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

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Spécialité : BIOLOGIE ANIMALE

Option : Ecophysiologie animale

Evaluation de l'efficacité d'une huile essentielle contre un ravageur des denrées stockées.

Présenté par :

- **M^lle^ TEBIB Asma**
- **M^elle^ TAG Malak**

Membres de Jury :

Dr. HALAIMIA Samira	**U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa**	**Présidente**
Dr.MAHMOUDI Khaoula	**U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa**	**Encadrante**
Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia	**U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa**	**Co-Encadrante**
Dr. BOUZIDI Oulfa	**U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa**	**Examinatrice**

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements.

Au terme de ce travail, nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce travail.

Nous remercions Dr. Samira HALAIMIA d'avoir accepté de présider ce jury.

Nous commençons par remercier notre encadrante Dr. MAHMOUDI Khaoula pour tous ses efforts, ses conseils, soutien rédactionnel et moral et avec une grande rigueur scientifique malgré ses multiples occupations. Ce fut un plaisir d'apprendre et de travailler à ses côtés.

Nous remercions également notre co-encadrante Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia, pour avoir accepté de nous encadrer.

Nous adressons également nos très sincères remerciements au Dr. BOUZIDI Oulfa pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire.

A nos parents qui sont une source de tendresse, de patience et de générosité et à tous nos frères, sœurs et amies.

Nous adressons nos remerciements à celles et à ceux qui nous ont aidé et encourage de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	**1**
II. MATERIEL ET METHODES	**4**
2.1. Présentation de l'insecte, *Trogoderma granarium (*Everts, 1898)	**5**
2.2. Collecte et élevage	**8**
2.3. Présentation de la plante., *Mentha spicta*	**9**
2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de *Mentha spicata*	**10**
2.5. Traitement et bioessais	**11**
2.5.1 Par fumigation	**11**
2.5.2 Par ingestion	**12**
2.6. Test de répulsion	**13**
2.7. Analyses statistiques	**14**
III. RESULTATS	**15**
3.1. Rendement de l'huile essentielle	**16**
3.2. Toxicité par fumigation	**16**
3.3. Toxicité par ingestion	**17**
3.3. Effet répulsif de l'huile essentielle de *Mentha spicata*	**18**
IV. DISCUSSION	**20**
4.1. Rendement en huile essentielle	**21**
4.2. Toxicité de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*	**22**

4.3. Effet répulsif de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*	**23**
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	**27**
RESUMES	**28**
Français	**29**
Anglais	**30**
Arabe	**31**
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	**32**

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
1	Efficacité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.	**16**
2	Efficacité de l'HE *Mentha spicata* d'appliquée par ingestion sur les larves *T. granarium*	**17**
3	Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur les larves de *T. granarium*.	**18**

LISTE DES FIGURES

Figures	Titre	Page
Figure 1	*Trogoderma granarium.*	**8**
Figure 2	*Mentha spicata.*	**10**
Figure 3	Extraction de l'huile essentielle de *Mentha spicata* par Hydrodistillateur de type Clevenge	**11**
Figure 4	Test de toxicité par fumigation.	**12**
Figure 5	Test Contacte	**13**
Figure 6	Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.	**14**
Figure 7	Toxicité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation (µl/l d'air) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	**16**
Figure 8	Toxicité de l'HE de *Mentha spicata* appliquée par ingestion (µl/ml) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	**18**

INTRODUCTION

INTRODUCTION :

Les céréales et les légumineuses, représentent un pilier essentiel de la sécurité alimentaire mondiale, jouant un rôle stratégique dans l'approvisionnement alimentaire des populations (Singh et al., 2021).

Le blé représente l'une des cultures commerciales les plus importantes en raison de l'augmentation constante de sa demande (Benhamada.2024), Les prévisions estiment que la demande mondiale de blé atteindra environ 797 millions de tonnes pour la campagne 2024/2025, soulignant ainsi son importance cruciale à l'échelle mondiale FAO. (2025).

À l'échelle mondiale, la sécurité des grains stockés sur de longues périodes suscite de réelles préoccupations, dans le but de garantir et de préserver un approvisionnement en grains de haute qualité. Bien que diverses méthodes de stockage soient disponibles, les techniques traditionnelles restent largement utilisées en Algérie. Cependant, au cours du stockage, les grains de blé sont exposés à des infestations d'insectes et à une diversité de populations microbiennes, ce qui peut entraîner des pertes considérables ainsi que le développement de maladies (Benhamada.2024). Les ravageurs et les agents pathogènes des produits peuvent entraîner des pertes allant jusqu'à 20 % 40 % chaque année (Neme.2021) et parfois même jusqu'à 100 % (Hussain,et al.,2022; Saldivar & García-Lara.,2016).Ces infestations ont un impact économique direct, notamment en entravant les échanges commerciaux, en représentant un danger pour la santé des consommateurs et en rendant les produits non conformes à la consommation humaine (Hussain et al., 2022). Par ailleurs, la présence de ravageurs dans les grains provoque une perte significative en éléments nutritifs essentiels – notamment le gluten, les vitamines, les lipides et les sucres – du fait de leur consommation de la matière sèche des cultures (Yadav, S. K. et al., 2022).

Parmi les 100 espèces les plus envahissantes et destructrices des produits stockés, le coléoptère *Trogoderma granarium* (Athanassiou et al., 2019). Le charançon du blé, *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) O riginaire du sous-continent indien (Wu et al., 2023). Au cours des dernières décennies, ce ravageur des produits stockés s'est propagé dans différentes régions du monde (Jian, 2019). Trogoderma est une espèce cosmopolite et l'un des ravageurs les plus destructeurs des produits céréaliers stockés (El kady et al,.2025). dans les zones chaudes et sèches (Singh et al., 2017) Cet organisme polyphage a un fort potentiel de diffusion, car il est moins sensible aux traitements insecticides Cela pourrait être dû à des changements comportementaux, à une insensibilité au site cible ou à une stratégie de défense activant des enzymes détoxifiante (Khan, 2021). En plus des dommages quantitatifs, les résidus

d'insectes, tels que les soies (poils) et les excréments, peuvent également diminuer la valeur nutritionnelle des grains et présenter des risques significatifs pour les systèmes digestif et respiratoire humains (Islam et al., 2021). De plus, les larves de cette espèce subissent une diapause facultative pendant plusieurs années, acquérant ainsi la capacité de survivre dans des conditions plus défavorables (Athanassiou et al., 2019). Pendant le stockage saisonnier, la contamination des grains de blé par 15 % de coléoptères khapra a causé une perte de poids d'environ 2,6 % et une baisse de viabilité de 24% (Ahmedani, M. S et al.,2011) Pendant longtemps, les méthodes utilisées pour lutter contre les insectes nuisibles aux denrées stockées se sont basées essentiellement sur des traitements chimiques (Guèye, M.T et al.,2011) tels que les pyréthrinoïdes et les organophosphates, ainsi que du phosphure d'aluminium comme gaz de fumigation. Toutefois, l'usage intensif de ces pesticides chimiques pour la conservation des denrées alimentaires soulève aujourd'hui une préoccupation mondiale en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé publique (Kavallieratos et al., 2020). Ainsi, de nouvelles approches alternatives respectueuses de l'environnement sont en cours de développement pour lutter contre les infestations de ravageurs (Anuranj et al., 2024). Compte tenu des risques environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation de certains insecticides chimiques, l'Organisation mondiale de la Santé a été amenée à en interdire plusieurs. Cette situation a rendu nécessaire la recherche de solutions alternatives pour la protection des denrées stockées, en misant sur des substances naturelles efficaces et sûres, s'inscrivant dans une stratégie de lutte moins nocive et plus durable (Camara, 2009).

Les huiles essentielles (HE) sont des options prometteuses de bioinsecticides d'origine végétale qui répondent aux normes biologiques durables de la gestion intégrée des ravageurs (Girardi et al., 2023). En raison de leur constitution chimique complexe, les huiles essentielles ont l'avantage d'être biodégradables, de présenter peu ou pas de toxicité pour les mammifères, et de leur efficacité sur des cibles spécifiques sans causer de résistance chez les nuisibles (Devrnja et al., 2022; Passara et al., 2024). De plus, elles peuvent réduire les effets néfastes des pesticides synthétiques sur l'environnement et la santé humaine (Assadpour et al., 2024). La toxicité des huiles essentielles et/ou de certains de leurs constituants purs contre plusieurs espèces d'insectes des produits stockés a été récemment rapportée (Tine et al., 2023 ; Abes et al., 2024 ; Merzougui et al., 2024). La capacité des répulsifs à combattre les ravageurs agricoles à une dose inférieure à celle des insecticides de contact a suscité un intérêt croissant à leur égard (Sayed et al., 2022 ; Lacotte et al., 2023).

