain à une simple enveloppe vide, ce qui provoque des pertes de poids dramatiques et une chute verticale du pouvoir germinatif des semences de blé (Arthur *et al.*, 2021). La position systématique est la suivante :

Règne : Animalia

Sous-règne : Bilateria

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Sous-classe : Pterygota

Ordre : Coleoptera

Sous-ordre : Polyphaga

Famille : Bostrichidae

Genre : *Rhyzopertha*

Espèce : *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792)



Figure 3. Présentation de l'adulte *Rhyzopertha dominica*.

2.2. Collecte et élevage

La collecte des ravageurs a été réalisée à l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de Tébessa (OAIC). Leur élevage en masse a été mené au Laboratoire d'Eau et d'Environnement de l'Université de Tébessa. Les individus ont été gardés dans des bocaux en plastique, contenant du blé sain, non infesté et non traité, provenant de la coopérative de céréales et légumineuses, comme substrat alimentaire. L'élevage a été maintenu à une température de $26 \pm 1^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $65 \pm 5\%$.

2.3. Présentation de la plante, *Deverra scoparia* (Coss. & Durieu, 1855)

Deverra scoparia, est un sous-arbrisseau vivace xérophytique appartenant à la famille des Apiaceae, fréquemment désignée par son synonyme taxonomique *Pituranthos scoparius* et connue sous le nom vernaculaire local de Guezzah. C'est une espèce endémique stricte des zones arides, sahariennes et des écosystèmes steppiques d'Afrique du Nord (Brahmi *et al.*, 2022). Comme l'ont souligné (Neffar *et al.*, 2024), elle s'intègre parfaitement dans la flore native de la wilaya de Tébessa, s'adaptant aux sols squelettiques et aux conditions de stress édaphique sévère.

Sur le plan structural, la plante se développe sous forme de touffes denses, dressées, vigoureuses et hautement ramifiées, s'élevant à une hauteur variante entre 40 et 80 cm. Ses tiges sont vertes, cylindriques, rigides et jonciformes. L'adaptation majeure de *D. scoparia* face au stress hydrique extrême et à l'hyper-ensoleillement réside dans son caractère aphyllé (Neffar *et al.*, 2024),

expliquent que la réduction drastique, puis la chute précoce des feuilles à maturité, reportent la fonction de photosynthèse directement sur les tiges vertes chlorophylliennes.

Cette stratégie limite la surface de transpiration, permettant au végétal de maintenir son homéostasie hydrique en période de sécheresse aiguë.

La phase de floraison s'exprime entre le printemps et le milieu de l'été. Les inflorescences sont des ombelles terminales, rigides, composées de petites fleurs hermaphrodites de couleur jaune pâle. (Brahmi *et al.*, 2022) précisent que les fruits sont des diachènes miniatures, densément couverts de poils courts ou de papilles cuticulaires hautement développées.

Pour survivre dans ces écosystèmes hostiles, *D. scoparia* a développé une voie métabolique secondaire hyperactive, spécialisée dans la biosynthèse de xénobiotiques volatils de défense. L'analyse de ses tissus, menée par (Mohammedi *et al.*, 2020), révèle une densité exceptionnelle en poches sécrétrices d'HEs. Ces essences sont dominées par des monoterpènes hydrocarbonés et oxygénés hautement bioactifs comme alpha-pinène et le limonène. Ces molécules confèrent à la plante une odeur aromatique puissante et agissent comme de puissants agents de défense biologique dotés de fortes propriétés bio-insecticides, capables de perturber le système nerveux des arthropodes cibles (Mohammedi *et al.*, 2020). La position systématique est la suivante :

Règne : Plantae

Embranchement : Tracheophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Apiales

Famille : Apiaceae

Genre : *Deverra*

Espèce : *Deverra scoparia* (Coss. & Durieu, 1855).



Figure 4. *Deverra scoparia* (Photos personnelles).

2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de *Deverra scoparia*

La collecte des parties aériennes de *D. scoparia* a été faite au mois de mars 2026 dans la région de Tébéssa. Elles ont été lavées à l'eau du robinet pour éliminer le sol et les autres contaminants de surface. Après séchage des feuilles à l'air libre et à l'obscurité, 150 g de la matière sèche a été mélangée avec 1500 ml d'eau distillée. Le mélange est introduit dans un ballon d'une capacité de deux litres, surmonté d'une colonne de 60 cm de longueur. Le tout sera mis sur une chauffe ballon à une température voisine de 100°C et raccordé avec le reste de l'appareil d'extraction. Ce mélange est porté à ébullition pendant 2 heures, pendant ce temps, la vapeur se dirige vers le col du cygne puis dans le réfrigérant où elle se condense rapidement et tombe dans l'ampoule de décantation (Fig. 5). L'HE recueillie a été filtrée en présence de sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour éliminer les traces d'eau résiduelle. Elle est ensuite récupérée et stockée à 4°C et à l'obscurité dans un flacon en verre, hermétiquement fermé et couvert du papier aluminium pour la préserver de la lumière. La quantité d'huile obtenue est pesée pour le calcul du rendement. Le rendement en HE est le rapport entre le poids de l'HE extraite et le poids de la biomasse végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage (%) et calculé par la formule suivante :

$$R = [\Sigma P B / \Sigma P A] \times 100$$

R : Rendement en huile (%).

PA : Poids de la matière sèche de la plante en g.

PB : Poids de l'huile en g.



Figure 5. Extraction de l'huile essentielle par hydrodistillateur de type Clevenger.

2.5. Traitement et bioessais :

2.5.1. Toxicité par fumigation

L'effet toxique de l'HE des parties aériennes de *D. scoparia*, sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* ou *R. dominica* a été évalué dans des flacons en verre (60 mL), chacun contenant 10 larves (Fig. 6). Des disques de papier filtre No.2 Whatman, mesurant 2 cm de diamètre, ont été fixés sur la face inférieure des bouchons des flacons. Ces disques ont été imprégnés par différents concentrations variant de 33.33 $\mu\text{L/L}$ air jusqu'à 666.66 $\mu\text{L/L}$ air. Les insectes témoins ont été maintenus dans des conditions identiques sans traitement. Chaque dose a été répliquée quatre fois. À des intervalles de 24, 48 et 72 heures après le début de l'exposition, le nombre de mortalités a été compté et ajusté à l'aide de la formule d'[Abbott \(1925\)](#). Les concentrations létales (CL_{25} , CL_{50} et CL_{90}) ainsi que leurs intervalles de confiance 95 % ont été déterminés par analyse de régression non linéaire.

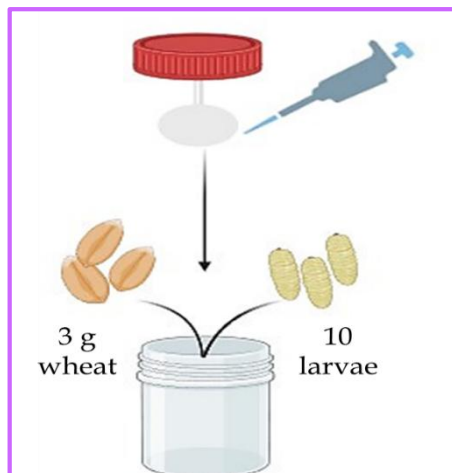


Figure 6. Test de toxicité par fumigation.

