République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa –

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Êtres vivants

MEMOIRE

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

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Biologie animale

Spécialité : Écophysiologie animale

Thème :

Étude des pouvoir insecticide et répulsif de l'huile de *Thymus algeriensis* contre un ravageur des stocks.

Présenté par : Melle GHOUL Houda

Melle MECHRI Kanza

Devant le jury :

Dr. MAHMOUDI Khaoula	**M.C.B**	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Présidente
Dr. MEBARKIA Nadjoua	**M.C.B.**	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Examinatrice
Dr. HALAIMIA Samira	**M.C.B.**	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Encadrante

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 voulons exprimer par ces quelques lignes nos sincères remerciements et notre gratitude envers tous ceux qui nous ont soutenues par leur présence, leur disponibilité et leurs conseils.

Nous commençons par remercier notre promotrice **Dr. HALAIMIA Samira** pour avoir accepté de nous encadrer, pour tous ses efforts, conseils avisés, ouverture d'esprit, 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 adressons également nos très sincères remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire. Au **Dr. MAHMOUDI Khawla** (Maître de conférences au Département de Sciences de la nature et de la vie, Université de Tébessa), présidente du jury, et au **Dr. MEBARKIA Nadjoua** (Maître de conférences au Département de Sciences de la nature et de la vie, Université de Tébessa), **e**xaminatric**e** de ce travail.

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

Par souci de ne pas oublier quelqu'un, nous souhaitons adresser nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont soutenues, de près ou de loin, tout au long de ce parcours. Une pensée particulière va à celles et ceux qui nous ont transmis le goût pour la biologie, ainsi qu'à nos collègues du laboratoire, avec qui nous avons partagé de nombreux moments enrichissants et chaleureux.

TABLES DES MATIERES

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	**01**
II. MATERIEL ET METHODES	**04**
2.1. Présentation de l'insecte étudié *Tribolium castaneum*	**04**
2.2. Présentation de la plante, *Thymus Algeriensis* Boiss. Et Reut	**06**
2.3. Extraction et rendement de l'HE de *Thymus algeriensis*	**07**
2.4. Traitement de bioessais	**09**
2.4.1. Toxicité par contact	**09**
2.4.2. Toxicité par fumigation	**10**
2.5. Test de répulsion	**11**
2.6. Analyses statistiques	**12**
III. RESULTATS	**13**
3.1. Rendement de l'huile essentielle de *Thymus Algeriensis*	**13**
3.2. Essais toxicologiques	**13**
3.2.1. Toxicité par contact	**14**
3.2.2. Toxicité par fumigation	**15**
3.3. Effet répulsif de l'HE de *Thymus algeriensis*	**17**
IV. DISCUSSION	**19**
4.1. Rendement en huile essentielle	**19**
4.2. Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* à l'égard des ravageurs	**21**
4.3. Effet répulsif de l'HE de *Thymus algeriensis* à l'égard des ravageurs	**22**
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	**24**
RESUMES	**25**
Français	**25**
Anglais	**26**
Arabe	**27**
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	**28**

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 01.	La position systématique de *Tribolium castaneum*, (Herbst, 1797).	04
Tableau 02.	La position systématique de la plante *Thymus algeriensis* (Bioss. et Reut, 1852).	07
Tableau 03.	Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald *et al.* (1970).	12
Tableau 04.	Caractéristiques organoleptiques de l'HE extraite des feuilles de *Thymus algeriensis*	13
Tableau 05.	Efficacité de l'HE de *T. algeriensis* appliquée par contact sur les adultes de *T. castaneum* : analyse des probits.	15
Tableau 06.	Efficacité de l'HE de *T. algeriensis* appliquée par fumigation sur les adultes de *T. castaneum* : analyse des probits.	17
Tableau 07.	Pourcentages (PR), indices (IR) et classes (CR) de répulsion de l'HE testée sur les adultes de *T. castaneum*.	18

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 01.	*Tribolium castaneum* (face ventrale et face dorsale) **(Photos personnelles, 2025).**	04
Figure 02.	Différents stades de vie de *Tribolium castaneum* **(Islam, 2017)**.	06
Figure 03.	Présentation de *Thymus algeriensis* **(Photos personnelles, 2025)**.	07
Figure 04.	Préparation de*Thymus algeriensis*pour l'extraction **(Photos personnelles, 2025)**.	08
Figure 05.	Extraction des HE de la partie aérienne de *Thymus algeriensis***(Photos personnelles, 2025)**.	09
Figure 06.	Test de toxicité par ingestion **(Photos personnelles, 2025)**.	10
Figure 07.	Test de toxicité par fumigation **(Photos personnelles, 2025)**.	10
Figure 08.	Test de répulsion **(Photos personnelles, 2025)**.	11
Figure 09.	Le rendement de l'huile essentielle extraite à partir de la partie aérienne de la plante *Thymus algeriensis* fraîche et sèche (m ± SEM, n=3) : Test t Student	13
Figure 10.	Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par contact (µl/ml) sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey	14
Figure 11.	Effets de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par contact sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	15
Figure 12.	Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par fumigation (µl/l d'air) sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	16
Figure 13.	Effets de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par fumigation sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	17

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, les céréales sont considérées comme des sources primordiales de protéines, de glucides, de vitamines B et de certains minéraux. On note en particulier la présence de blé, de maïs et de riz (Jood *et al*., 1993 ; Jood *et al*., 1996). En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent la colonne vertébrale du régime alimentaire et occupent également une place stratégique dans l'économie nationale, les terres dédiées à la culture des céréales s'étendant sur environ 6 millions d'hectares. Chaque année, entre 3 et 3,5 millions d'hectares sont ensemencés, dont 70 % sont particulièrement consacrés à la culture du blé. Quant à l'orge et l'avoine, elles ne couvrent qu'une superficie minimale. Le reste est laissé en jachère (Amokrane *et al*., 2002).

Le regroupement des récoltes sous forme de stocks, crée un écosystème particulièrement fragile face aux attaques des animaux nuisibles aux cultures, tels que les rongeurs, les oiseaux, les insectes, les acariens (Cruz *et al*., 2016). Les insectes peuvent causer d'énormes dégâts en consommant directement les grains ou par l'accumulation d'exuvies, de toiles d'araignées et de cadavres. L'accumulation de débris d'insectes peut entraîner une perte qualitative et quantitative des denrées alimentaires, rendant ainsi le grain impropre à la consommation humaine (Rajashekar *et al*., 2012). L'infestation d'insectes peut modifier l'environnement de la chambre de stockage, ce qui pourrait créer des conditions favorables pour les champignons de stockage envahissants qui causent d'autres pertes (Phillips et Throne, 2010).

Les principaux ravageurs des grains entreposés sont classés en deux groupes. Les principaux ravageurs : ceux qui sont capables de pénétrer et d'infester le grain entier et ont des stades immatures qui se développent dans le grain. Les ravageurs secondaires : ceux qui ne peuvent pas infester tout le grain, mais se nourrissent de grains brisés, de débris, de graines de mauvaises herbes à forte humidité et de grain endommagé par les principaux ravageurs. En général, les stades immatures des espèces de ravageurs secondaires se trouvent à l'extérieur du grain. Les envahisseurs secondaires ne peuvent pas initier l'infestation (Yann *et al*., 2025).

Tribolium castaneum (Herbst) est ravageur secondaire des denrées stockés (Rajashekar *et al*., 2012), il est très important en raison de sa large gamme d'hôtes, de sa capacité à détecter et infester les denrées et à augmenter rapidement sa population après son établissement. *Tribolium castaneum* représente souvent la population la plus abondante et la plus répondue dans le monde, grâce à son

taux de reproduction élevé et à sa longue durée de vie (Sokoloff, 1977 ; Mariadoss et Umamaheswari, 2020).

La nature polyphage des ravageurs et le développement de la résistance dû aux applications fréquentes d'insecticides chimiques (Othman *et al*., 2020), de cultures transgéniques (Dutton *et al*., 2005) nécessitent une gestion intégrée efficace de la lutte contre les ravageurs (Ahmed *et al*. 2022), basée sur les biopesticides (Moustafa *et al*., 2022) et les stratégies intégrées qui favorisent l'utilisation de molécules plus écologiques (Ngegba *et al*., 2022). Par conséquent, la nécessité de réduire l'utilisation de pesticides synthétiques ou de les remplacer par des alternatives naturelles a conduit à l'exploration de méthodes respectueuses de l'environnement pour la lutte antiparasitaire.