Les pertes causées par les ravageurs des denrées stockées représentent un défi majeur pour la sécurité alimentaire mondiale. Parmi ces ravageurs, *Trogoderma granarium* se distingue comme l'une des principales menaces pour les produits stockés, particulièrement dans les régions à climat chaud. Les traitements chimiques actuels, bien qu'efficaces, soulèvent des inquiétudes croissantes quant à leurs effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement. De ce fait, l'exploration de solutions naturelles, telles que l'utilisation des huiles essentielles, apparaît comme une alternative prometteuse. Dans ce contexte, il est légitime de se demander si l'huile essentielle extraite de *Mentha spicata* pourrait offrir une réponse efficace et durable contre *Trogoderma granarium*.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la toxicité et la capacité répulsive de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, dans le but d'explorer ses applications curatives et préventives contre les larves de *T.granarium*.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de l'insecte, *Trogoderma granarium* (Everts, 1898)

Le khapra, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera : Dermestidae), est un insecte nuisible aux produits stockés, classé comme espèce de quarantaine par l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes (OEPP) et d'autres organismes (EPPO, 2013 ; Myers et al., 2012), est un ravageur originaire du sous-continent indien, (Wu et al., 2023). Au cours des dernières décennies, ce ravageur des produits stockés s'est propagé dans différentes régions du monde (Jian, 2019). Il est classé en catégorie A2 par l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes, ce qui en fait une menace potentielle prioritaire (EPPO 2016).

La position systématique de *Trogoderma granarium* (Everts, 1898) est la suivante :

- **Règne:** Animalia
- **Embranchement:** Arthropoda
- **Sous-embranchement :** Hexapod
- **Classe:** Insecta
- **Ordre:** Coleoptera
- **Sous-ordre** : Polyphaga
- **Famille:** Dermestidae
- **Sous-famille:** Anthreninae
- **Tribu:** Anthrenini
- **Genre :** *Trogoderma*
- **Espèce** : *Trogoderma granarium* (Everts,1898)

Trogoderma granarium étant classé parmi les 100 espèces envahissantes les plus nuisibles au monde (Lowe et al., 2000). *Trogoderma granarium* est présent dans des conditions chaudes et sèches, généralement dans des zones où, pendant au moins quatre mois de l'année, la température moyenne dépasse 20 °C et l'humidité relative est inférieure à 50 % (CABI CPC). (GISD, 2024).

Trogoderma granarium est un ravageur primaire vorace des céréales saines, des grains alimentaires cassés et de leurs produits transformés, capable de provoquer des pertes de 30 à 70 % en peu de temps (Ahmedani et al., 2009 ; Kavallieratos et al., 2017a, 2019). Cette éspèce synanthropique (associé à l'homme ou aux habitations humaines). On le trouve dans les entrepôts de céréales, les magasins d'alimentation, les malteries, les usines de traitement des semences, les usines de production de fourrage, les usines de lait en poudre, les magasins de commerce, ainsi que dans les entrepôts de matériaux d'emballage (sacs usagés, sacs, caisses) (GISD, 2024). La diapause larvaire de cette espèce est reconnue comme une caractéristique essentielle qui contribue grandement à l'expansion de sa zone géographique (Hadaway, 1956; Athanassiou et al., 2019). Ce stade de dormance peut persister pendant plusieurs années et résister à des températures extrêmes ainsi qu'à diverses méthodes de contrôle, qu'elles soient chimiques ou non-chimiques. (Athanassiou, 2022).

Les larves de cette espèce sont généralement très velues. Des spicisetae de différentes longueurs sont disposées sur la surface dorsale, et une "brosse" de longues spicisetae sur le neuvième segment abdominal s'étend vers l'arrière tel une queue et diminue en taille par rapport au corps au fur et à mesure de la croissance des larves. Des hastisetae sont présentes et insérées sur les tergites, souvent en touffes distinctes (Athanassiou, 2022), Les larves à l'éclosion mesurent environ 1,6 à 1,8 mm de long, dont plus de la moitié correspond à une queue composée de soies sur le dernier segment abdominal. Les larves sont uniformément blanc jaunâtre, à l'exception de la tête et des soies corporelles qui sont brunes. À mesure que les larves grandissent, la couleur de leur corps devient brun doré ou brun rougeâtre, davantage de soies se développent, et la queue devient proportionnellement plus courte. Les larves matures mesurent environ 6 mm de long et 1,5 mm de large (Buss, 2009) (Fig1).

Les larves portent des soies corporelles caractéristiques : Des soies simples, dont la tige porte de nombreux petits processus rigides orientés vers le haut, Des soies barbelées, avec une tige rétrécie dont l'extrémité est une tête barbelée aussi longue que les quatre segments précédents en forme de constrictions (Hadaway 1955 ; Anonyme 1981).

Les œufs sont de couleur blanc laiteux au moment de la ponte, devenant jaune pâle avec l'âge. Ils sont de forme cylindrique, mesurant 0,7 mm de long et 0,25 mm de large, avec une extrémité arrondie et l'autre pointue, portant des projections en forme d'épines (Buss,2009).

Les mâles adultes mesurent de 1,4 à 2,3 mm de long et de 0,75 à 1,1 mm de large ; les femelles adultes mesurent de 2,1 à 3,4 mm de long et de 1,7 à 1,9 mm de large, ce sont des coléoptères

oviformes et densément poilus. La couleur du coléoptère khapra est la suivante : la tête et le pronotum sont brun rouge foncé, les élytres brun rouge, généralement avec des fasciae plus clairs et indistincts ; le ventre du thorax et de l'abdomen est brun rouge ; les pattes sont brun jaunâtre. Les soies sur la surface dorsale sont de deux types : des soies grossières, semi-érigées, jaune-brun, réparties de manière uniforme ; et quelques soies dispersées brun rouge foncé, la couleur des soies suit celle de la cuticule. Le pronotum présente au centre et sur les côtés des taches indistinctes de soies blanches jaunâtres en forme d'épée, et les élytres ont deux ou trois bandes indistinctes de soies blanches jaunâtres et aplaties. L'ocelle médian à l'avant est toujours distinct. Les antennes sont jaune-brun, composées de 9, 10 ou 11 segments, avec un club de 3 à 5 segments. (GISD,2024).

Le *Trogoderma granarium* passe par quatre stades de développement : œuf, larve, nymphe et adulte La femelle peut pondre jusqu'à 100 œufs au cours de sa vie. Les œufs sont très petits et translucides, ce qui les rend difficiles à détecter. Ils éclosent généralement en 3 à 10 jours, selon la température et l'humidité. Le coléoptère passe la majeure partie de sa vie au stade larvaire, période durant laquelle presque toute l'alimentation a lieu Le nombre de stades larvaires (mues) est indéterminé, car il dépend de la température, de la disponibilité de la nourriture et de la densité de population. Dans des conditions favorables, la période larvaire dure entre 20 et 40 jours. Cependant, le coléoptère entre fréquemment en dormance à un stade larvaire avancé Pendant cette période, le développement est suspendu en réponse à des conditions défavorables telles que la surpopulation, les basses températures, la mauvaise qualité de la nourriture ou le manque de nourriture. Cette dormance est appelée diapause facultative, durant laquelle la mue et l'alimentation peuvent se produire de manière sporadique, mais le développement jusqu'au stade nymphal ne se fait pas. En absence de nourriture, les larves en diapause peuvent survivre plusieurs années. (USDA APHIS,2025).

La larve de premier stade est jaunâtre, d'environ 1,6 mm de longueur, et présente deux touffes de 4 à 10 hastisetae sur chacun des septième et huitième tergites abdominaux. En atteignant le quatrième stade, les larves deviennent brun doré, mesurent environ 3 mm de longueur et présentent des touffes denses de hastisetae insérées sur les parties postérolatérales des tergites abdominaux et thoraciques ; ces touffes s'agrandissent et se densifient vers l'arrière. À pleine maturité, la larve mesure environ 5 mm, mais sa taille peut varier, notamment chez les larves en diapause. (Athanassiou, 2022).

La nymphose dure généralement entre 4 et 6 jours L'insecte adulte a une durée de vie courte, vivant typiquement entre 1 à 2 semaines. Il peut y avoir de 1 à 10 générations par an. Dans des

conditions idéales, le développement peut être complété en 26 jours seulement. Dans des conditions moins favorables, la diapause au stade larvaire avancé est fréquente, mais les larves peuvent reprendre leur développement et se nymphoser lorsque les conditions redeviennent favorables.Le coléoptère Khapra est particulièrement adapté aux climats chauds et secs, mais il tolère aussi les températures extrêmes. La température optimale pour son développement est d'environ 30°C. Le développement est stoppé à des températures inférieures à 20 °C ou supérieures à 35°C. Les larves en diapause sont moins sensibles aux traitements par fumigation, en raison de leur faible activité métabolique, et elles sont difficiles à atteindre avec des insecticides de contact, car elles se cachent souvent dans des fissures ou crevasses inaccessibles. (USDA APHIS, 2025).



.

Figure 1. ***Trogoderma granarium***

2.2. Collecte et élevage

La collecte de ce ravageur a été réalisée à l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de Tébessa (OAIC). Son 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 ±1°C et à une humidité relative de 65 ±5 % pendant plusieurs générations afin d'obtenir des individus sains et purs.