2.5.2. Toxicité par contact

Après un screening préalable, l'HE des parties aériennes de *D. scoparia*, dissoute dans l'acétone, a été appliquée à différentes concentrations (4, 8, 16 et 32 $\mu\text{l/ml}$) sur 3 g de blé sain dans des flacons en plastique (Fig. 7). Après une évaporation totale du solvant pendant 15 min, 10 adultes de *T. confusum*, *S. granarius* ou *R. dominica* ont été introduites dans les flacons. Le bioessai a été réalisé en quatre répétitions pour chaque dose. Une série témoin est conduite en parallèle où les grains de blé reçoivent uniquement du solvant (acétone). Les mortalités enregistrées à 12 h, 24h et 48 h après traitement ont été corrigées selon la formule d'Abbott (1925), afin d'éliminer les mortalités naturelles. Les concentrations létales (CL_{25} , CL_{50} et CL_{90}) ainsi que leurs intervalles de confiance 95 % ont été déterminés par analyse de régression non linéaire.



Figure 7. Test de toxicité par contact.

2.6. Test de répulsion

L'effet répulsif de l'HE des parties aériennes de *D. scoparia*, a été évalué sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*, en utilisant la méthode de la zone préférée sur papier filtre décrite par [Jilani & Saxena \(1990\)](#). Ainsi, les disques de papier filtre de 9 cm de diamètre utilisés à cet effet ont été coupés en deux parts égales. Trois doses ont été préparées (6 µl, 12 µl et 24 µl/ml) et diluées avec l'éthanol. Ensuite, 0,5 ml de chaque solution ainsi préparée a été étalée uniformément sur une moitié du disque, tandis que l'autre moitié était traitée uniquement avec de l'éthanol. Après 15 minutes d'évaporation, les deux moitiés ont été collées ensemble à l'aide de ruban adhésif. Le disque de papier filtre a été remis en place et placé dans une boîte, et un lot de 10 larves a été placé au centre de chaque disque (Fig.8). Chaque traitement a été répliqué trois fois et les pourcentages d'insectes présents sur les zones traitées (G) et de contrôle (P) ont été enregistrés après 30 minutes, 1 heure, 3 heures, 6 heures et 12 heures. Le pourcentage de répulsion (RP) a été calculé à l'aide de la formule de [McDonald et al. \(1970\)](#) :

$$RP = [(P-G) / (P+G)] \times 100$$

Les valeurs moyennes ont été calculées et classées selon la méthode de [McDonald et al. \(1970\)](#) en utilisant une échelle de répulsion allant de 0 à V :

Classe 0 (PR < 0,1 %), classe I (PR = 0,1 % - 20,0 %), classe II (PR = 20,1 % - 40,0 %), classe III (PR = 40,1 % - 60,0 %), classe IV (PR = 60,1 % - 80,0 %) et classe V (PR = 80,1 % - 100,0 %).

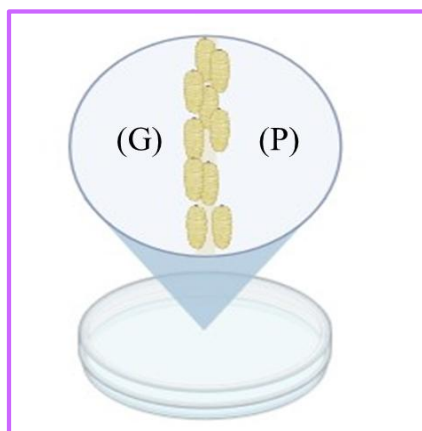


Figure 8. Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

2.7. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel GRAPH PAD PRISM 8. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne $\pm$ l'écart-moyen (SEM). L'analyse de la variance à un critère de classification et le test HSD de Tukey ont été utilisés.

RÉSULTATS

III. RESULTATS

3.1. Rendement en huile essentielle

L'huile essentielle extraite par hydrodistillation à partir des parties aériennes de *Deverra scoparia* a présenté un rendement relativement élevé, atteignant 1 %. Sur le plan organoleptique, cette HE se caractérisait par un aspect limpide et une coloration variant du jaune clair au jaune verdâtre. Elle dégageait également une odeur aromatique intense et caractéristique, associée à des notes fraîches, herbacées et légèrement camphrées et épicées.

3.2. Essais toxicologiques :

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia*, évaluée à partir des mortalités enregistrées chez les adultes de *Tribolium confusum*, *Sitophilus granarius* et *Rhyzopertha dominica*, à différents temps après traitement.

3.2.1. Toxicité par fumigation :

Après un test de présélection, différentes concentrations ont été utilisées : 83.33 ; 166.66 ; 333.33 et 666.66 $\mu\text{L/L}$ d'air pour *T. confusum*, 41.66 ; 83.33 ; 125 et 166.66 $\mu\text{L/L}$ d'air pour *S. granarius*, et 33.33 ; 50 ; 66.66 et 83.33 $\mu\text{L/L}$ d'air pour *R. dominica*. Les traitements ont été appliqués par fumigation. Aucune mortalité n'a été observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées lors des tests de toxicité par fumigation varient comme suit : Chez *T. confusum*, elles évoluent de 2,5 % à 24 h à 22,5 % à 72 h pour la dose la plus faible (83,33 $\mu\text{L/L}$ d'air), tandis qu'à la concentration la plus élevée (666,66 $\mu\text{L/L}$ d'air), une mortalité totale (100 %) est observée dès 24 h d'exposition. Chez *S. granarius*, les mortalités passent de 35 % à 24h à 55 % à 72 h pour la dose la plus faible, et de 95 % à 24 h à 100 % à 72 h pour la dose la plus élevée. Enfin, chez *R. dominica*, elles varient de 35 % à 24 h à 52,5 % à 72 h pour la plus faible concentration (33,33 $\mu\text{L/L}$ d'air), tandis que la dose la plus élevée induit une mortalité complète (100 %) dès 24 h d'exposition.

Ces mortalités augmentent de manière significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez les adultes de *T. confusum* : à 24 heures ($F_{3,12} = 95.81$; $p < 0.0001$), à 48 heures ($F_{3,12} = 77.82$; $p < 0.0001$) et à 72 heures ($F_{3,12} = 108$; $p < 0.0001$). Chez les adultes de *S. granarius* : à 24 heures ($F_{3,12} = 39.20$; $p < 0.0001$), à 48 heures ($F_{3,12} = 72.73$; $p < 0.0001$) et à

72 heures ($F_{3,12} = 29.44$; $p < 0.0001$). Chez les adultes de *R. dominica*: à 24 heures ($F_{3,12} = 74.20$; $p < 0.0001$), à 48 heures ($F_{3,12} = 85.14$; $p < 0.0001$) et à 72 heures ($F_{3,12} = 27.06$; $p < 0.0001$).

Le test HSD de Tukey appliqué révèle : chez *T. confusum*, la formation de deux groupes de moyennes distincts à 72 heures, et de trois groupes à 24 et 48 heures. Chez *S. granarius*, trois groupes ont été identifiés à chacune des périodes d'exposition étudiées (24, 48 et 72 heures). En revanche, chez *R. dominica*, trois groupes ont été distingués à 72 heures, contre quatre groupes à 24 et 48 heures (Fig. 9).

La courbe dose-réponse, représentant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées, a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le Hill Slope (Tableau 1).