Récemment, les huiles essentielles ont gagné en raison de leur accessibilité provenant de diverses plantes, de leur faible toxicité pour les mammifères et de leur bonne dégradabilité (Garrido-Miranda *et al*., 2022). Les HEs sont des substances aromatiques et volatiles avec une consistance huileuse, extraites de différentes parties de la plante telles que la feuille, la tige, la fleur, l'écorce et le fruit (Ebadollahi *et al*., 2021). La recherche sur l'utilisation des huiles essentielles a connu un essor important (Aïssi *et al*., 2009) ; elles présentent des propriétés insecticides (Abdelaal *et al*., 2021), antifongique (Valcárcel *et al*., 2021), régulateur de croissance et répulsif (Dyadiuchenko *et al*., 2020).

L'utilisation des huiles essentielles pour protéger les cultures dans la lutte intégrée contre les ravageurs aide à retarder le développement de la résistance grâce à leurs multiples mécanismes d'action et à leur toxicité sélective (Isman et Machial, 2006). Les huiles essentielles (HE) et leurs composés actifs ont été reconnus comme une nouvelle approche prometteuse pour la gestion des insectes nuisibles dans les produits stockés (Isman, 2020 ; Jumbo *et al*., 2022). Les plantes de la famille des Lamiacées, fournissent des composés actifs issus de leur huile essentielle, principalement le carvacrol et le thymol. Ces métabolites secondaires agissent comme une défense chimique contre les insectes et les phytopathogènes. À cet égard, les huiles essentielles issues de ces plantes sont reconnues pour leurs fortes propriétés insecticides, antimicrobiennes et acaricides, ce qui les rend très efficaces dans les approches naturelles de lutte (Nabavi *et al*., 2015 ; El Ouariachi *et al*., 2011 ; Rajhi *et al*., 2021).

Plusieurs études ont démontré que les huiles essentielles perturbent les systèmes nerveux, respiratoire et digestive des insectes, notamment via l'inhibition de l'activité enzymatique (Zhang *et al*., 2019 ; Boumezzourh *et al*., 2023).

Dans ce contexte, notre étude a été consacrée dans une première partie à l'extraction de l'huile essentielle de *Thymus algeriensis* et la détermination de son rendement en matière fraîche et en matière sèche.

La deuxième partie est consacrée à l'évaluation de la toxicité de l'huile de *Thymus algeriensis* par ingestion et par fumigation sur les adultes de *Tribolium castaneum*.

La troisième partie vise à évaluer potentiel de répulsion de cette huile essentielle vis-à-vis de cet insecte ravageur.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de l'insecte étudié *Tribolium castaneum*

Le coléoptère *Tribolium castaneum* (Fig. 01) est un ravageur secondaire strict des denrées stockées, il n'infeste généralement les grains qu'après une attaque préalable par d'autres insectes ou lorsque les grains sont endommagés ou fragmentés (Camara, 2009 ; Seck, 1992). Il est responsable de pertes économiques importantes dans les entrepôts de produits céréaliers riches en amidon, notamment les farines (Bonneton,2010). *Tribolium castaneum* appelé aussi le coléoptère rouge de la farine, est un ravageur cosmopolite bien connu des denrées stockées (Rées,1996 ; Nenaah,2014). Il appartient à la famille des Ténébrionidé, communément appelés « scarabées noirs » (Tableau. 01).

Tableau 01. La position systématique de *Tribolium castaneum*, (Herbst, 1797).

Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Sous embranchement	Hexapodea
Classe	Insecta
Ordre	Lamiales
Famille	Tenebrionidae
Genre	Tribolium
Espèce	***Tribolium castaneum*** (Herbst, 1797)



Figure 01. *Tribolium castaneum* (face ventrale et face dorsale) **(Photos personnelles, 2025).**

L'œuf du *Tribolium castaneum* présente des dimensions moyennes de 0,6 × 0,3 mm et adopte une forme oblongue (Fig. 02). Il est de couleur blanchâtre, presque transparent, avec une surface lisse. Celle-ci est recouverte d'une substance visqueuse qui facilite son adhérence au substrat et favorise l'agrégation de particules de farine à sa surface (Lepesme, 1944). L'incubation dure en moyenne une semaine à une température de 25 °C. Toutefois, cette durée peut varier de 4 jours à 38 °C à 14 jours à 19 °C (Multon, 1982).

Les larves présentent une forme vermiforme et possèdent des pattes situées à l'extrémité du dernier segment abdominal, ainsi qu'une paire de courts appendices appelés « urogomphes ». Elles atteignent une longueur d'environ 6 mm, soit approximativement huit fois leur largeur (Fig. 02). À maturité, elles arborent une coloration jaune très pâle et sont munies, sur les côtés, de courtes soies jaunes. La capsule céphalique ainsi que la face dorsale présentent une teinte légèrement rougeâtre (Godon et Willm, 1998).

La nymphe, mesurant environ 5 mm de long (Fig. 02), est dépourvue de tout revêtement et présente une coloration blanchâtre initiale qui évolue progressivement vers un brun pâle (Lyon, 2000). Sa teinte générale est testacée. Les segments abdominaux, de couleur jaune testacé, sont ornés dorsalement de poils clairsemés et très courts, tandis que les faces latérales portent des protubérances charnues couvertes de spinules, chacune munie de trois à quatre soies allongées. Le dernier segment abdominal est doté, comme chez la larve, de deux urogomphes brun foncé à extrémité très aiguë (Lepesme, 1944).

Tribolium castaneum adulte est un petit insecte de couleur brun rougeâtre, sa longueur varie entre 2,3 et 4,4 mm. Le scarabée peut survivre jusqu'à trois ans en tant qu'adulte. L'insecte a la capacité de se disperser par le vol sur de longues distances considérables (Ridley *et al*., 2011). Il se distingue nettement par la segmentation marquée de son corps en trois parties : tête, thorax et abdomen. Le thorax, plus large que long, ainsi que les élytres fortement striés longitudinalement. Il présente une grande ressemblance avec *Tribolium confusum*, ce qui a conduit à une confusion fréquente entre les deux espèces (Robinson, 2005).

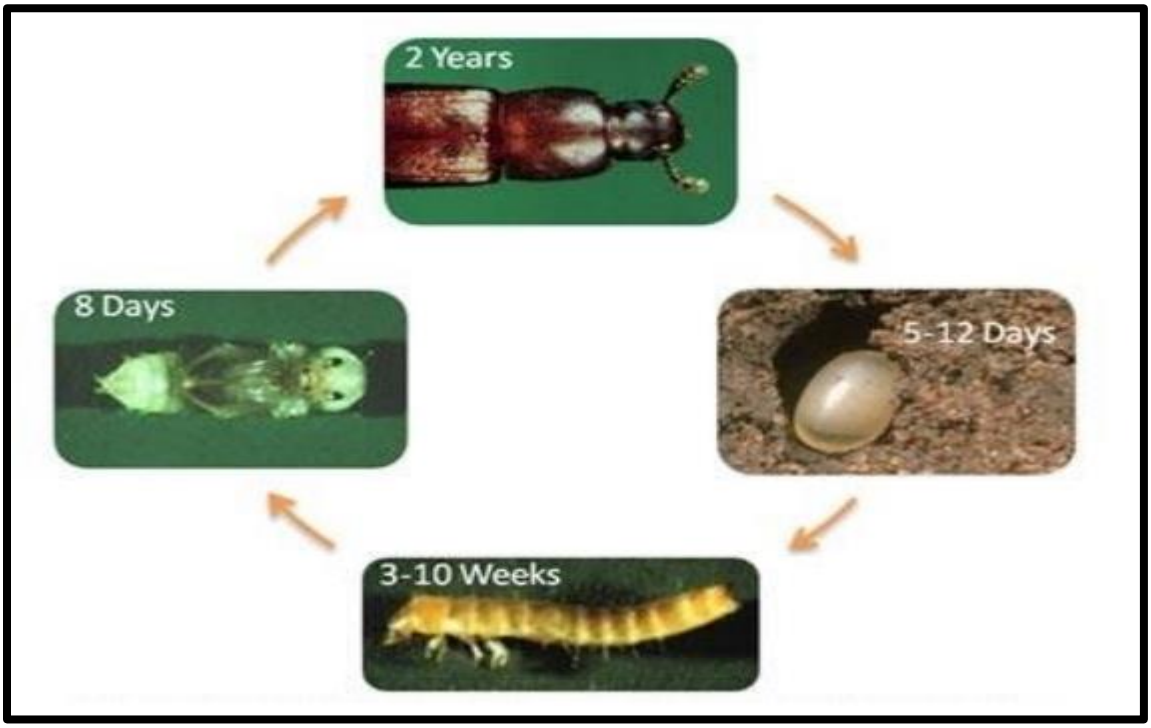


Figure 02. Différents stades de vie de *Tribolium castaneum* **(Islam, 2017)**.