2.3. Présentation de la plante, *Mentha spicata*

Mentha spicata (ID: 29719) est également connue sous le nom de menthe verte. Cette espèce possède quelques synonymes hétérotypiques, *notamment Mentha cordifolia, Mentha crispa* var. crispata f. reticulata, *Mentha viridis* (L.) L., *Mentha* × *cordifolia et Mentha* × *villosa var. cordifolia.* Il s'agit d'une plante aromatique hybride de *M. longifolia* et *M. rotundifolia*, appartenant au genre *Mentha* (El Menyiy et al., 2022)**.** (Fig2)

M. spicata L. appartient à la famille des Lamiacées (famille de la menthe), une famille comprenant 260 genres et 7000 espèces qui poussent sous une large gamme de conditions agroclimatiques (Brahmi et al., 2017). Le genre *Mentha L*. comprend 42 espèces, des centaines de sous-espèces, 15 hybrides, des cultivars et des variétés (Brahmi et al., 2017 ; Salehi et al., 2018 ; Silva, 2020).

- **Règne:** Plantae
- **Division :** Magnoliophyta
- **Classe:** Magnoliopsida
- **Ordre:** Lamiales
- **Famille:** Lamiaceae
- **Sous-famille**: Nepetoideae
- **Genre:** *Mentha*
- **Espèce :** *Mentha spicata* L., 1753

M. spicata L. (menthe verte) est une herbe vivace, glabre et rhizomateuse, connue pour son arôme puissant. Elle atteint une hauteur de 30 à 100 cm, avec des tiges et un feuillage variant de glabres à légèrement poilus, ainsi qu'un rhizome souterrain charnu et étendu (Kunwar et al., 2017). Les feuilles sont ovées à lancéolées, mesurant de 5 à 9 cm de long et de 1,5 à 3 cm de large, avec des bords dentelés. La menthe verte produit des fleurs en épis fins, chaque fleur étant rose, violacée ou blanche, et mesurant 2,5 à 3 mm de long et de large. La tige, typique de la famille des menthes, est de forme carrée (Bayani et al., 2017*). M. spicata L*. est bien adaptée aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales. Elle peut être cultivée dans une grande variété de sols et se trouve fréquemment dans les jardins domestiques (Kassahun et al., 2014).

L'huile essentielle de *Mentha spicata* s'obtient par distillation à la vapeur d'eau (hydrodistillation) des feuilles, précédée par un séchage partiel de 24 heures. C'est un liquide jaune pâle, d'odeur herbacée, menthée, douce et sucrée. (O. I. ,2005). La norme ISO 30331:2005 la désigne comme Huile essentielle de menthe crépue (ou menthe verte) ». L'huile essentielle

officinale renferme de 55 à 67 % de carvone et de 2 à 25 % de limonène (Bruneton, 2009). Elle peut présenter plusieurs chimiotypes différents.

- chimiotype 1 : huiles riches en carvone, donnant une flaveur chaude peu épicée et une sensation de fraîcheur. Ainsi l'analyse de l'huile essentielle(Govindarajanet al,2012) a révélé 18 composés dont les trois principaux sont :

Huile essentielle de *M. spicata*			
Composé	carvone	cis-carvéol	limonène
%	48,60	21,30	11,30

- chimiotype 2 : huiles riches en pipériténone et/ou pipéritone ; pulégone ; menthone • chimiotype 3 : huiles riches en pipériténone



Figure 2. *Mentha spicata*.

2.4. Extraction et rendement de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

La collecte des feuilles de *Mentha spicata* a été faite au mois de Mars dans la région de Tébessa. 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, 100 g de la matière sèche a été mélangée avec 1000 ml d'eau distillée. Le mélange est introduit dans un ballon d'une capacité de deux litre, 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 1 heure, 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. (Fig3)

Elle a ensuite été récupérée et stockée à 4°C, à l'obscurité, dans un flacon en verre hermétiquement fermé et recouvert de papier aluminium pour la protéger de la lumière. La quantité d'huile obtenue a été pesée pour calculer le rendement (Tchoumbougnang et al., 2009). Le rendement en HE est le rapport entre de 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.

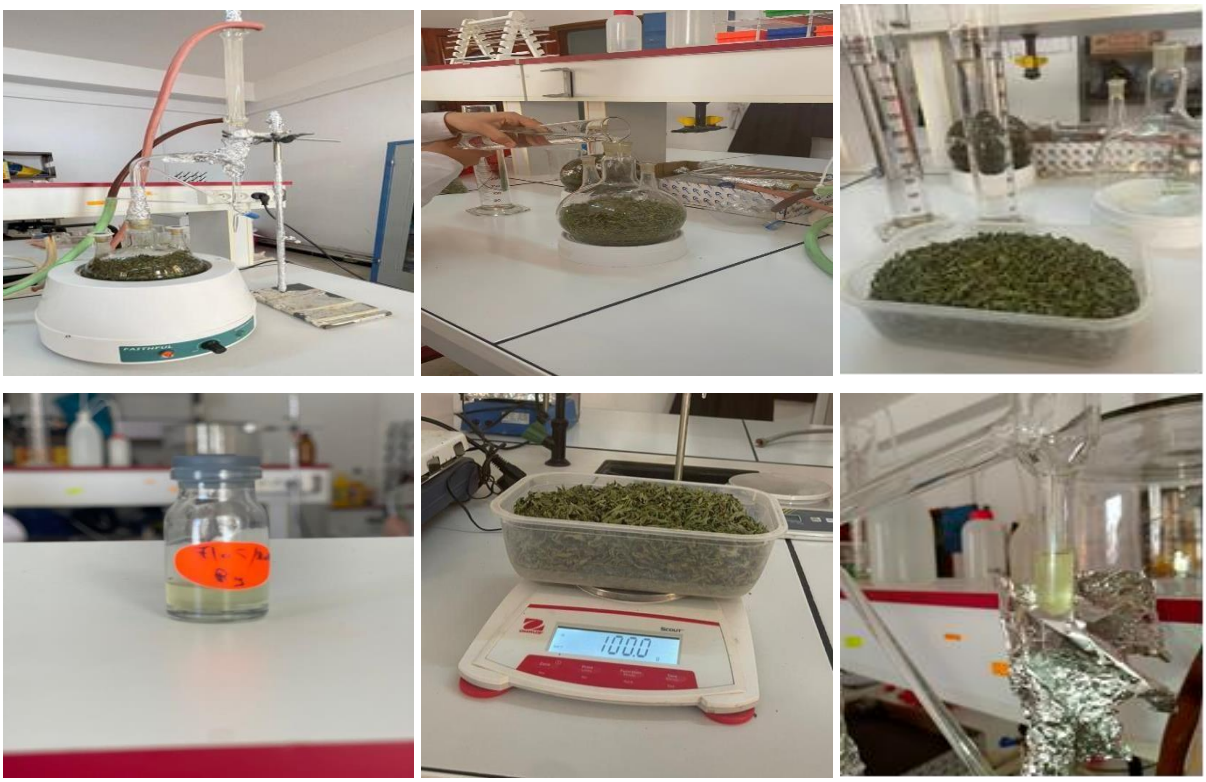


Figure 3. Extraction de l'huile essentielle de Mentha spicata par Hydrodistillateur de type Clevenge

2.5. Traitement et bioessais

L'effet toxique de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, sur les larves de *T. granarium* a été évalué dans des flacons en verre (60 ml), chacun contenant 10 larves. Des disques de papier filtre No.2 Whatman, mesurant 2 cm de diamètre, ont été fixés sur la face inférieure des bouchons à vis des flacons en verre. Ces disques ont été imprégnés d'HE de *M. spicata* à des concentrations déférentes. Les insectes témoins ont été maintenus dans des conditions identiques sans traitement. Chaque dose a été répliquée cinq 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). Dans cette étude, les insectes incapables de bouger leur tête, leurs antennes et leur corps ont été considérés comme morts. Les concentrations létales (CL25, CL50 et CL90).



Figure 4. Test de toxicité par fumigation.

2.5 Teste contacte :

Après un screening préalable, l'huile de *Mentha spicata* dissous dans l'acétone a été appliquée à différentes concentrations (2,3, 6, 8, 12µl) pour *T. granarium* sur 3g de blé sain dans des boites de Petri (Fig5). Après une évaporation totale du solvant pendant 15 min, 10 larves introduits dans les flacons en plastique. Le bioessai a été réalisé en six répétitions pour chaque dose. Les mortalités enregistrées à 12 h, 24 h et 48 h après traitement ont été corrigées selon la formule d'Abbott (1925).