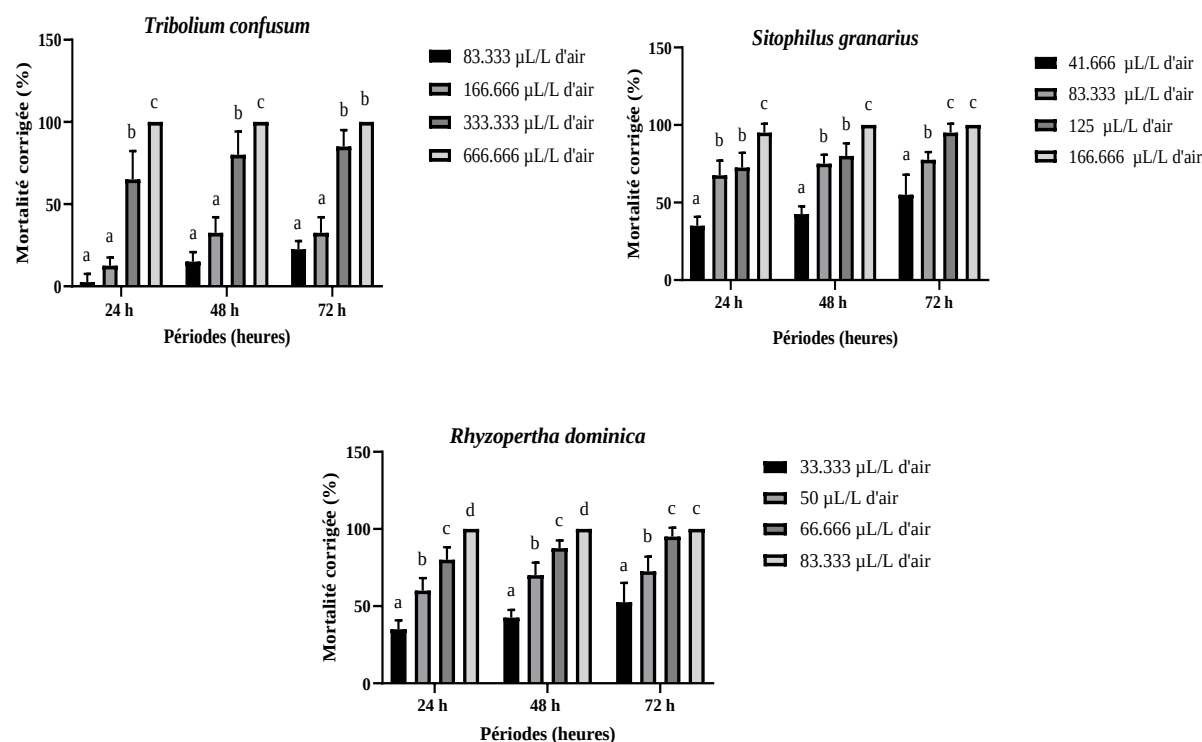


Figure 9. Toxicité par fumigation ($\mu\text{L/L}$ d'air) de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia* sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica* à différentes durées d'exposition : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Tableau 1. Efficacité insecticide de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia*, appliqués par fumigation sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*: détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.

Traitement	Temps	R ²	Hillslope	CL ₂₅ IC	CL ₅₀ IC	CL ₉₀ IC
<i>T. confusum</i>	24 h	0.99	3.87	211.70 173±289.60	281.10 245.70±317.80	495.90 379.40±1832
	48 h	0.98	2.70	136.70 68.55±215.40	205.30 141.10±288	463.10 348.89±1252
	72 h	0.94	2.52	124.30 6.95±150.20	192.20 60.19±368	459.60 312.58±657.70
<i>S. granarius</i>	24 h	0.93	1.86	32.50 0.40±63.11	58.57 9.18±92.42	190.20 80.73±9031
	48 h	0.93	2.01	28.31 0.41±52.64	48.92 6.04±76.10	146.10 43.56±2241
	72 h	0.94	2.07	22.90 1.25±38.71	38.87 7.61±56.50	111.90 26.98±433.60
<i>R. dominica</i>	24 h	0.99	2.94	30.10 6.64±44.16	41.81 21.03±54.58	80.64 50.25±311.40
	48 h	0.99	3.30	26.90 13.35±35.08	37.13 25.97±44.72	70.73 50.01±124
	72 h	0.99	4.01	23.68 1.37±34.29	33.17 6.96±43.35	65.08 45.21±251.90

Selon les valeurs de CL rapportées dans ce tableau, *R. dominica* apparaît comme l'espèce la plus sensible, présentant les plus faibles concentrations létales à tous les temps d'exposition, tandis que *T. confusum* est la plus tolérante avec les valeurs de CL les plus élevées. *S. granarius* présente une sensibilité intermédiaire.

3.2.2. Toxicité par contact :

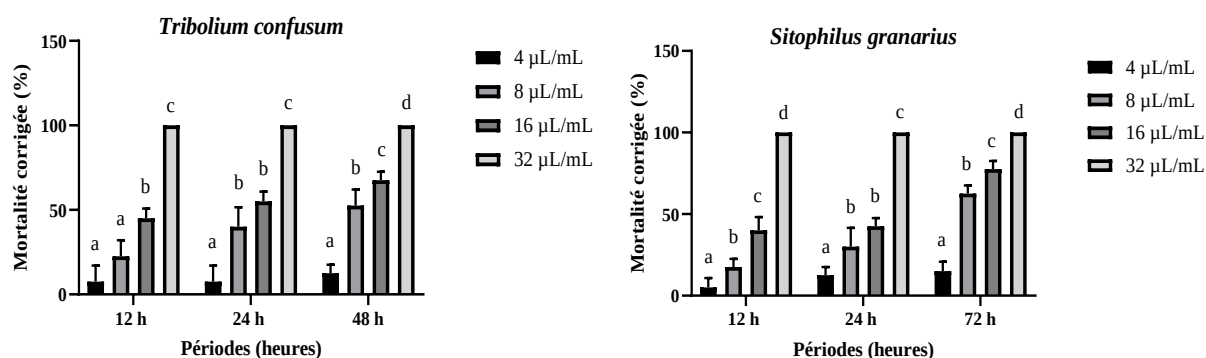
Après un test de screening, les mêmes concentrations ont été utilisées pour les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*: 4, 8, 16 et 32 µL/mL. Le traitement a été appliqué par ingestion. Aucune mortalité n'a été observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées lors des tests de toxicité par ingestion varient comme suit : Chez *T. confusum*, les taux de mortalité sont passés de 7,50 % après 12 heures à 12,50 % après 48 heures pour la plus faible dose (4 µL/mL). Chez *S. granarius*, les mortalités ont varié de 5 % à 15 % entre 12 et 48 heures, tandis que chez *R. dominica*, elles ont évolué de 5 % à 20 % durant la même période pour la dose minimale. En revanche, à la dose maximale (32 µL/mL), les mortalités ont atteint 100 % dès 12 heures chez les trois espèces testées.