2.2. Présentation de la plante, *Thymus Algeriensis* Boiss. Et Reut

Les plantes médicinales appartenant au genre Thymus sont parmi les espèces les plus importantes de la famille des Lamiacées (Talebi *et al.*, 2015). L'une d'elles est *Thymus algeriensis*, qui est principalement distribuée dans la région méditerranéenne y compris dans la région nord-africaine (Mahdi *et al.*, 2022 ; Boukara *et al.*, 2023). *Thymus algeriensis* Bioss. et Reut, est un sous-arbrisseau odorant aux fleurs rose violacé (Fig. 03), à tiges couchées ou dressées, les feuilles ponctuées glanduleuses (Alapetite, 1981). Cette espèce se caractérisent par une odeur modérée et parfois une saveur balsamique et épicée très prononcée (Khled khoudja *et al.*, 2014) capable de survivre dans des conditions climatiques extrêmes, en particulier caractérisé par des températures élevées et une eau limitée (Talebi *et al.*, 2015 ; Righi *et al.*, 2020). Les espèces de Thymus les plus abondantes en Algérie sont *Thymus fontanesii*, *Thymus commutatus*, *Thymus hirtus*, *Thymus munbyanus* et *Thymus algeriensis* (Mebarki 2010), ces nombreuses variantes de l'espèce, s'épanouissant dans des lieux et des climats disparates (Boukara *et al.*, 2023).

Tableau 02. La position systématique de la plante *Thymus algeriensis* (Bioss. et Reut, 1852).

Règne	**Plantae**
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Eudicotes
Sous classe	Astéridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Thymus
Espèce	***Thymus algeriensis*** (Bioss. et Reut, 1852)



Figure 03. Présentation de *Thymus algeriensis* **(Photos personnelles, 2025)**.

2.3. Extraction et rendement de l'HE de *Thymus algeriensis*

La collecte de la partie aérienne de *Thymus algeriensis* a été faite au mois d'avril 2025 dans la région de Ain Zerga à Tébessa. Les parties choisies de la plante ont été lavées à l'eau du robinet pour éliminer le sol et les autres contaminants de surface dont une partie a subi une extraction directe et la deuxième partie a été séchée à l'air libre pendant 4 jours à l'obscurité avant l'extraction. Le rendement en huile essentielle a été réalisé à partir de 100 g de la plante qui a été mélangée avec 1000 ml d'eau distillée (Fig. 04). Ensuite, le mélange est introduit dans un ballon d'une capacité

de deux litres, à fond rond et à 3 cols, 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 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 (Fig. 05).

L'huile essentielle 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 (Mawussi, 2008 ; 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 :

$$\mathbf{R\ (\%)} = [\Sigma P\ B / \Sigma P\ A] \times 100$$

R : Rendement en huile (%).

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

PB : Poids de l'huile en g



Figure 04. Préparation de *Thymus algeriensis* pour l'extraction **(Photos personnelles, 2025)**.

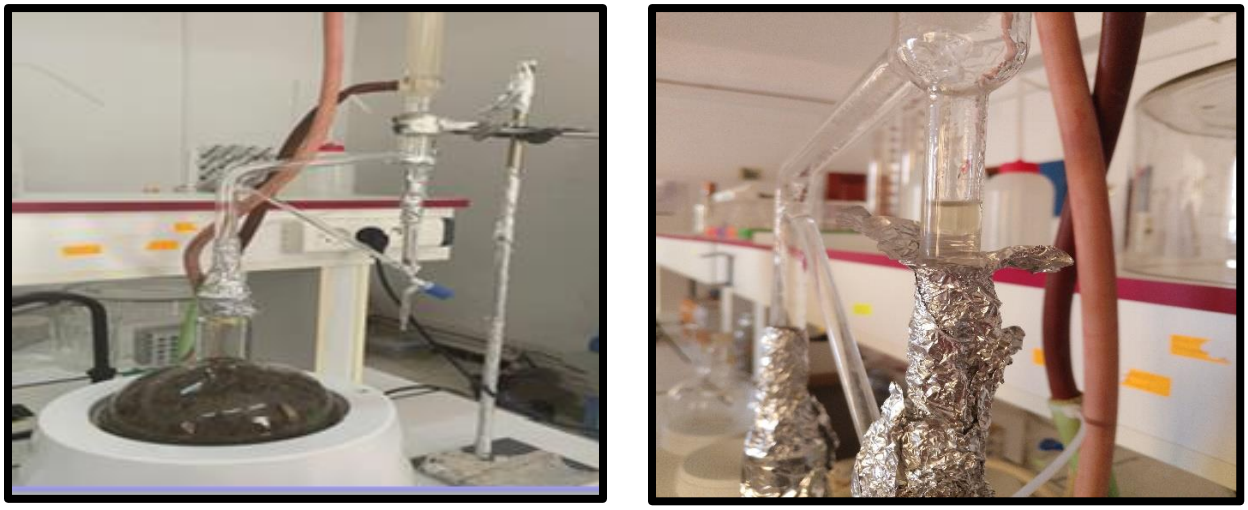


Figure 05. Extraction des HE de la partie aérienne de *Thymus algeriensis* **(Photos personnelles, 2025)**.

2.4. Traitement de bioessais

2.4.1. Toxicité par contact

Après un screening préalable, l'huile de *Thymus Algeriensis* dissous dans l'acétone (1 ml) a été appliquée à différentes concentrations (30, 35, 40 et 45µl/ml) pour les adultes de *T.castaneum*, l'application a été réalisée sur 3g de blé sain dans des flacons en plastique (Fig. 06). Après une évaporation totale du solvant pendant 15 min, 10 adultes mâles et femelles (sexes confondus) de *T.castaneum* sont introduits dans les flacons. Le bioessai a été réalisé en six répétitions pour chaque dose. Une série témoin est conduite en parallèle et les grains de blé reçoivent uniquement du solvant (acétone). Les mortalités enregistrées à 12 h, 24 h et 48 h après traitement ont été corrigées selon la formule D'Abbott (1925), afin d'éliminer les mortalités naturelles. Les concentrations létales ainsi que leurs intervalles de confiance (95% IC) ont été calculées grâce à un Logiciel GRAPH PAD PRISM 8.

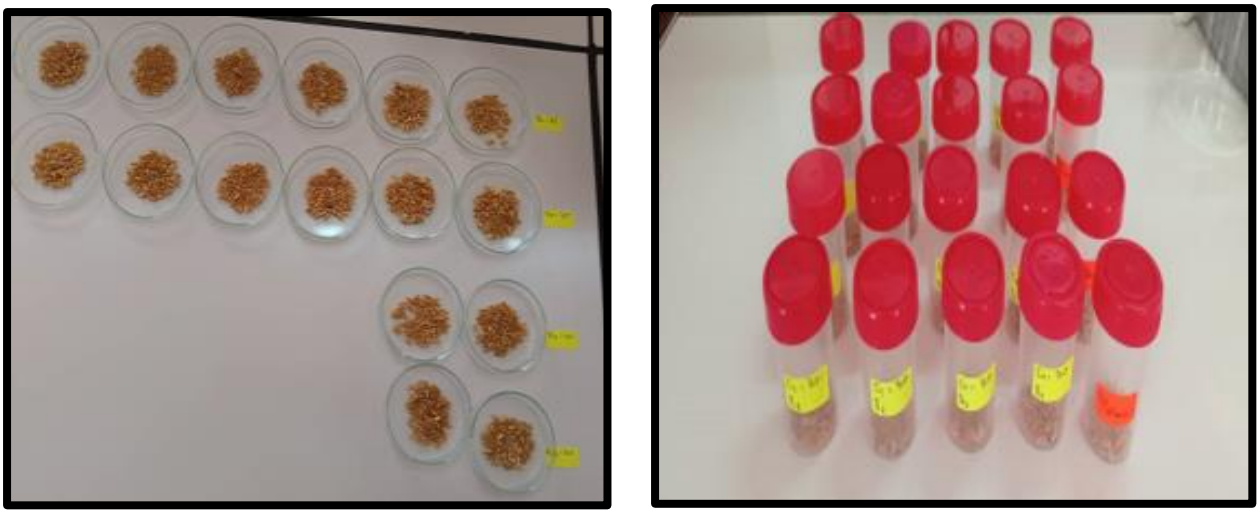


Figure 06. Test de toxicité par contact **(Photos personnelles, 2025)**.