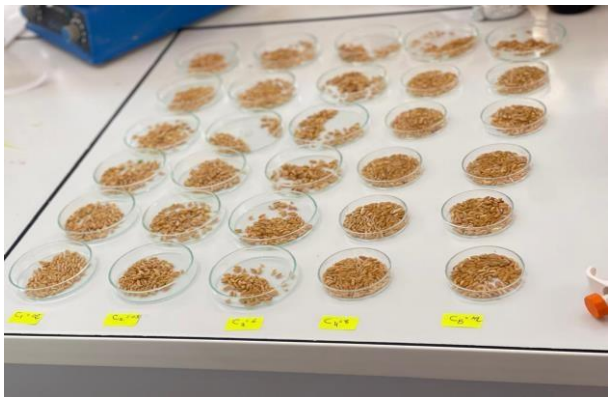


Figure 5 Test contacte.

2.6. Test de répulsion

Ce test est utilisé pour calculer le pourcentage de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha spicata* a été évalué sur les larves de *T. granarium* par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par McDonald et al. (1970). Des disques de papier filtre de 9 cm de diamètre, sont coupés en deux parties égales, une moitié du papier est traitée avec l'huile additionnée d'acétone et l'autre moitié est traitée avec de l'acétone uniquement. Des doses de *(*1 µl, 2 µl et 4 µl/ml) d'huile sont diluées dans 1 ml d'acétone, pour que la répartition soit homogène sur le papier filtre. Les deux demi disques de papier filtre sont séchés à l'air libre et le disque est reconstitué puis mis dans une boîte de pétri (Fig 5.). Dix individus sont déposés sur le papier filtre au milieu des boîtes de pétri et dix répétitions sont réalisées pour chaque dose. Après 30 min, 1 h, 3 h et 6 h de traitement, le dénombrement de ce dernier sur les demi-disques est réalisé. Le pourcentage de répulsion (PR) est ainsi calculé selon la formule utilisée par Nerio et al. (2009) comme suit:

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

Le 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 :

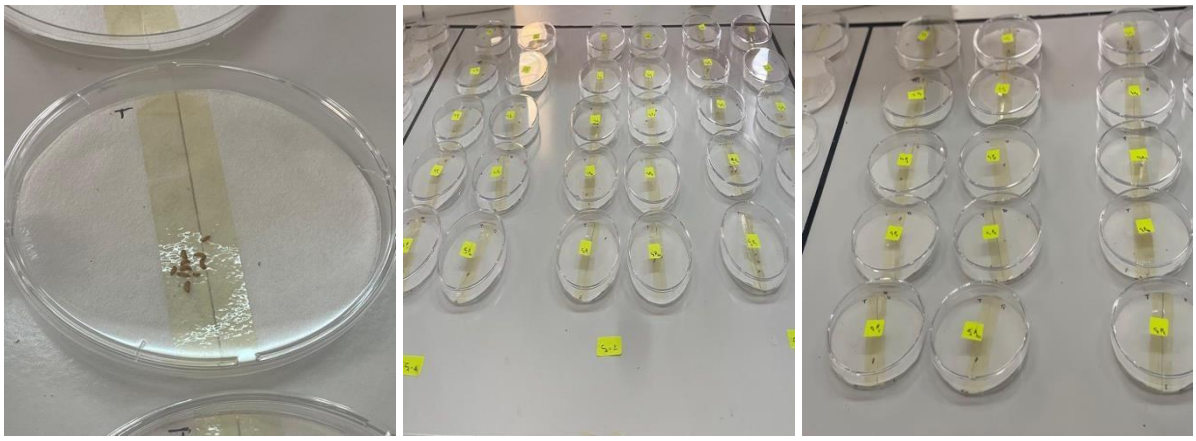


Figure 6. Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

2.7. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel GRAPH PAD PRISM 7. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne ± 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 de l'huile essentielle

L'huile essentielle obtenue par hydrodistillation des feuilles de *Mentha spicata* présente un aspect liquide, limpide et se caractérise par une forte odeur. Le rendement de cette huile marque un taux de 2.27%**.**

3.2. Essais toxicologiques

3.2.1 Toxicité par fumigation

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, évaluée à partir de la mortalité enregistrée chez les larves de *T. granarium* à différentes périodes après traitement.

Après un screening test, des concentrations différentes de l'huile essentielle de *Mentha spicata* (160 ; 240 ; 320 ;400 ;480 et 560 µL/L) ont été utilisées contre les larves de *T. granarium* par fumigation. Aucune mortalité n'a été observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées au cours des tests de toxicité par fumigation varient de 15 % à 24 heures à 60% à 72 heures pour la dose la plus faible (160µl/ml), et de 78% à 24 heures à 100 % à 72 heures pour la dose la plus élevée (560µl/ml). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez les larves de *T. granarium* à 24 heures.

Les résultats indiquent que l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation présentent une activité insecticide avec une relation dose-réponse envers les larves de *T. granarium*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 2 groupes de moyennes à 24h et 48h et 3groupe distincts.

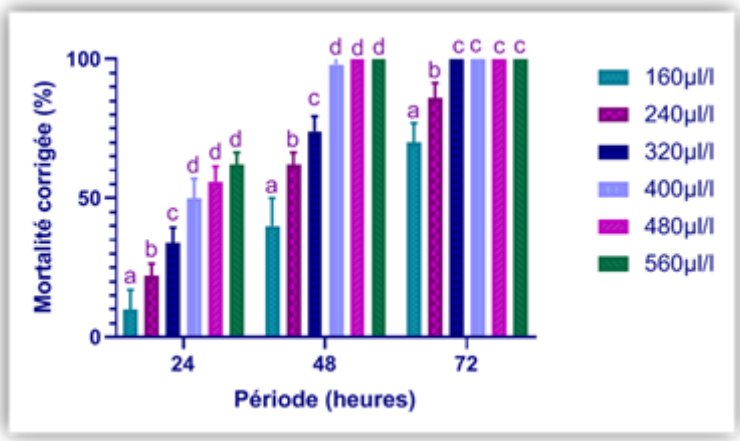


Figure 7 Toxicité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation (µl/l d'air) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Tableau 1 Efficacité de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.

Temps	R^2	HillSlope	CL_{25} IC (95%)	CL_{90} IC (95%)
24 h	0.97	1.47	7.62 (5.94-9.36)	**16.05 (12.28-33.18)**
48 h	0.96	2.05	4.41 (1.74-6.58)	**7.53 (5.45-10.87)**
72 h	0.97	2.31	3.28 (1.31-5.27)	**5.28 (3.49-7.00)**

3.2.2. Toxicité par ingestion

Après un test de screening, différentes concentrations de *Mentha spicata* ont été appliquées par ingestion sur les larves de *T. granarium* (3, 6, 8 et 12 µl/ml). Aucune mortalité n'a été Observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées chez *T. granarium* au cours des tests de toxicité par ingestion varient de 9% à 12 h jusqu'à 17,5% à 48 h pour la dose la plus faible (3µl/ml) et de 40% à 12h jusqu'à 94,5% à 48 h pour la plus forte dose (12µl/ml) (Fig8.). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *T. granarium* traité par ingestion à 24 h.

Les résultats des mortalités corrigées obtenus après application de *Mentha spicata* par ingestion, révèlent des taux variant de 7,50% à 12 h jusqu'à 25 % à 48 h pour la dose la plus faible (3µl/ml) et de 40% à 12 h jusqu'à 94,5% à 48 h pour la dose la plus forte (12 µl/ml) (Fig.). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *T. granarium* traité par ingestion.

Les résultats montrent que le faux poivrier appliqué par ingestion exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *T. granarium*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 12 h, 3 groupes à 24h et 2 groupes 48h pour les mortalités obtenues chez *T. granarium* .

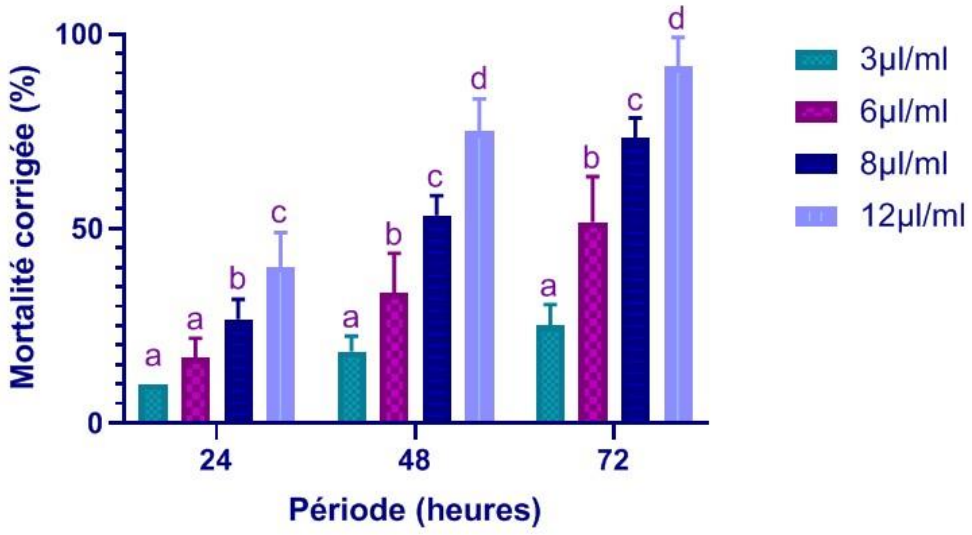


Figure 8. Toxicité de l'HE de *Mentha spicata* appliquée par ingestion (µl/ml) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Tableau 2. Efficacité de l'HE *Mentha spicata* appliquée par ingestion sur les larves *T. granarium*

Temps	R^2	HillSlope	CL_{25} IC (95%)	CL_{90} IC (95%)
24 h	0.97	1.47	7.62 (5.94-9.36)	16.05 (12.28-33.18)
48 h	0.96	2.05	4.41 (1.74-6.58)	7.53 (5.45-10.87)
72 h	0.97	2.31	3.28 (1.31-5.27)	5.28 (3.49-7.00)

3.3. Effet répulsif de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

Les résultats de l'effet répulsif de l'huile essentielle de *Mentha spicata*, sur les larves de *T. granarium* sont présentés dans le Tableau 3. Le pourcentage de répulsion augmente en fonction des concentrations appliquées et de la durée d'exposition. Un taux de répulsion élevé de 90% est observé à 6 heures après le traitement avec la concentration la plus élevée (4 µl/ml). De plus, l'huile essentielle de M. spicata est classée dans la catégorie (Répulsif).