Ces mortalités augmentent de manière significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez les adultes de *T. confusum*: à 12 heures ($F_{3,12} = 121.40$; $p < 0.0001$), à 24 heures ($F_{3,12} = 91.45$; $p < 0.0001$) et à 48 heures ($F_{3,12} = 148.90$; $p < 0.0001$). Chez *S. granarius* : à 12 heures ($F_{3,12} = 227.40$; $p < 0.0001$), à 24 heures ($F_{3,12} = 125.30$; $p < 0.0001$) et à 48 heures ($F_{3,12} = 248.40$; $p < 0.0001$). Chez *R. dominica*: à 12 heures ($F_{3,12} = 189.60$; $p < 0.0001$), à 24 heures ($F_{3,12} = 298.40$; $p < 0.0001$) et à 48 heures ($F_{3,12} = 300$; $p < 0.0001$).

Le test HSD de Tukey appliqué révèle : chez *T. confusum*, la formation de trois groupes aux temps d'exposition de 12 et 24 heures, et de quatre groupes à 48 heures. Chez *S. granarius*, quatre groupes ont été observés à 12 et 48 heures, contre trois groupes à 24 heures. Enfin, chez *R. dominica*, trois groupes ont été identifiés à 12 heures, tandis que quatre groupes ont été distingués à 24 et 48 heures. (Fig. 10).

La courbe dose-réponse, représentant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées, a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le Hill Slope (Tableau 2).



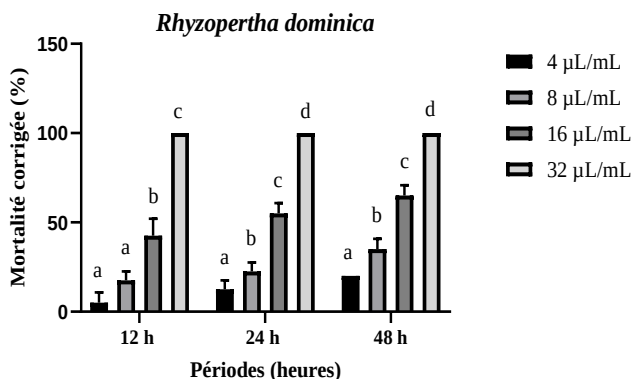


Figure 10. Toxicité par contact ($\mu\text{L/mL}$) de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia* sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica* à différentes durées d'exposition : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n = 4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Tableau 2. Efficacité insecticide de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia*, appliqués par contact sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*: détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.

Traitement	Temps	R ²	Hillslope	CL ₂₅ IC	CL ₅₀ IC	CL ₉₀ IC
<i>T. confusum</i>	12 h	0.94	2.70	10.03 1.13 $\pm$ 21.23	15.07 6.48 $\pm$ 37.45	34.00 11.96 $\pm$ 6569
	24 h	0.92	2.02	6.69 0.42 $\pm$ 17.68	11.50 3.28 $\pm$ 35.82	33.99 10.02 $\pm$ 3233
	48 h	0.94	1.98	5.07 0.10 $\pm$ 11.02	8.82 3.34 $\pm$ 17.82	26.65 8.58 $\pm$ 888.20
<i>S. granarius</i>	12 h	0.95	3.61	12.39 2.69 $\pm$ 16.19	16.79 8.27 $\pm$ 31.81	39.93 16.36 $\pm$ 626.40
	24 h	0.88	2.10	8.36 1.48 $\pm$ 13.58	14.08 7.92 $\pm$ 27.84	30.84 13.05 $\pm$ 587.32
	48 h	0.95	2.30	4.51 0.80 $\pm$ 8.11	7.27 3.48 $\pm$ 12.79	18.90 6.94 $\pm$ 173.50
<i>R. dominica</i>	12 h	0.94	3.22	16.01 2.53 $\pm$ 32.52	18.64 9.02 $\pm$ 35.95	32.01 16.36 $\pm$ 1922

	24 h	0.95	2.53	8.68 1.90 ± 17.19	13.40 6.79 ± 24.37	31.90 12.24 ± 639.80
	48 h	0.95	1.94	5.90 0.79 ± 11.59	10.37 4.59 ± 19.22	25.27 11.03 ± 458.20

D'après l'ensemble des valeurs des CL observées aux différents temps d'exposition, *T. confusum* apparaît comme l'espèce la plus sensible, avec des valeurs globalement plus faibles. *S. granarius* présente une sensibilité intermédiaire, avec des CL généralement plus élevées que *T. confusum* mais inférieures à celles de l'espèce la plus tolérante *R. dominica*.

3.3. Effet répulsif :

Les résultats de l'effet répulsif de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia*, sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica* sont présentés dans le Tableau 3. Le pourcentage de répulsion augmente proportionnellement aux concentrations appliquées et à la durée d'exposition. Le taux de répulsion le plus élevé, soit 100,00 %, a été observé après 12 heures de traitement à la dose intermédiaire (12 µL/mL) chez *T. confusum*. Chez *R. dominica*, un taux de répulsion remarquable de 93,33 % a été atteint à la dose maximale (24 µL/mL à 12 h). Par ailleurs, *S. granarius* a montré une activité répulsive moins prononcée, avec un taux de 86,67 % uniquement, après 12 heures d'exposition à la dose maximale de 24 µL/mL, reflétant son statut d'espèce modérément résistante. Selon la classification de McDonald et al. (1970), l'HE est classée dans la catégorie V (hautement répulsive) vis-à-vis des trois espèces étudiées.

Tableau 3. Pourcentage (PR) et classe de répulsion de l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia*, sur les adultes de *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*.

Doses	Temps	<i>T. confusum</i>		<i>S. granarius</i>		<i>R. dominica</i>	
		PR	Classe	PR	Classe	PR	Classe
6 µL/mL	30 min	46.67	III	0.00	0	0.00	0
	1 h	33.33	II	20.00	I	0.00	0
	3 h	33.33	II	40.00	II	20.00	I
	6h	60.00	III	40.00	II	40.00	II

	12 h	86.67	V	66.67	IV	80.00	IV
12 µL/mL	30 min	13.33	I	0.00	0	20.00	I
	1h	40.00	II	26.67	II	26.67	II
	3h	60.00	III	26.67	II	53.33	III
	6h	80.00	IV	40.00	II	60.00	III
	12h	100.00	V	60.00	III	80.00	IV
24 µL/mL	30 min	13.33	I	13.33	I	20.00	I
	1h	40.00	II	20.00	I	33.33	II
	3h	60.00	III	40.00	II	40.00	II
	6 h	100.00	V	60.00	III	73.33	IV
	12 h	100.00	V	86.67	V	93.33	V

DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1. Rendement en HE de *D. scoparia*

Le rendement en huile essentielle obtenu à partir des parties aériennes de *Deverra scoparia* (syn. *Pituranthos scoparius*) a atteint 1 %, une valeur qui constitue un indicateur écophysiologique important du métabolisme secondaire de cette espèce aromatique. Ce paramètre est fortement influencé par les conditions édapho-climatiques des régions arides et semi-arides d'Algérie où la plante a été récoltée.

La comparaison de nos résultats avec les données de la littérature montre que ce rendement s'inscrit dans l'intervalle de variabilité généralement observé chez cette espèce. En effet, [Lograda et al. \(2013\)](#) ont rapporté des rendements variables en HE de *P. scoparius* provenant de différentes régions algériennes, avec des valeurs de 0,47 %, 0,85 %, 1,04 % et 2,29 % pour les populations collectées respectivement à T'Kout, Boussaâda, M'chouneche et El Kantara. De même, [Hammoudi et al. \(2015\)](#) ont obtenu un rendement de 0,55 % pour l'HE extraite des parties aériennes de *D. scoparia* récoltée à Tamanrasset. Par ailleurs, [Gourine et al. \(2011\)](#) ont enregistré des rendements compris entre 0,6 et 2,8 % (v/w) pour des échantillons issus des régions de Ghardaïa, Laghouat et Djelfa.