2.4.2. Toxicité par fumigation

Après un screening préalable, différentes concentrations (500, 600, 800 et 1000 µl/l d'air) pour *T.castaneum* ont été appliquées sur un disque de papier filtre de 2 cm de diamètre suspendue à l'aide d'un fil à la face interne du couvercle. Le traitement a été administré dans des boîtes en plastiques d'une capacité de 60 ml contenant 3 g de blé sain. Six répétitions de 10 individus ont été réalisées pour chaque concentration. Une série témoin est conduite en parallèle avec des disques sans traitement (Fig. 07). Les mortalités enregistrées à 24, 48 et 72 h après traitement ont été corrigée selon la formule d'Abbott (1925), et les concentrations létales ainsi que leurs intervalles de confiance (95% IC) ont été calculées grâce à un Logiciel GRAPHPAD PRISM 8.

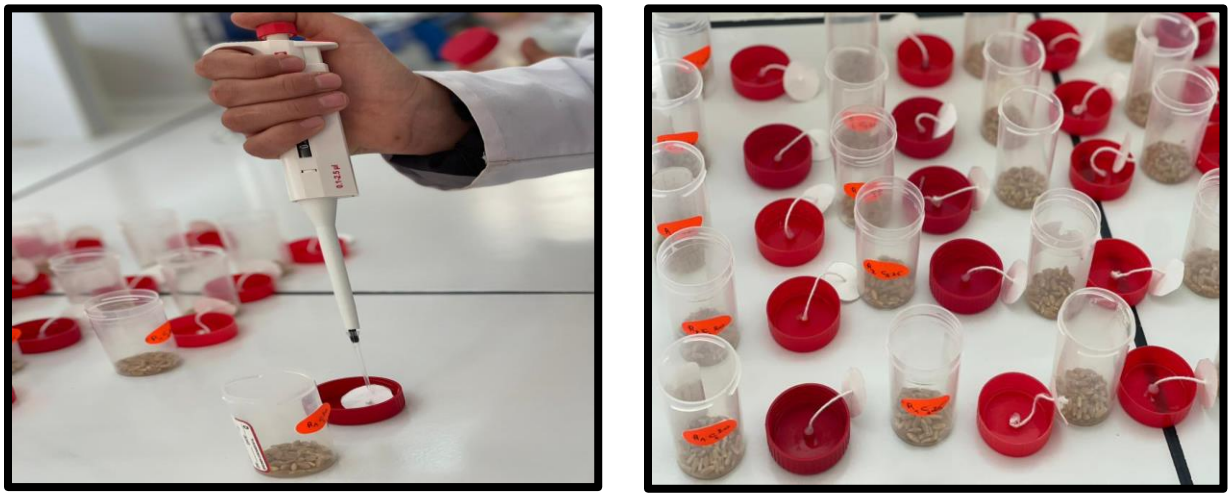


Figure 07. Test de toxicité par fumigation **(Photos personnelles, 2025)**.

2.5. Test de répulsion

Le test de répulsion est utilisé pour calculer le pourcentage de répulsion de l'huile essentielle de T*hymus algeriensis* à l'égard des adultes de *T. castaneum*, par la méthode préférentielle sur papier filtre décrite par MacDonald *et al*. (1970). Chaque disque de papier filtre mesurant 8 cm de diamètre, est coupé en deux parties égales et la moitié du papier est traitée avec l'huile additionnée de l'acétone et l'autre moitié est traitée avec de l'acétone uniquement. Des doses de 1,5 µL, 3 µL et 6 µL d'huile sont diluées dans 1 ml d'acétone, de sorte 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.08). Dix individus sont déposés sur le papier filtre au milieu des boîtes de pétri et dix répétitions sont réalisées pour chaque dose. Le dénombrement des insectes sur les demi-disques est réalisé après 30 min, 1 h, 3 h et 6 h de traitement. Le pourcentage de répulsion (PR) est ainsi calculé selon la formule utilisée par Nerio *et al*. (2009) comme suit :

$$\mathbf{PR\ (\%)} = [(NC-NT) / (NC+NT)] \times 100$$

NC : Nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité uniquement avec l'acétone.

NT : Nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité avec l'huile.

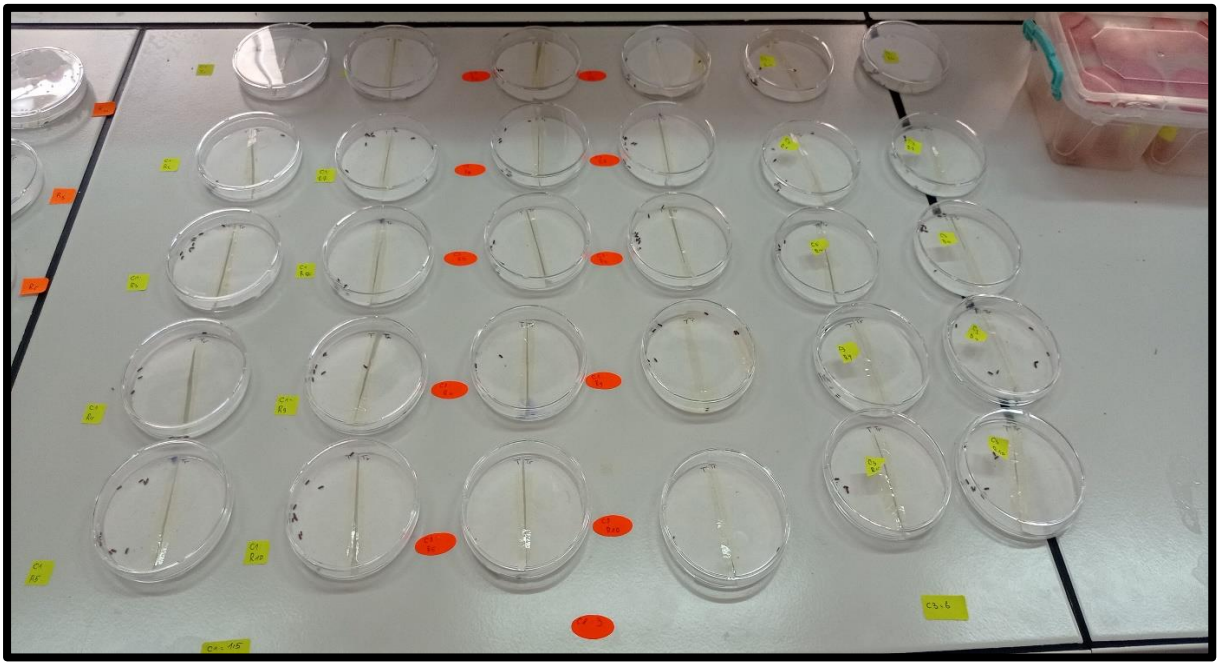


Figure 08. Test de répulsion **(Photos personnelles, 2025)**.

Le pourcentage de répulsion calculé, est attribué à l'une des différentes classes variant de 0 à 5 (Mc Donald *et al.,* 1970) (Tableau. 03).

Tableau 03. Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald *et al.* (1970).