Tableau3. Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur les larves de *T. granarium*.

Doses	Périodes	PR (%)	Classe
1 µl/ml	**30 min**	12	I
	1 h	24	II
	3 h	26	II
	6 h	32	II
2 µl/ml	**30 min**	38	II
	1 h	44	III
	3 h	46	III
	6 h	48	III
4 µl/ml	**30 min**	68	III
	1 h	76	IV
	3 h	82	V
	6 h	90	V

.

DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1. Rendement de l'huile essentielle

Le rendement en huile essentielle obtenu par hydrodistillation des feuilles de *M. spicata* a enregistré une valeur de 2.27% au cours de notre étude. Plusieurs études réalisées sur le genre *Mentha* montrent que le rendement en huile essentielle varie d'une espèce à une autre.

La méthode d'obtention des huiles essentielles reste une étape très importante qui peut agir directement sur la qualité et la quantité des huiles essentielles. Le succès de cette étape est interprété par le calcul du rendement (Bruneton, 1993). En outre, ce rendement est également influencé par les conditions environnementales, le génotype et le stade de développement (Aprotosoaie et al., 2010) ainsi que par l'origine géographique de la plante (Mohammedi & Atik, 2011).

Le rendement en huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata)* varie sensiblement en fonction des conditions climatiques et des pratiques culturales adoptées dans chaque région. Lors de l'expérimentation menée dans la région de Tébessa, un taux d'extraction de l'huile d'environ 2,27 % a été obtenu à partir de feuilles séchées, À l'inverse une étude réalisée dans la wilaya de Tiaret a rapporté un rendement d'environ 1,97 % à partir de feuilles fraîches, en ayant recours à la même technique d'extraction (Selles et al., 2018). Cette différence met en évidence l'influence du climat sur la production d'huiles essentielles chez la menthe verte, tout en soulignant l'impact des méthodes de traitement post-récolte, comme le séchage, sur l'amélioration du rendement obtenu.

Ces résultats dépassent ceux rapportés dans certaines régions de l'Algérie, avec un rendement en huile essentielle est celui de la région de Tiaret 1,97 % (Selles et al., 2018),1.04% dans la région de Laghouat (Bardaweel et al., 2018), tandis que le plus faible est celui de la région de Bejaïa 1.1% (Brahmi et al., 2016).

Plusieurs facteurs, tels que le climat, la nature du sol, le moment de la récolte, la méthode d'extraction le cycle végétatif et le chémotype, peuvent également expliquer ces variations (Besombes, 2008).

Les recherches sur *Mentha spicata* ont montré que le rendement en huile essentielle varie selon les parties de la plante utilisées. Par exemple, les feuilles contiennent généralement la plus grande concentration d'huile essentielle, tandis que les tiges et les fleurs en contiennent des

quantités moindres. Selon une étude de (Degu et al.,2017), le rendement en huile essentielle était plus élevé dans les feuilles comparées aux autres parties de la plante. De plus, (Guenther.,1972) a confirmé que la qualité et la composition des huiles essentielles diffèrent en fonction de l'organe végétal analysé.

Selon (Shelepova et al., 2021), la quantité et la composition de l'huile essentielle de la menthe varient significativement selon l'espèce et les conditions climatiques. Cette variation est également influencée par le moment de la récolte, la densité des glandes sécrétrices et la méthode d'extraction. Des études, comme celle de Gang et al. (2001), ont montré que la densité des glandes sécrétrices sur les feuilles joue un rôle clé dans la quantité d'huile essentielle produite. De plus, Neugebauerová et Kaffková (2012) ont démontré que différentes espèces de Mentha présentent des teneurs en huile essentielle très variables, ce qui souligne l'importance du choix de l'espèce pour l'obtention d'une huile de qualité.

4.2. Toxicité de l'HE de *M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*

La toxicité peut être définie comme la capacité inhérente d'un produit chimique à nuire à un organisme. Le danger est défini comme une probabilité ou certitude réelle des effets nocifs qui se manifestent lorsque des produits chimiques sont utilisés dans conditions spécifiées (quantité, dose, concentration, exposition, durée de l'exposition, utilisation de l'équipement de protection, etc) (Pope et al., 2020).La toxicologie étudier les effets délétéres que peut provoquer une substance chimique, qu'elle soit d'origine naturelle ou synthétique sur les étre vivants. Les tests toxicologiques sont réalisés afin d'apprécier la sensibilité des organismes aux traitements employés lors des compagnes de lutte (OMS, 1963). Ils sont indispensables pour évaluer les concentrations létales (CL25 et CL50).

Les plantes aromatiques sont riches en composés volatils, hydrophobes et intensément concentrés, appelés huiles essentielles, aussi désignées sous les termes d'huiles volatiles ou éthérées (Christaki et al.,2012). On estime à plus de 3000 le nombre d'espèces végétales utilisées pour l'extraction de ces huiles, dont environ 300 sont exploitées à l'échelle industrielle dans les domaines de la parfumerie et de l'aromatisation (Hill & Schoonhoven, 1981 ; Desmarchelier, 1994).

Les huiles essentielles exercent une influence sur diverses fonctions vitales des insectes, notamment les processus métaboliques, biochimiques, physiologiques et comportementaux

(Mann & Kaufman, 2012). Elles peuvent obstruer les voies respiratoires des ravageurs, provoquant ainsi leur asphyxie et leur mort (Kaufmann & Briegel, 2004 ; Rotimi et al., 2011).

En outre, ces substances possèdent des propriétés variées : toxicité, action fumigène, effet répulsif, activité ovicide, pouvoir attractif, entre autres (Werdin-Gonzalez et al., 2008).

La nature lipophile des huiles essentielles des plantes leur permet d'interférer avec les fonctions métaboliques, biochimiques, physiologiques et comportementales des insectes (Jacobson, 1989). Le taux de pénétration à travers la cuticule, le transport dans les tissus de l'organisme, le métabolisme (Besard et al., 2011), mais aussi les récepteurs membranaires ou encore les canaux ioniques ciblés par les insecticides peuvent jouer un rôle crucial pour expliquer les différences de sensibilité des insectes aux pesticides (Lavialle-Defaix et al., 2010).

Selon notre étude, l'huile essentielle de *M. spicata*, appliquée par fumigation et par ingestion, a montré une activité insecticide significative contre les larves de *T. granarium* avec une relation dose-réponse clairement établie.

L'activité insecticide de l'huile de *Mentha* a été testée et établie contre divers insectes/ravageurs à différents stades de développement, en utilisant diverses méthodes d'application (Kumar et al., 2011 ; El Menyiy et al., 2022). L'étude de (Mejdoub et al., 2019). L'huile essentielle de *Mentha spicata* est efficace pour tuer *Tribolium castaneum* par fumigation. Le taux de mortalité a atteint 86,66 % à une concentration de 50 µL/L après 24 heures d'exposition, De plus, l'essai de toxicité par contact a montré que l'huile de menthe verte avait un effet insecticide avec une DL50 égale à 6,1 µL/mL. Selon les résultats de Kedia et al. (2014), l'huile essentielle de *Mentha spicata* a montré un taux de mortalité élevé, atteignant 90 % à une concentration de 2 µL/cm², contre la fourmi destructrice *Trichomyrmex destructor* après 12 heures d'exposition, tandis que l'huile de citronnelle a montré une efficacité supérieure provoquant une mortalité de 100% Ces résultats confirment l'efficacité notable de cette huile comme alternative naturelle pour la lutte contre cet insecte (Kafle & Chung, 2025).Par contre le traitement avec l'huile essentielle de *M. spicata* a causé 100% de mortalité à *Callosobruchus chinensis* après 12 heures, à une concentration de 0,1 µL/mL d'air en utilisant le test de toxicité par fumigation.