Les différences observées entre les rendements rapportés dans ces études peuvent être attribuées à une combinaison de facteurs biotiques et abiotiques. Parmi les principaux déterminants figurent la variabilité génétique des populations, l'origine géographique, les conditions environnementales, notamment climatiques et édaphiques, ainsi que la période de récolte, le stade phénologique de la plante et les méthodes d'extraction employées ([Chaaban et al., 2019](#) ; [Essid et al., 2024](#)). Ces facteurs sont également susceptibles d'influencer la composition chimique des huiles essentielles et, par conséquent, leurs propriétés biologiques.

4.2. Effets adulticide de l'HE de *D. scoparia*

La performance insecticide des HEs et de leurs constituants volatils repose en grande partie sur les modalités d'application ainsi que sur les propriétés physico-chimiques des composés bioactifs, qui déterminent leur diffusion, leur persistance et leur biodisponibilité ([Karabörklü & Ayvaz, 2023](#)).

La fumigation, en tant que méthode d'application des HEs, met à profit la volatilité de leurs composants pour agir efficacement sur les insectes via les voies respiratoires. Cette approche est particulièrement pertinente dans la protection des grains stockés, car elle permet une pénétration uniforme dans les silos (Sprenger *et al.*, 2004).

La voie d'exposition par ingestion constitue un mode d'application particulièrement pertinent dans l'évaluation de l'activité insecticide des HEs, notamment pour les ravageurs des denrées stockées. Contrairement à la fumigation, qui repose sur la volatilité des composés, l'ingestion implique un contact direct et prolongé des substances actives avec le système digestif de l'insecte. Cette méthode permet ainsi de mesurer l'impact des HEs sur les fonctions biologiques internes, notamment la digestion et l'absorption des nutriments. Plusieurs travaux ont montré que cette voie d'exposition peut entraîner des altérations physiologiques sévères, conduisant à des effets létaux ou sublétaux, tels qu'un ralentissement du développement, une réduction de la fertilité ou la mort (Czerniewicz *et al.*, 2024).

Les résultats obtenus dans notre étude sont en accord avec plusieurs travaux ayant mis en évidence la forte activité biocide de cette espèce. L'efficacité de l'HE de *D. scoparia* varie selon l'espèce cible et le mode d'application utilisé. Cette variabilité de sensibilité est fréquemment rapportée et reflète les différences morphologiques, physiologiques et comportementales existant entre les ravageurs des denrées stockées. Les caractéristiques de la cuticule, le fonctionnement des systèmes de détoxification enzymatique, l'activité respiratoire ainsi que le comportement des insectes peuvent influencer leur réponse aux composés volatils et, par conséquent, leur degré de sensibilité aux traitements.

Dans notre étude, la fumigation a révélé une sensibilité décroissante des espèces selon l'ordre *R. dominica*, *S. granarius* et *T. confusum*. La forte sensibilité de *R. dominica* pourrait être liée à sa physiologie respiratoire et à sa capacité limitée à détoxifier certains composés terpéniques présents dans l'HE. À l'inverse, *T. confusum* s'est montré plus tolérant, ce qui pourrait s'expliquer par une plus grande efficacité de ses systèmes enzymatiques de détoxification ou par des différences dans la perméabilité de son tégument aux substances volatiles. En revanche, en application par contact, la tendance est inverse, avec une sensibilité plus élevée observée chez *T. confusum*, suivie de *S. granarius*, tandis que *R. dominica* apparaît comme l'espèce la plus tolérante, suggérant que le mode d'exposition influence fortement la toxicité et les mécanismes de pénétration et de détoxification des composés actifs de l'HE.

Par ailleurs, la comparaison des deux méthodes d'application indique que le traitement par contact a généralement présenté une efficacité supérieure à celle observée en fumigation. Cette différence peut être attribuée au contact direct entre les molécules bioactives et la cuticule des insectes, favorisant leur pénétration et leur action toxique, ainsi que la pluralité des voies d'administration. De plus, l'efficacité du traitement par contact est moins dépendante de la volatilité des constituants de l'HE, ce qui permet une exposition plus prolongée des insectes aux substances actives.

Néanmoins, malgré une toxicité parfois inférieure, la fumigation présente plusieurs avantages pratiques pour la protection des denrées stockées. Cette méthode permet de traiter de grands volumes sans contact direct avec les produits alimentaires et assure une meilleure diffusion des composés volatils dans les espaces de stockage tels que les silos et les entrepôts.

Ces résultats confirment que l'activité insecticide de l'HE de *D. scoparia* dépend non seulement de sa composition chimique, mais également du mode d'application adopté et des caractéristiques biologiques propres à chaque espèce de ravageur. Une telle spécificité souligne l'importance d'adapter les stratégies de lutte aux espèces cibles afin d'optimiser l'utilisation de cette ressource botanique comme bio-insecticide.

L'HE de *D. scoparia* a démontré une toxicité remarquable envers les arthropodes ravageurs. Cette activité biologique peut être attribuée à la richesse de l'huile en composés monoterpéniques et phénylpropanoïdes, notamment l' α -pinène, le sabinène, le limonène, la myristicine et le dillapiole, dont les propriétés neurotoxiques et perturbatrices du métabolisme des insectes ont été largement documentées. Les études de caractérisation chimique ont par ailleurs révélé une importante variabilité chimique des populations naturelles de *D. scoparia*, susceptible d'influencer significativement son efficacité biologique (Benarfa et al., 2020).

Attia et al. (2011) ont montré que cette huile exerçait une activité acaricide importante contre *Tetranychus urticae*, avec une augmentation significative de la mortalité en fonction de la dose appliquée. Les auteurs ont également observé une réduction de la fécondité des femelles traitées, indiquant que l'huile affecte non seulement la survie mais également les paramètres biologiques essentiels à la dynamique des populations. Cette activité a été principalement attribuée à l' α -pinène, au Δ^3 -carène et au terpinen-4-ol, ainsi qu'aux interactions synergiques entre les différents constituants de l'huile.

Plus récemment, une étude réalisée sur des populations marocaines de *D. scoparia* a confirmé son potentiel insecticide contre *Sitophilus oryzae*. Les auteurs ont mis en évidence des effets multiples incluant la toxicité directe, la répulsion et l'inhibition de l'alimentation, suggérant que cette HE agit sur plusieurs cibles physiologiques simultanément. Les indices alimentaires ont été fortement perturbés, ce qui traduit une altération du comportement trophique et du métabolisme énergétique des insectes exposés (Annaz et al., 2026).

Les mécanismes responsables de cette toxicité sont généralement associés à l'action des composés volatils sur le système nerveux des insectes. Les monoterpènes peuvent interférer avec la transmission de l'influx nerveux en affectant l'acétylcholinestérase, les récepteurs octopaminergiques et les canaux ioniques membranaires. Une étude récente menée sur *Parlatoria blanchardi* a montré que l'HE de *D. scoparia* modifiait significativement l'activité de plusieurs enzymes impliquées dans la détoxification et la neurotransmission, notamment l'acétylcholinestérase (AChE), les glutathion-S-transférases (GST) et les carboxylestérases (CarE), confirmant ainsi l'implication de mécanismes neurotoxiques et métaboliques dans son mode d'action (Hammoudi et al., 2026).