Classes	Intervalles de répulsion	Propriétés
0	PR ≤ 0,01%	Très faiblement répulsif
I	0,1% < PR ≤ 20%	Faiblement répulsif
II	20% < PR ≤ 40%	Modérément répulsif
III	40% < PR ≤ 60%	Moyennement répulsif
IV	60% < PR ≤ 80%	Répulsif
V	80% < PR ≤ 100%	Très répulsif

2.6. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel Jamovi version 2.6.44 et GRAPHPAD PRISM 8. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne ± l'écart-moyen (SEM). Le test t Student et de la variance à un critère de classification et le test HSD de Tukey ont été utilisés.

RESULTATS

III. RESULTATS

3.1. Rendement de l'huile essentielle de *Thymus Algeriensis*

La figure 9 présente le rendement en huile essentielle obtenu par hydrodistillation de la partie aérienne de *Thymus algeriensis* selon l'état de la matière végétale (fraîche, sèche). Les résultats révèlent une différence significative (P<0,01), avec un rendement nettement élevé après hydrodistillation de matière fraîche (environ 1,47 %) comparativement à la matière sèche (environ 0,74 %).

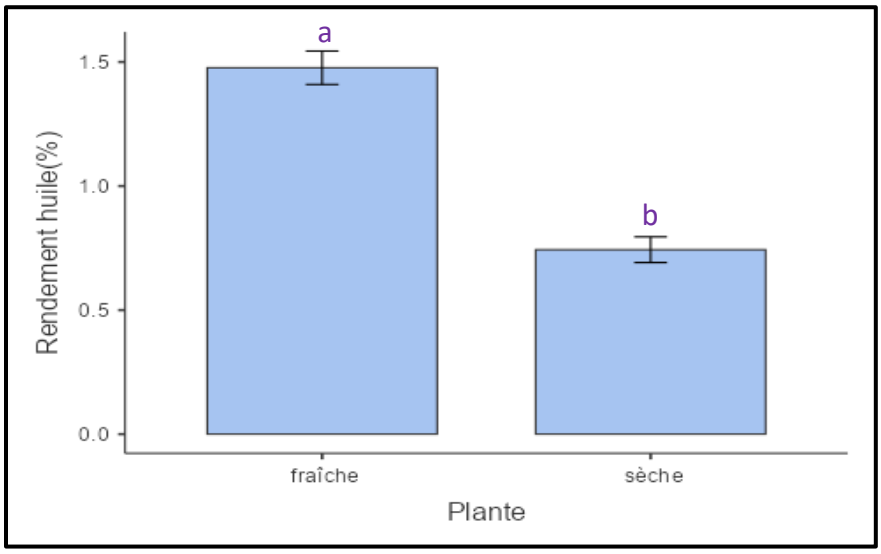


Figure 09. Le rendement de l'huile essentielle extraite à partir de la partie aérienne de la plante *Thymus algeriensis* fraîche et sèche (m ± SEM, n=3) : Test t Student

Tableau 04. Caractéristiques organoleptiques de l'HE extraite des feuilles de *Thymus algeriensis*.

Huile essentielle / Partie de la plante	Couleur	Limpidité	Viscosité	Odeur
La partie aérienne (Feuilles,tiges et fleurs)	Jaune doré	Clair	Epais	Forte aromatique et épicée

3.2. Essais toxicologiques

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de l'HE de *Thymus algeriensis*, évaluée à partir de la mortalité enregistrée chez les adultes de *Tribolium castanium* à différentes périodes après traitement.

3.2.1. Toxicité par contact

Après un test de screening, différentes concentrations de l'HE de *Thymus algeriensis* ont été appliquées par contact sur les adultes de *Tribolium castaneum* (35, 40, 45 et 50 µl/ml). Aucune mortalité n'a été observée chez les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées chez *Tribolium castaneum* au cours des tests de toxicité par contact varient de 12,5% à 12 h jusqu'à 42,5% à 48 h pour la dose la plus faible (35 µl/ml) et de 100% pour la plus forte dose (50 µl/ml) au cours des périodes testées (Fig. 10) Les mortalités observées chez *Tribolium castaneum*, traités par ingestion, augmentent de manière significative en fonction des doses administrées et du temps à 12 h ($F_{3,12}$ =152,9 ; p<0,001), à 24 h ($F_{3,12}$ =147,8 ; p<0,001), et à 48 h ($F_{3,12}$ =98,15 ; p<0,001) après traitement.

Les résultats montrent que l'huile essentielle appliquée par contact exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *T. castaneum*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 12 h et 3 groupes à 24 et 48h.

La courbe dose-réponse exprimant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (Fig.10) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le HillSlope (Tableau 5).

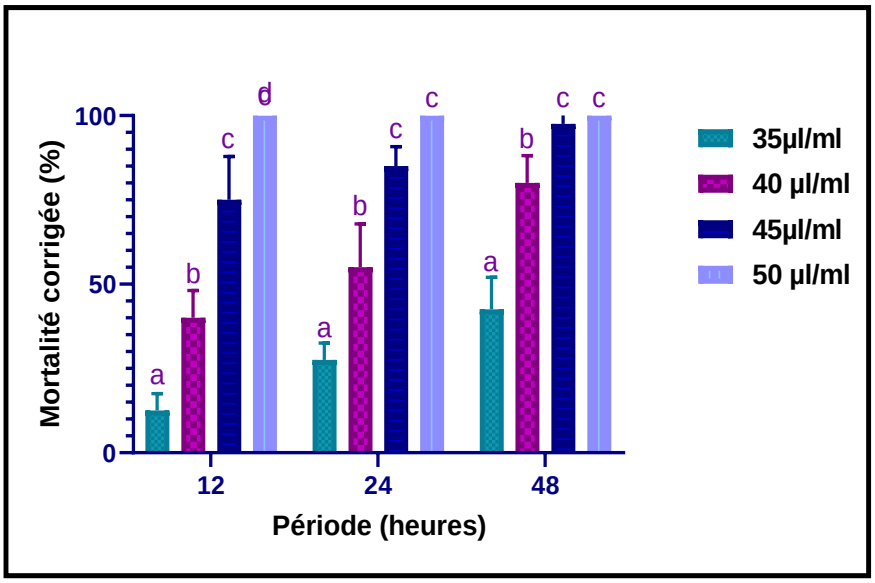


Figure 10. Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par contact (µl/ml) sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

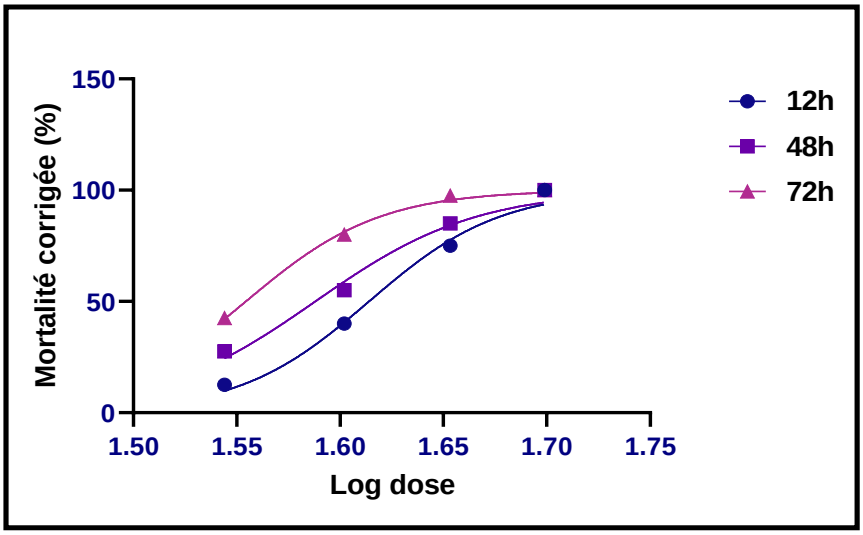


Figure 11. Effets de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par contact sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 05. Efficacité de l'HE de *T. algeriensis* appliquée par contact sur les adultes de *T. castaneum* : analyse des probits.