4.3. Effet répulsif de l'HE *de M. spicata* à l'égard des larves de *T. granarium*

Au cours des dernières décennies, l'intérêt pour les méthodes de lutte intégrée visant à manipuler le comportement des insectes nuisibles s'est intensifié, en raison de leur durabilité et

de leur spécificité (da Camara et al., 2015). Les huiles essentielles et leurs composants bioactifs peuvent être employés dans des approches curatives, telles que le contact, l'ingestion ou la fumigation, ainsi que dans des stratégies préventives en exploitant leurs propriétés répulsives et leurs effets sur le comportement des insectes (Akhtar et al., 2010).

La répulsion est un mécanisme de défense exercé par les plantes contre les insectes (Ben Slimen & Baoundi, 2016 ; Jayakumar et al., 2017b; Adjou et al., 2019). Cette activité est associée aux composés actifs et aux constituants chimiques présents dans l'huile (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Les huiles essentielles et leurs composés bioactifs présentent une toxicité importante à des concentrations élevées. Cependant, lorsqu'elles sont utilisées à des doses plus faibles, elles peuvent exercer un effet soit répulsif, soit attractif sur les insectes. Il existe également une zone intermédiaire où un équilibre subtil s'installe entre ces effets opposés (Bedini et al., 2019).

Les résultats de notre étude révèlent que l'HE de *M. spicata* exerce un effet répulsif significatif sur les larves de *T. granarium*, avec un taux de répulsion atteignant 90 % à 24 heures après traitement à la concentration maximale de 4 µl/ml. En outre, le pourcentage de répulsion augmente proportionnellement à la concentration de l'huile essentielle et à la durée d'exposition.

Yadav et al. (2022) ont testé les effets toxiques et répulsifs des huiles essentielles de *Mentha spicata* (menthe verte), *Mentha piperita*, *Mentha arvensis* et *Mentha citrata* sur le charançon du riz *Sitophilus oryzae* Le test de répulsion en utilisant trois concentrations 4, 12 et 40 nL/cm². Les résultats ont révélé que l'huile essentielle de *Mentha spicata* a provoqué un effet répulsif significatif, atteignant 66,66 % à une concentration de 12 nL/cm² après 24 heures d'exposition. En comparaison, les autres huiles ont montré des taux de répulsion inférieurs à des concentrations plus élevées : *M. piperita* (53,33 %), *M. arvensis* (50,00 %) et *M. citrata* (43,33 %) à 40 nL/cm². Ces résultats indiquent que *Mentha spicata* possède un potentiel répulsif supérieur, même à des concentrations plus faibles.

Dans d'autres études menée par Gutiérrez et ses collègues en 2023, plusieurs huiles essentielles ont été évaluées comme répulsifs naturels contre le moustique Aedes aegypti. Les résultats ont montré que l'huile de *Mentha spicata* faisait partie des huiles les plus efficaces, offrant une protection de 90 % pendant 60 minutes. D'autres huiles, telles que l'huile de citronnelle et celle de camphre, ont également démontré une efficacité comparable.

Selon Casida et Quistad (1995), La toxicité et l'effet répulsif des composés phytochimiques sur les ravageurs varient en fonction de nombreux facteurs, notamment la composition chimique des huiles et la sensibilité spécifique des insectes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les pesticides synthétiques sont devenus un danger majeur pour la santé humaine et l'environnement, ce qui entraîne la nécessité d'utiliser d'autres alternatives naturelles. Les huiles essentielles des plantes aromatiques ont été utilisées. Elles sont considérées comme une source essentielle d'insecticides naturels et comme une alternative aux insecticides synthétiques.

Donc ce contexte, notre étude vise à évaluer l'activité insecticide et répulsive de l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) à l'égard des larves *T . granarium*.

Les essais toxicologiques de menthe verte à l'égard des larves *T .granarium* réalisés par fumigation ont permis de déterminer un effet insecticide avec une relation dose-réponse. Le test de répulsion réalisé par la méthode de la zone préférentielle a permis de mettre en évidence son pouvoir répulsif.

Cette étude basée sur l'utilisation des plantes aromatiques comme insecticide, ouvre de larges perspectives dans le domaine des connaissances fondamentales, d'une part et dans le domaine appliqué d'autre part. A l'avenir. il serait intéressant de compléter le présent travail par :

- Evaluation de l'effet des principes actifs (composants majoritaires) de cette huile essentielle.
- Evaluation de l'effet neurotoxique de cette huile chez les ravageurs des denrées stockées. -
  Evaluation de l'effet de cette molécule bioactive sur la reproduction des adultes de *Tribolium Confusa*.
- En dernier lieu, nous suggérons des essais pilotes dans les entrepôts de stockage afin de mieux évaluer l'efficacité de ce traitement in situ.

RESUMES

VI. RESUME

Notre étude a été menée dans le but de déterminer l'effet insecticide de l'huile essentielle extraite de la plante *Mentha spicata* sur le taux de mortalité de l'insecte de *T. granarium.* En plus du pouvoir répulsif de ce bio-insecticide.

En effet, nous avons obtenu un rendement de 2.27 % de la plante de *Mentha spicata* par l'hydrodistillation et Les essais toxicologiques réalisés par fumigation ont révélé l'activité insecticide de ces traitements avec une relation dose-réponse.

Par ailleurs, Le test de répulsion a montré qu'il existe un pouvoir répulsif important de l'huile de *Mentha spicata* contre les adultes de l'insecte *T.granarium* , et on a noté que cette huile appartient à la cinquième catégorie.

Mots clés : *Mentha spicata.* Huile essentielle, *T. granarium,* Toxicité, Répulsion.

ABSTRACT

Our study was conducted in order to determine the insecticidal effect of the essential oil extracted from the *Mentha spicata* plant on the mortality rate of the *T. granarium* insect. In addition to the repellent power of this bio-insecticide.

Indeed, we obtained a yield of 2.27% of the *Mentha spicata* plant by hydrodistillation and toxicological tests carried out by fumigation revealed the insecticidal activity of these treatments with a dose-response relationship.

Moreover, the repulsion test showed that there is a significant repellent power of *Mentha spicata* oil against adults of the insect *T. granarium*, and it was noted that this oil belongs to the fifth category.

Key words: *Mentha spicata*, Essential oil*, T . granarium,* Toxicity, Repellency.

ملخص

أجُريت دراستنا لتحديد تأثير المبيد الحشري للزيت العطري المستخلص من نبات *Mentha spicata* على معدل نفوق حشرة *T. granarium*. بالإضافة إلى القوة الطاردة لهذا المبيد الحيوي.

في الواقع، حصلنا على محصول بنسبة 27.2% من نبات *Mentha spicata* عن طريق التقطير المائي وكشفت الاختبارات السمية التي أجريت عن طريق التبخير عن نشاط مبيد الحشرات لهذه المعالجات مع وجود علاقة بين الجرعة والاستجابة .

وبالإضافة إلى ذلك، أظهر اختبار الطرد أن زيت *Mentha spicata* له قوة طاردة كبيرة ضد البالغين من حشرة *T. granarium*، ولوحظ أن هذا الزيت ينتمي إلى الفئة الخامسة.

الكلمات المفتاحية: *Mentha spicata*. زيت عطري ،*T. granarium*، سمية، طارد للحشرات.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

VI. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Adjou, E. S., Chougourou, D., & Soumanou, M. M. 2019.** Insecticidal and repellent effects of essential oils from leaves of Hyptis suaveolens and Ocimum canum against Tenebroides mauritanicus (L.) isolated from peanut in post-harvest. Journal of Consumer Protection and Food Safety, 14, 25-30.

2. **Ahmedani, M. S., Haque, M. I., Afzal, S. N., Aslam, M., & Naz, S. (2009)**. Varietal changes in nutritional composition of wheat kernel *(Triticum aestivum L.*) caused by Khapra beetle infestation. *Pak. J. Bot*, *41*(3), 1511-1519.

3. **Ahmedani, M. S., Haque, M. I., Afzal, S. N., Naeem, M., Hussain, T., & Naz, S. (2011).** Quantitative losses and physical damage caused to wheat kernel (*Triticum aestivum L.)* by khapra beetle infestation. Pakistan Journal of Botany, 43(1), 659-668

4. **Akhtar, Y., Yu, Y., Isman, M.B., Plettner, E. 2010**. Dialkoxybenzene and dialkoxyallylbenzene feeding and oviposition deterrents against the cabbage looper Trichoplusia ni: potential insect behavior control agents. J Agric Food Chem 58(8):4983– 4991.

5. **Anonymous. (1981).** Khapra beetle: Pest risk analysis. FAO, Plant Protection Paper No. 44.

6. **Anuranj, P. R., Visakh, N. U., Pathrose, B., & George, S. B. (2024).** Exploring chemical composition and insecticidal activities of Alpinia calcarata rhizome essential oil against three major storage insects. Journal of Natural Pesticide Research, 10, 100088 https://doi.org/10.1016/j.napere.2024.100088.