4.3. Effet répulsif de l'HE de *D. scoparia*

L'activité répulsive observée chez les insectes constitue un mécanisme physiologique de défense contre les composés toxiques libérés par les plantes, permettant d'éviter des substrats hostiles (Isman, 2006). Dans ce contexte, les pesticides d'origine botanique exercent un double rôle : en plus de leur toxicité potentielle, ils possèdent des propriétés répulsives qui éloignent les insectes nuisibles, avec un impact environnemental réduit (Talukder, 2006). Cette activité répulsive repose essentiellement sur la stimulation des récepteurs sensoriels, notamment olfactifs, et a été largement documentée pour de nombreuses HEs (Mossa, 2016). Elle dépend fortement de la composition chimique de l'huile, des principes actifs présents et de leur interaction synergique ou antagoniste (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Les résultats du test de répulsion dans notre étude montrent clairement que l'HE de *D. scoparia* induit une réponse comportementale significative chez les trois espèces étudiées, avec une intensité variable selon la dose, le temps d'exposition et l'espèce cible.

Sur le plan interspécifique, une sensibilité différenciée est observée entre les espèces. *T. confusum* apparaît globalement comme l'espèce la plus sensible, présentant des niveaux élevés de répulsion même à des doses intermédiaires, ce qui se traduit par des classes de répulsion élevées. *S. granarius* montre une sensibilité intermédiaire, avec une réponse

progressive en fonction de la dose et du temps. En revanche, *R. dominica* présente une réponse plus variable et globalement plus faible, notamment aux faibles concentrations, ce qui suggère une tolérance comportementale plus importante face aux composés volatils.

Cette variabilité de réponse peut s'expliquer par des différences physiologiques et comportementales entre espèces, notamment au niveau de la sensibilité des récepteurs olfactifs, de la perméabilité cuticulaire aux composés volatils et de la capacité de modulation neurophysiologique des stimuli chimiques. Les différences dans les stratégies écologiques et les habitats de développement peuvent également influencer la perception et la réaction aux substances répulsives.

Par ailleurs, l'efficacité répulsive observée confirme que l'HE peut agir non seulement par toxicité directe mais également par perturbation comportementale, ce qui constitue un mécanisme d'action particulièrement intéressant dans la protection des denrées stockées. En effet, la répulsion induite peut limiter le contact entre les insectes et les substrats alimentaires, réduisant ainsi les risques d'infestation sans nécessairement provoquer une mortalité immédiate. Ces résultats suggèrent que cette HE pourrait être envisagée comme un agent répulsif naturel prometteur dans des stratégies intégrées de gestion des ravageurs des stocks, en complément d'autres modes d'action insecticides.

Dans une étude comparative, il a été rapporté que l'HE de *D. scoparia* induit une répulsion contre *Sitophilus oryzae* dépassant 90 % après 24 h d'exposition (Annaz et al., 2026). Une autre espèce appartenant au genre *Deverra* a été signalée comme possédant une activité répulsive (Shehata, 2018). Des extraits à l'hexane, au chloroforme, au méthanol et à l'acétate d'éthyle des parties aériennes de *Deverra triradiata* provenant d'Égypte ont été testés contre trois espèces de moustiques (*Anopheles sergentii*, *Culex pipiens* et *Culex antennatus*). L'activité répulsive la plus élevée a été observée avec l'extrait à l'hexane, avec des valeurs de RD50 égales à 0,704 ; 1,122 et 0,92 mg/cm² respectivement contre les trois espèces de moustiques testées.

Cette propriété répulsive est d'un intérêt économique majeur pour l'agro-industrie, car elle permet d'envisager l'utilisation de cette HE non seulement comme agent d'éradication curative, mais aussi comme barrière protectrice préventive.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'HE de *D. scoparia* a démontré une efficacité remarquable contre les trois ravageurs majeurs du blé testés *T. confusum*, *S. granarius* et *R. dominica*, en exerçant à la fois une action curative (contact et fumigation) et préventive (répulsion). Ces résultats mettent en évidence son fort potentiel comme biopesticide naturel pour la protection des céréales stockées et son intérêt dans le développement de stratégies de lutte intégrée plus sûres et respectueuses de l'environnement.

À l'avenir, il serait intéressant :

- ✓ D'encapsuler le traitement appliqué afin d'augmenter sa stabilité et sa durée d'action, de contrôler la libération progressive de ces composés et de réduire son évaporation rapide en milieu ouvert.
- ✓ Identifier la composition chimique de l'huile essentielle et comparer son activité à celle de ses composés, seuls et en combinaison, afin d'évaluer les effets de synergie et d'optimiser son efficacité.
- ✓ Effectuer des analyses transcriptomiques et épigénétiques afin d'identifier les adaptations potentielles ou les mécanismes de résistance chez les ravageurs étudiés.
- ✓ Mise en place des tests semi-réels dans des mini-silos ou chambres d'entreposage simulées.
- ✓ Et en dernier lieu, développer des formulations prêtes à l'emploi (prototypes).

RÉSUMÉ

Résumé

Les pertes post-récolte causées par les insectes des denrées stockées représentent une menace majeure pour la sécurité alimentaire mondiale et nécessitent le développement de solutions de lutte durables et respectueuses de l'environnement. Dans cette perspective, la présente étude a évalué le potentiel bio-insecticide de l'huile essentielle de *Deverra scoparia* (Coss. & Durieu) contre trois ravageurs majeurs des stocks céréaliers : *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius* et *Tribolium confusum*. L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation des parties aériennes de la plante, puis son activité biologique a été évaluée à travers des essais de toxicité par fumigation, de toxicité par contact et de répulsion comportementale.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une activité insecticide marquée, dont l'intensité variait en fonction de l'espèce cible et du mode d'exposition. Les bioessais de fumigation ont révélé une sensibilité décroissante selon l'ordre *R. dominica* > *S. granarius* > *T. confusum*, tandis que les essais par contact ont montré une susceptibilité plus élevée de *T. confusum*. Par ailleurs, l'huile essentielle a exercé un effet répulsif significatif et dose-dépendant vis-à-vis des trois espèces étudiées, confirmant son aptitude à perturber les mécanismes de localisation et de colonisation des ressources alimentaires. Ces différences de sensibilité interspécifique pourraient être attribuées à des variations physiologiques, morphologiques et métaboliques influençant la pénétration, la distribution et la détoxification des composés volatils bioactifs.

Dans l'ensemble, les résultats démontrent que l'huile essentielle de *D. scoparia* constitue une source prometteuse de molécules naturelles susceptibles d'être valorisées dans le développement de biopesticides destinés à la protection des denrées stockées. La caractérisation chimique approfondie de cette huile essentielle ainsi que l'évaluation de l'activité de ses constituants majoritaires, seuls et en association, permettront de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans son efficacité biologique et d'optimiser son utilisation dans les programmes de gestion intégrée des ravageurs.