Temps (Heures)	R^2	HillSlope	CL_{25} (µl/ml) IC (95%)	CL_{50} (µl/ml) IC (95%)	CL_{90} (µl/ml) IC (95%)
12h	0,98	13,75	**37,96** [34,42-40,62]	**41,11** [38,86-43,28]	**48,24** [43,59-55,28]
24h	0,98	11,15	**35,09** [30,33-38,15]	**38,73** [35,94-41,10]	**47,16** [42,50-55,83]
48h	0,99	13,40	**33,02** [31,54-34,07]	**35,84** [34,98-36,61]	**42,23** [40,33-44,45]

3.2.2. Toxicité par fumigation

Après un test de screening, différentes concentrations de l'HE de *T. algeriensis* ont été appliquées par fumigation sur les adultes de *T. castaneum* (500, 600, 800 et 1000 µl/l d'air). Aucune mortalité n'a été observée dans les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées chez *T. castaneum* au cours des tests de toxicité par fumigation varient de 15% à 24 h jusqu'à 57,5% à 72 h pour la dose la plus faible (500 µl/l d'air) et de 97% à 24 h jusqu'à 100 % à 72 h pour la plus forte dose (1000 µl/l d'air) (Fig. 12). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps de

traitement chez *T. castaneum* traité par fumigation à 24 h ($F_{3,12}$=119,6 ; p<0,0001), à 48 h ($F_{3,12}$=128,3 ; p<0,0001), et à 72 h ($F_{3,12}$ =38,44 ; p<0,0001) après traitement.

Les résultats montrent que l'huile essentielle de *Thymus algeriensis* appliquée par fumigation exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *T. castaneum*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 24h et 48 h, et 3 groupes à 72 h pour les mortalités obtenues chez *T. castaneum*.

La courbe dose-réponse exprimant le pourcentage des mortalités en fonction du logarithme des doses appliquées (Fig.13) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le HillSlope (Tableau 6).

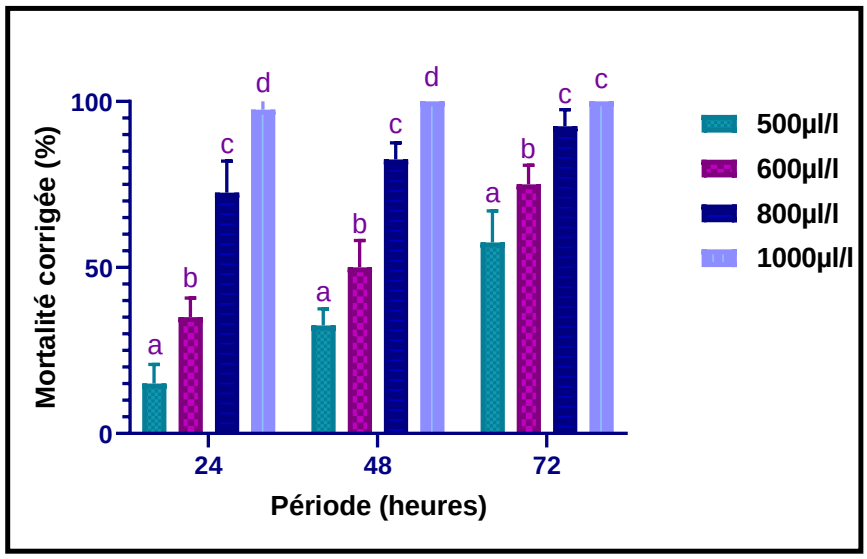


Figure 12. Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par fumigation (µl/l d'air) sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) (m ± SEM, n=4 répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

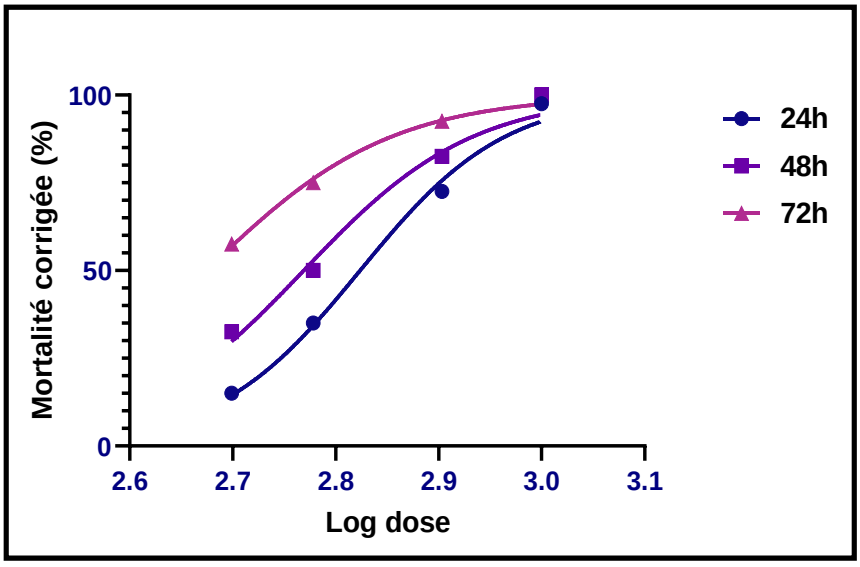


Figure 13. Effets de l'HE de *Thymus algeriensis* appliquée par fumigation sur les adultes de *Tribolium castaneum* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 06. Efficacité de l'HE de *T. algeriensis* appliquée par fumigation sur les adultes de *T. castaneum* : analyse des probits.

Temps (Heures)	R^2	HillSlope	CL_{25} (µl/l) IC (95%)	CL_{50} (µl/l) IC (95%)	CL_{90} (µl/l) IC (95%)
24 h	0,99	6,91	**558** [483,8-625,6]	**664,4** [609,2-730,5]	**950,4** [795,0-1193]
48 h	0,98	5,31	**477,7** [358,6-551,2]	**587,6** [512,6-657,6]	**888,7** [707,3-1261]
72 h	0,99	4,83	**376,3** [298,3-428,4]	**472,2** [418,7-504,7]	**743,7** [654,9-876,9]

3.3. Effet répulsif de l'HE de *Thymus algeriensis*

Les résultats du pouvoir répulsif à l'égard des adultes de *T.castaneum* sont présentés dans le tableau 7. Le pourcentage de répulsion marque une augmentation en fonction des concentrations appliquées et du temps d'exposition. Les taux les plus élevés de répulsion ont été enregistrés après 6 heures d'exposition à une concentration de 3 µl/ml, atteignant 96 %. Par ailleurs, la concentration la plus élevée (6 µl/ml) a induit des niveaux de répulsion très élevés durant toutes les périodes d'essai (88 %, 92 %, 94 % et jusqu'à 100 %). En parallèle, les indices de répulsion marquent une diminution en fonction du temps d'exposition et des concentrations appliquées, traduisant ainsi une répulsion croissante.

Tableau 07. Pourcentages (PR), indices (IR) et classes (CR) de répulsion de l'HE testée sur les adultes de *T. castaneum*.

Concentrations	Temps	PR %	IR	Classe
1,5 µl	30 min	26	0.37	2
	1 heure	38	0.31	2
	3 heures	42	0.29	3
	6 heures	58	0.21	3
3 µl	30 min	56	0.21	3
	1 heure	68	0.16	4
	3 heures	70	0.15	4
	6 heures	96	0.02	5
6 µl	30 min	88	0.06	5
	1 heure	92	0.04	5
	3 heures	94	0.03	5
	6 heures	100	0	5

DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1. Rendement en huile essentielle

L'évaluation du rendement en huile essentielle obtenue par hydrodistillation des parties aériennes (feuilles, fleurs et tige) de *Thymus algeriensis* a révélé un taux de 1,47 % pour la matière fraîche et de 0,74 % pour la matière sèche. Ce rendement témoigne d'une bonne richesse en huile essentielle de cette espèce. Plusieurs études montrent que le rendement en huile essentielle varie considérablement d'une espèce à une autre, mais aussi au sein d'une même espèce selon divers facteurs. Les travaux de Zayyad *et al* (2014) ont rapporté un rendement plus élevé de 2,96 % pour la plante entière. D'autres résultats rapportés dans la littérature indiquent des rendements généralement inférieurs : Dob *et al*. (2006) ont obtenu 1,13 %, Hazzit *et al*. (2009) 0,4 %, Salhi *et al*. (2016) 0,5 % (extraction réalisée uniquement à partir des feuilles). Amarti *et al*. (2010) ont également rapporté un rendement plus faible de 0,3 % ± 0,07 pour *Thymus algeriensis*, tandis que *Thymus ciliatus* a présenté un rendement plus élevé de 1,2 % ± 0, 05.