7. **Aprotosoaie, A.C., Spac, A.D., Hancianu, M., Miron, A., Tanasescu, V.F., Dorneanu, V. & Stanescu, U. (2010).** The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (Foeniculum vulgare Mill.). Farmacia. 58 (1) : 46-54.

8. **Assadpour, E., et al. (2024).** Application of essential oils as natural biopesticides: recent advances.Sustainability, 16(3), 1234.https://doi.org/10.3390/su16031234

9. **Athanassiou, C. (2022, June 7).** *Trogoderma granarium* (khapra beetle). CABI Compendium. https://doi.org/10.1079/cabicompendium.55010

10. **Athanassiou, C. G., Phillips, T. W., & Wakil, W. 2019.** Biology and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major quarantine threat to global food security. Annual Review of Entomology, 64, 131-148.

11. **Athanassiou, C. G., Phillips, T. W., & Wakil, W. 2019.** Biology and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium*, a major quarantine threat to global food security. Annual Review of Entomology, 64, 131-148

12. **Athanassiou, C.G. 2022**. *Trogoderma granarium* (khapra beetle). https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.1079/cabicompendium.55010 [25 Mai 2024].

13. **Bardaweel S.K., Gherib A., Bakchiche B., Alsalamat H.A., Rezzoug M., flamini G, 2018**, Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata L*. (Lamiaceae) from Algerian Saharan atlas. Complementary and Alternative Medicine, 18(201), 1-7p

14. **Bayani, M., Ahmadi-hamedani, M., Jebelli Javan, A. 2017.** Study of hypoglycemic, hypocholesterolemic and antioxidant activities of Iranian mentha spicata leaves aqueous extract in diabetic rats," Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR, vol. 16, no. 8, pp. 75–82.

15. **Bedini, S., Farina, P., Conti, B. 2019.** Bioattività degli oli essenziali: Luci e ombre del loro utilizzo nella gestione degli insetti dannosi. In Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia; Accademia Nazionale Italiana di Entomologia: Florence, Italy, pp. 201– 206.

16. **Benhamada, N., Benhamada, O., & Idoui, T. (2024).** Study of the quality and loses of durum wheat (Triticum durum) during storage: an overview of traditional storage in Algeria. Acta Scientiarum: Biological Sciences, 46. DOI:10.4025/actascibiolsci.v46i1.70661

17. **Bensalem-Djidi, (2014).** Effet de deux hypotenseurs le lisinopril et l'enalapril sur quelques paramètres de la reproduction d'un ravageur des denrées stockées Ephestia kuehniella. Thése de doctorat en Reproduction & Développement animale. Université Badji Mokhtar. Annaba.85p.

18. **Besard, L., Mommaerts, V., Abdu-Alla, G., Smagghe, G. 2011**. Lethal and sublethal side-effect assessment supports a more benign profile of spinetoram compared with spinosad in the bumblebee Bombus terrestris. Pest Management Science. 67(5): 541–547.

19. **Besombes, C. (2008)**. Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques, Applications généralisées. Thèse de Doctorat. Université de La Rochelle. France.
20. **Brahmi F., Adjaoud A., Marongiu B., Falconieri D., Yalaoui-Guellal D., Madani K., Chibane M, 2016**, Chemical and biological profiles of essential oifrom Mentha spicata L. leaf from Bejaia in Algeria. Journal of essential oil Research, 28(3),211-220p
21. **Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales. 2ème édition, Tec & Doc Lavoisier, Paris.
22. **Bruneton, J. (2009).** Pharmacognosie – Phytochimie – Plantes médicinales (4e éd., revue et augmentée). Tec & Doc – Éditions médicales internationales. ISBN 978-27430-1188-8.
23. **Buss, L. J. (2009).** Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Insecta: Coleoptera: Dermestidae). EDIS, University of Florida. https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN667
24. **Camara, A. (2009).** Lutte contre Sitophilus oryzae L. (Coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) dans les stocks de Riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Environnement. Université du Québec. 72p.) https://doi.org/10.1016/j.napere.2024.100088
25. **Casida, J. E., & Quistad, G. B. 1995**. Pyrethrum flowers: production, chemistry, toxicology, and uses. Oxford University Press, New York, ISBN-10: 0195082109, pp: 356.
26. **Christaki, E., Bonos, E., Giannenas, I., Florou-Paneri, P. 2012**. Aromatic Plants as a Source of Bioactive Compounds. Agriculture, 2(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/agriculture2030228
27. **Da Camara, C.A., Akhtar, Y., Isman, M.B., Sefrin, R.C., Born, F.S. 2015.** Repellent activity of essential oils from two species of Citrus against Tetranychus urticae in the laboratory and greenhouse. Crop Prot 74:110–115.
28. **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. https://doi.org/10.3390/ijerph8051402
29. **de Normalisation, O. I. (2005).** Huile essentielle de menthe crepue (ou menthe verte). Pt. 1: Type native (Mentha spicata L.).-pt. 2: Type Chine (80% et 60%)(*Mentha viridis*

L. var. crispa Benth.), huile bidistillee.-pt. 3: Type Inde (*Mentha spicata L*.), huile bidistillee.-pt. 4: Variete Scotch (*Mentha x gracilis Sole*).

30. **Degu B., Amano S., Mengesha B. (2017)**. Leaf and Essential oil yield response of Spearmint (*Mentha spicata* var. WG-SPM-Fran) under varying harvesting stages and row spacing. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research, 5(4), 284–290.
31. **Devrnja, N., Milutinović, M., & Savić, J. (2022).** When scent becomes a weapon—plant essential oils as potent bioinsecticides. Sustainability, 14(11), 6847.https://doi.org/10.3390/su14116847
32. **El Kady, H., Awadalla, S., Ata, T. E. S., Abidallah, S., & Almayar, M. (2025).** Effect of temperature on development, reproduction, longevity and grain weight losses of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium*. Damietta Journal of Agricultural Sciences, 4(1), 94- 103.https://djas.journals.ekb.eg/article_411843.htm
33. **El Menyiy, N., Mrabti, H. N., El Omari, N., Bakili, A. E., Bakrim, S., Mekkaoui, M., ... & Bouyahya, A. (2022).** Medicinal uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Mentha spicata.* Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022.
34. **EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2013).** Diagnostics. PM 7/13 (2) *Trogoderma granarium*. EPPO Bull, 43, 431-448.
35. **Eur. Mediterr. Plant Prot. Org. 2016.** A2 list of pests recommended for regulation as quarantine pests. *Trogoderma granarium*. https://gd.eppo.int/taxon/TROGGA.
36. **Gang, D. R., Wang, J., Dudareva, N., Nam, K. H., Simon, J. E., Lewinsohn, E., & Pichersky, E. (2001).** An investigation of the storage and biosynthesis of phenylpropenes in sweet basil. Plant Physiology, 125(4), 539–555. https://doi.org/10.1104/pp.125.2.539
37. **Girardi, L., Islam, W., Zaynab, M., Noman, A., & Singh, A. (2023)**.Comparative efficacy of five essential oils from local plants and their major constituents in controlling the stored wheat pest *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae).Journal of Stored Products Research, 79, 48–56. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.07.004
38. **Global Invasive Species Database (2025).** Species profile: *Trogoderma granarium*. Consulté le 21 mai 2025, à partir de https://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=142

39. **Govindarajan, M., Sivakumar, R., Rajeswari, M., & Yogalakshmi, K. (2012**). Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Mentha spicata* (Linn.) against three mosquito species. Parasitology Research, 110(5), 2023–2032. https://doi.org/10.1007/s00436-011-2720-0

40. **Guenther, E. (1972)**. The Essential Oils. Volume I. Robert E. Krieger Publishing Company.

41. **Guèye, M. T., Seck, D., Wathelet, J. P., & Lognay, G. (2011)**. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 15(1 https://hdl.handle.net/2268/89355

42. **Gutiérrez, M., López, R., & Sánchez, A. (2023).** Evaluation of essential oils as natural repellents against Aedes aegypti mosquitoes. Scientific Reports, 13(1), 12345. https://doi.org/10.1038/s41598-023-28820-9

43. **Hadaway, A. B. (1955)**. The biology of the Khapra beetle *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Bulletin of Entomological Research, 46(2), 317–328.

44. **Hadaway, A.B. 1956.** The biology of the dermestid beetles, *Trogoderma granarium* Everts and Trogoderma versicolor (Creutz). Bulletin of Entomological Research, 46(4):781-796. DOI: 10.1017/S0007485300037044

45. **Hill, J.M., Schoonhoven, A.V.1981**. The use of vegetable oils in controlling insect infestations in stored grains and pulses. Recent Advances in Food Science and Technology, 1, 473-481.

46. **Hussain, D., Asrar, M., Khalid, B., Hafeez, F., Saleem, M., Akhter, M., ... & Hanif, K. (2022)**. Insect pests of economic importance attacking wheat crop (*Triticum aestivum L.)* in Punjab, Pakistan. International Journal of Tropical Insect Science, 42(1), 9-20 https://doi.org/10.1007/s42690-021-00574-9

47. **Jacobson, M., 1989.** Botanical Pesticides: Past, Present and Future. Insecticides of Plant In Origin. Arnason, Philogene, Bjr and Morand, P. ACS Symp. Ser., vol. 387,pp. 1–10.