Mots-clés : *Deverra scoparia* ; huile essentielle ; bio-insecticide ; fumigation ; contact ; répulsion ; ravageurs des denrées stockées ; gestion intégrée.

Abstract

Post-harvest losses caused by stored-product insects represent a major challenge to global food security and highlight the urgent need for sustainable and environmentally friendly pest management strategies. In this context, the present study investigated the bioinsecticidal potential of the essential oil extracted from *Deverra scoparia* (Coss. & Durieu) against three major pests of stored cereals: *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius*, and *Tribolium confusum*. The essential oil was obtained by hydrodistillation of the aerial parts of the plant, and its biological activity was assessed through fumigant toxicity, contact toxicity, and repellency bioassays.

The results revealed pronounced insecticidal activity, the magnitude of which varied according to the target species and the mode of exposure. Fumigation assays demonstrated a decreasing order of susceptibility as follows: *R. dominica* > *S. granarius* > *T. confusum*, whereas contact bioassays indicated a higher susceptibility of *T. confusum*. Furthermore, the essential oil exhibited significant and concentration-dependent repellent activity against all tested species, highlighting its ability to interfere with host-location and resource-colonization behaviors. The observed interspecific differences in susceptibility may be attributed to variations in physiological, morphological, and metabolic traits affecting the penetration, distribution, and detoxification of bioactive volatile compounds.

Overall, the findings demonstrate that *D. scoparia* essential oil constitutes a promising source of natural bioactive compounds with considerable potential for the development of botanical pesticides aimed at protecting stored commodities. Further investigations focusing on the comprehensive chemical characterization of the essential oil, as well as the evaluation of the biological activity of its major constituents individually and in combination, are warranted to elucidate the mechanisms underlying its insecticidal efficacy and to optimize its application within integrated pest management programs.

Keywords: *Deverra scoparia*; essential oil; botanical pesticide; fumigant toxicity; contact toxicity; repellency; stored-product pests; integrated pest management.

الملخص

تمثل الخسائر بعد الحصاد الناتجة عن حشرات المواد المخزنة تحديًا كبيرًا للأمن الغذائي العالمي، مما يستدعي تطوير استراتيجيات مكافحة مستدامة وصديقة للبيئة. في هذا السياق، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الإمكانات الحيوية المبيدة للحشرات للزيت العطري المستخلص من نبات *Deverra scoparia* (Coss. & Durieu) ضد ثلاثة من أهم آفات الحبوب المخزنة *Tribolium confusum*، *Rhyzopertha dominica*، *Sitophilus granarius*. تم استخلاص الزيت العطري من الأجزاء الهوائية للنبات بواسطة التقطير المائي، ثم تقييم نشاطه البيولوجي من خلال اختبارات السمية بالتبخير، والسمية بالتلامس، والتأثير الطارد للحشرات.

أظهرت النتائج نشاطًا مبيدًا للحشرات ملحوظًا، اختلفت شدته باختلاف النوع المستهدف وطريقة التعرض. وقد كشفت اختبارات التبخير عن ترتيب تنازلي للحساسية على النحو التالي *R.dominica* > *S. granarius* > *T.confusum*، في حين أظهرت اختبارات التلامس حساسية أعلى لـ *T. confusum*. كما أظهر الزيت العطري تأثيرًا طاردًا معنويًا ومعتمدًا على التركيز تجاه الأنواع الثلاثة المدروسة، مما يدل على قدرته على التأثير في سلوكيات البحث عن الغذاء واستعمار الموارد الغذائية. ويمكن أن تُعزى الفروق المسجلة في الحساسية بين الأنواع إلى اختلافات فسيولوجية ومورفولوجية وأيضية تؤثر في نفاذ وتوزيع وإزالة سمية المركبات المتطايرة الفعالة حيويًا.

وبصفة عامة، تؤكد هذه النتائج أن الزيت العطري لنبات *D. scoparia* يُعد مصدرًا واعدًا للمركبات الطبيعية الفعالة حيويًا، والتي يمكن استغلالها في تطوير مبيدات نباتية موجهة لحماية المواد المخزنة. كما أن إجراء دراسات مستقبلية تهدف إلى التوصيف الكيميائي الشامل للزيت العطري، وتقييم النشاط البيولوجي لمكوناته الرئيسية منفردة أو مجتمعة، من شأنه أن يساهم في فهم الآليات المسؤولة عن فعاليته الحشرية وتحسين تطبيقاته ضمن برامج الإدارة المتكاملة للآفات.

الكلمات المفتاحية: *Deverra scoparia*، الزيت العطري، مبيد نباتي، السمية بالتبخير، السمية بالتلامس، التأثير الطارد، آفات المواد المخزنة، الإدارة المتكاملة للآفات.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbott, W. B. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18(2): 265–267.
2. Abdelgaleil, S. A. M., Gad, H. A., Ramadan, G. R., El-Bakry, A. M., & El-Sabrou, A. M. (2021). Monoterpenes: chemistry, insecticidal activity against stored product insects and modes of action—a review. *International Journal of Pest Management*. 70(3): 267–289.
3. Albahri, G., Alyamani, A. A., Badran, A., Hijazi, A., Nasser, M., Maresca, M., & Baydoun, E. (2023). Enhancing essential grains yield for sustainable food security and bio-safe agriculture through latest innovative approaches. *Agronomy*. 13(7), 1709.
4. Ali, S., Ullah, M. I., Sajjad, A., Shakeel, Q., & Hussain, A. (2021). Environmental and health effects of pesticide residues. *Sustainable Agriculture Reviews*, 48: Pesticide Occurrence, Analysis and Remediation, Vol. 2 Analysis, 311-336.
5. Alzahrani, S. M., & Ebert, P. R. (2023). Pesticidal toxicity of phosphine and its interaction with other pest control treatments. *Current Issues in Molecular Biology*. 45(3): 2461-2473.
6. Annaz, H., Ouabou, M., Flamini, G., Talhaoui, Y., Dmini, F., Ascrizzi, R., & El Amrani, A. (2026). Essential oils from underexplored Moroccan species *Deverra scoparia* and *Ruta montana* exhibit multifaceted insecticidal and behavioral effects against *Sitophilus oryzae*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 103973.
7. Arthur, F. H., Morrison, W. R., & Schenck, J. (2021). Susceptibility of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) to essential oils: Fumigant and contact toxicity. *Journal of Stored Products Research*. 92: 101789.
8. Attia, S., Grissa, K. L., Lognay, G., Heuskin, S., Mailleux, A. C., & Hance, T. (2011). Chemical composition and acaricidal properties of *Deverra scoparia* essential oil (Araliales: Apiaceae) and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*. 104(4):1220-1228.
9. Attia, S., Grissa, K. L., Zeneb, G. G., Mailleux, A. C., Loonay, G., & Hance, T. (2011). Assessment of the acaricidal activity of several plant extracts on the phytophagous mite *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). *Bulletin SR BE/KB VE*. 147: 71-79.
10. Benarfa, A., Gourine, N., Hachani, S., Harrat, M., & Yousfi, M. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidative phenolic compounds from *Deverra scoparia* Coss. & Durieu (flowers) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44(7): e14514.