En comparaison, notre rendement est proche de celui obtenu par Ouakouak *et al*. (2015), soit 1,3 %, bien qu'il reste inférieur à celui mentionné par Zayyad *et al*. (2014) au Maroc (2,96 %). Par ailleurs, des rendements beaucoup plus élevés ont été enregistrés en Tunisie, allant de 2,36 % à 10,82 % (Guesmi *et al*., 2014), voire de 2,4 % à 17 % selon Guesmi *et al*. (2019). En Libye, Giweli *et al*. (2013) ont rapporté un rendement de 2,5 %. Le procédé d'extraction, le séchage, la partie de la plante utilisée, la teneur en humidité des plantes au moment de la récolte, représentent autant de facteurs influant sur le rendement et la composition chimique d'une huile essentielle d'une plante aromatique donnée (Chalchat *et al*., 1995).

Il est également important de souligner que le rendement en huile essentielle varie non seulement entre les espèces, mais aussi au sein d'une même espèce en fonction végétaux utilisés. Par exemple, Bekhechi *et al*. (2007) ont rapporté que le rendement le plus élevé (5,46 %) a été constaté pour *Thymus fontanesii* récolté dans la région de Remchi (Tlemcen). De même, Benelhadj *et al*. (2015) ont montré que pour *Thymus algeriensis* récolté à Korbous (Tunisie), le rendement diffère selon la partie de la plante : racine (0,001 %), tige (0,032 %) et feuille (1,52 %). Ces différences sont généralement liées à la distribution inégale des glandes sécrétrices d'huiles essentielles dans les différentes parties de la plante, les feuilles contenant souvent une concentration plus élevée que les tiges ou les racines.

De plus, la méthode d'extraction influence considérablement le rendement. Dans notre étude, l'hydrodistillation a permis d'obtenir un rendement intéressant, cependant, d'autres méthodes comme l'extraction par solvants ou la distillation à la vapeur peuvent conduire à des variations importantes du rendement et de la composition chimique (Boulaghmen *et al*., 2018). Le rendement en HE obtenu avec les feuilles et tiges *d'Origanum floribundum* est nettement inférieur (0,5 %) à celui obtenu par Hazzit *et al*. (2009) avec 2 % pour les feuilles et 5 % pour les inflorescences fraîches, récoltées au mois de juin à Kadiria à l'Est d'Alger. Par ailleurs, *Mentha piperita* présente des rendements variants entre 0,1 % et 1,24 %, avec des valeurs supérieures dans les régions à climat tempéré et humide, notamment lorsque la récolte est effectuée au début de la floraison (El-Kashoury *et al*., 2017). Pour *Lavandula angustifolia*, les rendements sont généralement compris entre 0,5 % et 1,3 %, atteignant leur maximum lorsque 50 à 75 % des fleurs sont ouvertes, les conditions thermiques influençant fortement cette production (Hassiotis *et al*., 2014).

Quant à *Rosmarinus officinalis*, le rendement varie entre 0,6 % et 1,7 %, avec des différences notables selon la région d'origine et le type de sol, les meilleurs taux étant observés en début de floraison (Elyemni *et al*., 2022). En ce qui concerne Artemisia herba-alba, les rendements enregistrés dans la région du Maghreb varient de 0,49 % à 1,74 %, en fonction du niveau d'aridité et de la richesse minérale du sol (Elamrani *et al*., 2023). Ces comparaisons montrent que le rendement en huile essentielle est non seulement spécifique à chaque espèce, mais qu'il est aussi fortement influencé par des facteurs externes tels que le climat, la géographie, le stade phénologique de la plante au moment de la récolte, et la partie utilisée, ce qui explique les variations observées entre différentes études. En effet, le rendement en huiles essentielles peut être influencé par plusieurs facteurs intrinsèques, notamment les étapes de croissance et l'âge du matériel végétal, ainsi que par des facteurs extrinsèques tels que la période et le milieu de récolte, les pratiques culturales, et les conditions pédoclimatiques. Le séchage et les méthodes d'extraction jouent également un rôle clé dans la variation des rendements (Moldão-Martins *et al*., 1999).

4.2. Toxicité de l'HE de *Thymus algeriensis* à l'égard des ravageurs

Les huiles essentielles (HEs) et leurs composés bioactifs présentent un large éventail d'applications, tant curatives par contact, ingestion ou fumigation que préventives, en raison de leurs propriétés répulsives vis-à-vis des insectes (Khan *et al*., 2010). Diverses études montrent que l'impact des huiles sur les insectes n'est pas toujours garanti, car on constate des réactions variées

selon l'espèce d'insecte et d'huile essentielle (Shaaya *et al*., 1997). Les propriétés insecticides des huiles essentielles végétales sont influencées par leur composition chimique et le degré de vulnérabilité des insectes (Casida, 1990). On observe une vaste disparité dans la réactivité des espèces face à une huile essentielle identique, voire un même composé. Il n'est pas nécessaire qu'une même molécule allélochimique ait la même activité à toutes les étapes du cycle biologique d'un insecte (Ngamo *et al*., 2007).

Notre étude a pour but de tester contact et fumigation la toxicité de l'huile extraite de la partie aérienne de *Thymus algeriensis* à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum*. Les tests toxicologiques ont montré que l'huile essentielle de *Thymus algeriensis* appliquée exerce une activité insecticide contre *Tribolium castaneum.*

Ces résultats concordent en partie avec ceux de Haouas *et al*. (2017), qui ont évalué l'activité bio-insecticide de l'huile essentielle de *Thymus algeriensis* contre *Tribolium castaneum* en utilisant diverses méthodes, dont la fumigation. Leur étude a montré que cette huile ne présentait pas une toxicité marquée par fumigation sur les adultes de *Tribolium castaneum*, mais exerce une forte activité répulsive à toutes les concentrations testées. Cette divergence pourrait s'expliquer par des variations dans la composition chimique de l'huile essentielle. En revanche, l'huile utilisée dans notre étude a révélé une activité insecticide notable par fumigation, avec une relation dose-réponse marquée et une mortalité atteignant 100 % après 72 h à la concentration maximale.

Par ailleurs, des tests similaires effectués sur *Tribolium confusum* avec les huiles essentielles de *Thymus algeriensis* et *Origanum floribundum* n'ont révélé aucune mortalité, même après 72 heures d'exposition. Ces résultats traduisent une insensibilité de *Tribolium confusum* à l'action toxique de ces huiles par fumigation, en contraste net avec la toxicité significative observée chez *Tribolium castaneum.* Cette différence souligne l'importance de la spécificité d'action des huiles essentielles selon les espèces cibles, un paramètre crucial dans l'élaboration de stratégies de lutte intégrée adaptées (Hadjou et Lazeri, 2023). D'autres études ont également souligné l'activité insecticide de composés naturels tels que le safrole et l'eugénol, connus pour leur fort potentiel biocide vis-à-vis de *Tribolium castaneum*. Les travaux de Bachrouch (2010) ont montré que l'huile essentielle du pistachier lentisque présente une forte activité insecticide, cette toxicité variant selon le stade de développement de l'insecte et la durée d'exposition au traitement.

D'autres études viennent appuyer l'intérêt de ces extraits végétaux, notamment les huiles essentielles, qui sont des mélanges complexes de composés volatils extraits de plantes aromatiques. Elles sont largement reconnues pour leurs propriétés insecticides et répulsives (Regnault-Roger *et al*., 2012 ; Isman, 2006). Le mode d'application par fumigation permet une diffusion rapide des composés actifs dans l'air, assurant ainsi un contact direct avec les insectes (Pavela, 2015). Ces extraits offrent ainsi une alternative prometteuse aux insecticides chimiques dans le cadre de la lutte intégrée contre les ravageurs (Tripathi *et al*., 2009).

En outre, Saroukolai *et al*. (2010) ont rapporté une CL_{50} de 236,9 µl/L d'air après 24 h pour l'huile essentielle de *Thymus persicus* qui représente une toxicité plus élevée. Tandis que, Ebadollahi. *et al*. (2021) ont mis en évidence une toxicité marquée des huiles de *Satureja hortensis* et *Satureja intermedia* par fumigation. Khemis *et al*. (2023) ont révélé une activité insecticide significative de l'huile de *Thapsia garganica* contre *Tribolium castaneum*. De même, l'huile de *Thapsia garganica* a démontré une efficacité plus grande (Khemis *et al*., 2023). Ces observations suggèrent que *Thymus algeriensis* affiche une toxicité modérée comparée à ces autres huiles essentielles.