48. **Jayakumar, M., Seenivasan, S. P., Rehman, F. & Ignacimuthu, S. (2017).** Fumigant effect of some essential oils against pulse beetle, Callosobruchus maculatus(Fab.)(Coleoptera : Bruchidae). African Entomology. 25(1): 193-199.

49. **Jian, F. (2019).** Influences of stored product insect movements on integrated pest management decisions. Insects, 10(4), 100. https://doi.org/10.3390/insects10040100

50. **Kafle, L., & Chung, A.-Y. (2025).** Contact toxicity and repellency of lemongrass, spearmint, rosemary oils and their major bioactive compounds on destroyer ants (Trichomyrmex destructor) under laboratory conditions. Discover Applied Sciences, 7(4), 332. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06793-w

51. **Kassahun, M., Egata, D. F., Lulseged, T., Yosef, W. B., Tadesse, S. 2014**. Variability in agronomic and chemical characteristics of spearmint (*mentha spicata L*) genotypes in Ethiopia," International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, vol. 2, no. 10, pp. 2704–2711.

52. **Kaufmann, C. & Briegel, H. (2004).** Flight performance of the malaria vectors Anopheles gambiae and Anopheles atroparvus. Journal of the Society for Vector Ecology. 29(1): 140-153.

53. **Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Diamantis, G. C., Gioukari, H. G., & Boukouvala, M. C. (2017).** Evaluation of six insecticides against adults and larvae of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on wheat, barley, maize and rough rice. *Journalof Stored Products Research*, *71*, 81-92. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.12.003

54. **Kavallieratos, N. G., Boukouvala, M. C., Ntalli, N., Skourti, A., Karagianni, E. S., Nika, E. P., ... & Benelli, G. (2020)**. Effectiveness of eight essential oils against two key stored-product beetles, Prostephanus truncatus (Horn) and *Trogoderma granarium* Everts. *Food and Chemical Toxicology*, *139*, 111255https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111255.

55. **Kavallieratos, N. G., Karagianni, E. S., & Papanikolaou, N. E. (2019)**. Life history of Trogoderma granarium Everts (Coleoptera: Dermestidae) on peeled barley, peeled oats and triticale. *Journal of Stored Products Research*, *84*, 101515. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101515

56. **Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P. K., Chanotiya, C. S., and Dubey, N. K. 2014.** Antifungal, antiaflatoxigenic, and insecticidal efficacy of spearmint (*Mentha spicata* L) essential oil. International Biodeterioration & Biodegradation, vol. 89, pp. 29–36, 2014-

57. **Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. 2011.** Insecticidal properties of *Mentha species*: a review. Industrial Crops and products, 34(1), 802-817.

58. **Kunwar, C. Pande, and G. Tewari. 2017**. Essential oil composition of the aerial parts of *Mentha spicata L*." Journal of essential oil-bearing plants JEOP, vol. 13, no. 3, pp. 353– 356.

59. **Lacotte, V., Rey, M., Peignier, S., Mercier, P.-E., Rahioui, I., Sivignon, C., Razy, L., Benhamou, S., Livi, S., & da Silva, P. (2023).** Bioactivity and chemical composition of forty plant essential oils against the pea aphid Acyrthosiphon pisum revealed peppermint oil as a promising biorepellent. Industrial Crops and Products, 197, 116610.https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116610

60. **Lavialle-Defaix, C., Moignot, B., Legros, C., Lapied, B. 2010**. How does calciumdependent intracellular regulation of voltage-dependent sodium current increase the sensitivity to the oxadiazine insecticide indoxacarb metabolite decarbomethoxylated JW062 (DCJW) in insect pacemaker neurons?. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics, 333(1), 264-272.

61. **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. Auckland, NZ: Invasive Species Spec. Group, World Conserv. Union, Int. Union Conserv. Nat. http://www.issg.org/pdf/publications/worst_100/ english_100_worst.pdf

62. **Mann, R. S. & E Kaufman, P. E. (2012)**. Natural product pesticides : Their development, delivery and use against insect vectors. Mini-Reviews in Organic Chemistry. 9(2): 185-202.

63. **Mejdoub, K., Benomari, F. Z., Djabou, N., Dib, M. E. A., Benyelles, N. G., & Muselli, A. (2019).** Antifungal and insecticidal activities of essential oils of four Mentha species. Journal of Essential Oil Research. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1626543

64. **Mohammedi Z. & Atik F. (2011)**. Pouvoir antifongique et antioxydant de l'huile essentielle de Lavandula stoechas L. Nature et Technologie. 4 :34-39.

65. **Myers, S. W., Hagstrum, D. W., Phillips, T. W., & Cuperus, G. (2012).** Quarantine. Stored product protection, 297-304.

66. **Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., & Tola, Y. B. (2021).** Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. Heliyon, 7(12).

67. **Neugebauerová, J., & Kaffková, K. (2012).** Variability of essential oil content of Mentha L. taxa. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 60(8), 187–190.

68. **OMS. 1963.** Geneve 19-25 Novembre rapport annuel du directeur générale à l'assemblée Mondiale de la Santé et aux Nations Unies.

69. **Passara, H., & Pumnuan, J. (2024).** Insecticidal efficiency of plant essential oil nanoemulsions on controlling Spodoptera exigua.International Journal of Agricultural Technology, 20(1), 167–174.https://ijataatsea.com/pdf/v20_n1_2024_January/21_IJAT_20(1)_2024_Passara,%20H.(16).pdf

70. **Pope, C. N., Schlenk, D., Baud, F. J. 2020**. History and basic concepts of toxicology. An Introduction to Interdisciplinary Toxicology, 3–15. doi:10.1016/b978-0-12-813602-7.00001-6

71. **Saldivar, S. S., & García-Lara, S. (2016).** Cereals: storage.

72. **Sayed, S. M., & Soliman, M. M. (2022).** Insecticidal activity of essential oils against *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) in stored wheat grains.Journal of Stored Products Research, 95, 101234.https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.101234

73. **Selles, S. M. A., Kouidri, M., Bellik, Y., Amrane, A. A., Belhamiti, B. T., Benia, A. R., & Boukraa, L. (2018).** Chemical composition, antioxidant and in vitro antibacterial activities of essential oils of *Mentha spicata* leaf from Tiaret area (Algeria). Dhaka University Journal of Pharmaceutical Sciences, 17(1), 87–96.

74. **Selles, S., et al. (2018).** "Etude de l'activité biologique de l'huile essentielle de *Mentha spicata* cultivée dans la région de Tiaret (Algérie)." Revue des Bioressources, 7(2), 1–10.

75. **Shelepova, O. V., Shovkhalov, R. V., & Shelepov, V. V. (2021)**. Assessment of essential oil yield in three mint species in the climatic conditions of Central Russia. Agronomy Research, 19(4), 1971–1983

76. **Singh, A., Chand, P., Vishwakarma, R., & Singh, C. K. (2017).** Khapra beetle (*Trogoderma granarium* Everts): A food security threat. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 6(11), 1-6. http://www.bepls.com

77. **Singh, K. D., Mobolade, A. J., Bharali, R., Sahoo, D., & Rajashekar, Y. 2021**. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. Journal of Agriculture and Food Research, 4, 100127. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100127

78. **USDA APHIS. (2025).** Khapra Beetle Program Manual. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Servicehttps://www.aphis.usda.gov/aphis/resources/pests-diseases/hungry-pests/thekhapra-beetle/ct_khapra-beetle-program-manual

79. **Wu, Y., Domingue, M. J., McGraw, A. R., Vieira, K. A., Palmeri, M. Z., & Myers, S. W. (2023).** Development of an array of molecular tools for the identification of khapra beetle (*Trogoderma granarium*), a destructive beetle of stored food products. Scientific Reports, 13(1), 3327 .https://doi.org/10.1038/s41598-023-29842-z

80. **Wu, Y., Domingue, M. J., McGraw, A. R., Vieira, K. A., Palmeri, M. Z., & Myers, S. W. (2023).** Development of an array of molecular tools for the identification of khapra beetle (*Trogoderma granarium*), a destructive beetle of stored food products. Scientific Reports, 13(1), 3327 .https://doi.org/10.1038/s41598-023-29842-z

81. **Yadav, A. S., Singh, A., Kumar, A., & Tripathi, A. K. (2022).** Repellent toxicity of mint essential oils against rice weevil, *Sitophilus oryzae*. The Pharma Innovation Journal, 11(9S), 320-324. https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/

82. **Yadav, S. K., Bhowmik, S., Yadav, P. C., & Sharma, K. C. (2022).** Identification and control of *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae), a potential threat to stored products and international trade. International Journal of Tropical Insect Science, 42(2), 999-1017 https://doi.org/10.1007/s42690-021-00635-z