11. Bendjazia, R., Dris, D., Seghier, H., Essid, R., Jallouli, S., Tabbene, O., & Bouabida, H. (2025). Analysis of the chemical properties and larvicidal activity of essential oils from *Ruta graveolens* and *Ruta montana* against *Culiseta longiareolata*: Toxicity, enzymatic and biochemical alterations. *South African Journal of Botany*.180: 512-519.
12. Bergman, M. E., Kortbeek, R. W., Gutensohn, M., & Dudareva, N. (2024). Plant terpenoid biosynthetic network and its multiple layers of regulation. *Progress in Lipid Research*. 95: 101287.
13. Brahmi, F., Madani, K., & Chibane, M. (2022). Chemical composition and biological activities of Deverra species essential oils from arid zones of Algeria. *Industrial Crops and Products*. 178: 114590.
14. Chaaban, S. B., Hamdi, S. H., Mahjoubi, K., & Jemâa, J. M. B. (2019). Composition and insecticidal activity of essential oil from *Ruta graveolens*, *Mentha pulegium* and *Ocimum basilicum* against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Diseases and Protection*. 126(3): 237-246.
15. Czerniewicz, P., Sytykiewicz, H., & Chrzanowski, G. (2024). The effect of essential oils from Asteraceae plants on behavior and selected physiological parameters of the bird cherry-oat aphid. *Molecules*. 29(7): 1673.
16. Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*. 8(5): 1402-1419.
17. De Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., De Castro, R. D., Bezerra, D. P., ... & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*. 13(7): 1144.
18. Essid, R., kefi, S., Damergi, B., Abid, G., Fares, N., Jallouli, S., Tabbene, O., Limam, F., 2024. *Ballota hirsuta* essential oil as a potential multitarget agent against Leishmania parasite: in vitro and in silico studies. *Int. Microbiol.* 0123456789: 1–13.
19. FAO. (2009). Global agriculture towards 2050: High-level expert forum – How to feed the world in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
20. Gourine, N., Merrad, B., Yousfi, M., Stocker, P., & Gaydou, E. M. (2011). Chemical composition of the essential oil of *Pituranthos scoparius*. *Natural product communications*. 6(8): 2011.

21. Gupta, I., Singh, R., Muthusamy, S., Sharma, M., Grewal, K., Singh, H. P., & Batish, D. R. (2023). Plant essential oils as biopesticides: Applications, mechanisms, innovations, and constraints. *Plants*. 12 (16): 2916.
22. Hammoudi, R., Chebrouk, F., Benameur-Saggou, H., Belkhalfa, H., Hadj Mahammed, M., Abou-Mustapha, M., ... & Aioub, A. A. (2026). Chemical composition of *Deverra scoparia* essential oil under different drying conditions and its insecticidal properties against *Parlatoria blanchardi* (Hemiptera: Diaspididae). *Journal of Insect Science*. 26(3): ieag034.
23. Hammoudi, R., Dehak, K., Hadj-Mahammed, M., & Didi Ouldelhadj, M. (2015). Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de *Deverra scoparia* Coss. et Dur.(Apiaceae). *Lebanese Science Journal*.16(2): 27-36.
24. Isman, M. B. (2006). Botanical Insecticides, Deterrents, and Repellents in Modern Agriculture and an Increasingly Regulated World. *Annual Review of Entomology*. 51: 45-66.
25. Jilani, G., and Saxena, R. C. (1990). Repellent and feeding deterrent effects of turmeric oil, sweetflag oil, neem oil, and a neem-based insecticide against lesser grain borer (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Economic Entomology*. 83(2): 629-634.
26. Karabörklü, S., & Ayvaz, A. (2023). A comprehensive review of effective essential oil components in stored-product pest management. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 130(3): 449–481.
27. Kavanagh, B., Crowley, L., & Moore, A. (2024). Global economic impacts of *Rhyzopertha dominica* on wheat storage networks. *Phytopathology Review*. 70(1): 112-125.
28. Liu, Z., Li, Q. X., & Song, B. (2022). Pesticidal activity and mode of action of monoterpenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 70(15): 4556-4571.
29. Lograda, T., Ramdani, M., Kiram, A., Chalard, P., & Figueredo, G. (2013). Variation of essential oils composition of *Pituranthos scoparius* in Algeria. *Global Journal of Research on Medicinal Plants & Indigenous Medicine*. 2(1): 1.
30. Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & De Poorter, M. (2000). 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database (Vol. 12, p. 12). Auckland: Invasive Species Specialist Group.

31. Mc Donald, L. L., Guy, R. H., Speirs, R. D. (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects. USDA Marketing Research Report. 882.
32. Mohammedi, M., Benchikha, N., & Amrouche, A. (2020). Phytochemical screening and evaluation of the insecticidal activity of *Deverra scoparia* essential oil against some insect pests in Eastern Algeria. *Algerian Journal of Arid Environment*. 10(1): 89-102.
33. Mossa, A. T. H. (2016). Green pesticides: Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of environmental science and technology*. 9(5): 354.
34. Neffar, S., Chenchouni, H., & Si Bachir, A. (2024). Floristic diversity and plant adaptations in the steppe ecosystems of Tébessa (North-Eastern Algeria). *Arid Land Research and Management*. 38(2): 201-218.
35. Pu, J., & Chung, H. (2024). New and emerging mechanisms of insecticide resistance. *Current Opinion in Insect Science*. 63: 101184.
36. Sánchez-Bayo, F. (2021). Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. *Toxics*. 9(8): 177.
37. Shehata, A. Z. (2018). Repellent activity of *Deverra triradiata* (Apiaceae) extracts against *Anopheles sergentii* Theobald, *Culex pipiens* Liston and *Culex antennatus* Becker mosquitoes. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*. 48(3): 599-604.
38. Stathas, I. G., Sakellaridis, A. C., Papadelli, M., Kapolos, J., Papadimitriou, K., & Stathas, G. J. (2023). The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods*. 12(10): 2046.
39. Stejskal, V., Vendl, T., & Aulicky, R. (2023). Weevils (*Sitophilus spp.*) in the 21st century: Distribution, biology, and resistance management. *Annual Review of Entomology*. 68: 345-364.
40. United Nations. (2022). World population prospects 2022: Summary of results. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
41. Yigezu, Y. A., Moustafa, M. A., Mohiy, M. M., Ibrahim, S. E., Ghanem, W. M., Niane, A. A., ... & Halila, H. (2021). Food losses and wastage along the wheat value chain in Egypt and their implications on food and energy security, natural resources, and the environment. *Sustainability*. 13(18): 10011.

42. Yousuf, H. M. B., Yasin, M., Rebouh, N. Y., Aldawood, A. S., Ali, U., & Rosentrater, K. A. (2025). Comparative assessment of conventional and hermetic storage facilities on wheat grain quality, pest infestation, and bread development. *Scientific Reports*. 15(1): 34725.
43. Zeni, V., Benelli, G., Campolo, O., Giunti, G., Palmeri, V., Maggi, F., Rizzo, R., Lo Verde, G., Lucchi, A., & Canale, A. (2021). Toxics or lures? Biological and behavioral effects of plant essential oils on Tephritidae fruit flies. *Molecules*. 26(19): 5898.
44. Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. (2024). Integrated pest management: an update on the sustainability approach to crop protection. *ACS omega*. 9(40): 41130-41147.
45. Zohry, N. M. (2017). Scanning electron morphological studies of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleopteran: Tenebrionidae). *The journal of basic and applied zoology*. 78(1): 6.