4.3. Effet répulsif de l'HE de *Thymus algeriensis* à l'égard des ravageurs

À des concentrations élevées, les HE exercent une toxicité marquée, tandis qu'à des concentrations plus faibles, elles peuvent induire des réponses comportementales contrastées chez les insectes, allant de l'attraction à la répulsion. Entre ces deux extrêmes, une phase neutre peut survenir, caractérisée par un équilibre subtil entre les effets attractifs et répulsifs (Bedini *et al*., 2019). La répulsion constitue un mécanisme naturel de défense développé par les plantes pour se protéger contre les attaques d'insectes. Cette réponse physiologique peut être mise à profit dans les stratégies de lutte préventive contre les ravageurs des cultures (Jayakumar *et al*.,2017 ; Adjou *et al*., 2019). Les résultats de notre étude révèlent que l'HE de *Thymus Algeriensis* exerce un effet répulsif significatif sur les Adulte *Tribolium castaneum*, avec un taux de répulsion atteignant 100 % à 24 heures après traitement la concentration maximale de 24 µl/ml. En outre, le pourcentage de répulsion augmente proportionnellement à la concentration de l'huile essentielle et à la durée d'exposition.

De nombreuses études scientifiques ont mis en évidence l'effet répulsif et insecticide des produits d'origine végétale contre les insectes ravageurs des denrées stockées. Ainsi, Kassemi (2014) rapporte que la poudre des feuilles de *Nepeta nepetella* et *Pseudocytisus intégrifoliés*, ainsi que les

huiles essentielles extraites de ces plantes, présentent une activité toxique significative sur *Tribolium castaneum* lorsqu'elles sont appliquées par contact Bounechada *et al.* (2011) ont également démontré que *Peganum harmala* possède un effet insecticide notable. Par ailleurs Madjdoub *et al.* (2013) ont évalué la toxicité des huiles essentielles de *Ruta chalepensis* sur les adultes de *Tribolium castaneum*, et ont observé un fort pouvoir répulsif.

En revanche, nos résultats diffèrent de ceux rapportés par Chenni (2016), qui a constaté une forte résistance des populations de *Tribolium castaneum* à un insecticide à base d'huile essentielle de basilica.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude nous a permis d'évaluer l'efficacité de l'huile essentielle de *Thymus algeriensis* comme insecticide et répulsif contre un ravageur des denrées stockées *Tribolium castaneum*.

En effet, nous avons obtenu un rendement rendement nettement élevé après hydrodistillation de matière fraîche (environ 1,47 %) comparativement à la matière sèche (environ 0,74 %) de la plante de *Thymus algeriensis* et les essais toxicologiques réalisés par contact et par fumigation ont démontré un effet insecticide, avec une relation dose-réponse.

De plus, l'huile essentielle a démontré un pouvoir répulsif significatif lors des tests menés selon la méthode des zones préférentielles. Cet effet s'est accru avec l'augmentation de la concentration et de la durée d'exposition, démontrant le fort potentiel du thym algérien comme répulsif naturel contre les ravageurs du genre *Tribolium castaneum*.

Ces résultats soulignent le potentiel de cette huile essentielle comme biopesticide, car elle présente une efficacité de fumigation remarquable et de fortes propriétés répulsives.

Pour utiliser le *Thymus algériensis* comme méthode alternative de lutte, il est important de :

- ✓ Élargir le champ d'essai à d'autres espèces de ravageurs.
- ✓ Évaluer l'effet de l'huile sur les différents stades de développement des ravageurs du genre *Tribolium castaneum*.
- ✓ Analyser sa composition chimique afin d'identifier ses composants bioactifs et d'envisager des formulations pratiques et respectueuses de l'environnement à intégrer dans des programmes de lutte intégrée.
- ✓ Enfin, nous proposons de réaliser des essais pilotes dans des entrepôts de stockage afin de mieux évaluer l'efficacité de ce traitement sur site.

RESUMES

RESUME

Les pertes post-récolte de céréales et de légumineuses constituent un problème majeur en Algérie. Les insectes ravageurs, en particulier les coléoptères, peuvent entraîner des pertes totales dse stocks. Pendant de nombreuses années, l'utilisation d'insecticides a été la méthode la plus courante pour lutter contre leurs activités, ce qui entraîne malheureusement de nombreux effets secondaires. Dans le but de trouver des méthodes plus sélectives, précises et respectueuses de l'environnement pour la protection des aliments, l'utilisation d'insecticides botaniques, tels que les huiles essentielles, suscite actuellement l'intérêt des chercheurs.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'activité insecticide et répulsive, dans des conditions de laboratoire, de l'huile essentielle extraite du *Thymus algériensis* sur l'insecte ravageur des denrées stockés. *Tribolium castaneum*.

L'huile essentielle extraite du *thymus algériensis* obtenue par hydrodistillation montre un rendement (d'environ 1,47 %) à partir de la matière fraîche comparativement à la matière sèche (environ 0,74 %). De plus, les tests de toxicité par fumigation et par contact ont révélé l'activité insecticide de cette huile, avec une relation dose-réponse. Enfin, un test de répulsion a démontré le pouvoir répulsif de cette huile contre les insectes de *Tribolium castaneum*.

En conclusion, cette étude offre une opportunité précieuse de développer des biopesticides comme nouvelle stratégie dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs.

Mots-clés : *Tribolium castaneum*, *Thymus algériensis*, lutte biologique, fumigation, contact, répulsion.

ABSTRACT

Post-harvest losses of cereals and legumes are a major problem in Algeria. Pest insects, particularly beetles, can lead to total stock losses. For many years, the use of insecticides has been the most common method to combat their activities, which unfortunately leads to many side effects. In an effort to find more selective, precise, and environmentally friendly methods for food protection, the use of botanical insecticides, such as essential oils, is currently attracting researcher's interest.

The main objective of this study is to evaluate the insecticidal and repellent activity, under laboratory conditions, of the essential oil extracted from *Thymus algiriensis* on the pest insect of stored products, *Tribolium castaneum*. The essential oil extracted from *Thymus algiriensis* obtained by hydrodistillation shows a yield (of about 1.47%) from fresh matter compared to dry matter (about 0.74%). Furthermore, toxicity tests by fumigation and contact revealed the insecticidal activity of this oil, with a dose-response relationship. Finally, a repellent test demonstrated the repellent power of this oil against *Tribolium castaneum* insects.

In conclusion, this study provides a valuable opportunity to develop biopesticides as a new strategy in integrated pest management programs.

Keywords: *Tribolium castaneum*, *Thymus algériensis*, biological control, fumigation, contact, repulsion.

ملخص

تعتبر خسائر ما بعد الحصاد في الحبوب والبقوليات مشكلة رئيسية في الجزائر. يمكن أن تؤدي الحشرات الضارة، وخاصة الخنافس، إلى خسائر كلية في المخزون. على مدار سنوات عديدة، كان استخدام المبيدات الحشرية هو الطريقة الأكثر شيوعًا لمكافحة أنشطتها، مما يؤدي للأسف إلى العديد من الآثار الجانبية. في محاولة للعثور على طرق أكثر انتقائية ودقة وصديقة للبيئة لحماية الغذاء، يجذب استخدام المبيدات الحشرية النباتية، مثل الزيوت الأساسية، اهتمام الباحثين حاليًا.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم تأثير الزيوت العطرية المستخرجة من الزعتر الجزائري على حشرة تخزين الحبوب *Tribolium castaneum*، تحت ظروف المختبر.

يُظهر الزيت العطري المستخرج من الزعتر الجزائري، والذي تم الحصول عليه عن طريق التقطير المائي، قيمة عائده من المادة الطازجة (حوالي 1.47٪) مقارنةً بالمادة الجافة (حوالي 0.74٪). بالإضافة إلى ذلك، كشفت اختبارات سمية التبخير عن النشاط المبيد لهذا الزيت، مع وجود علاقة بين الجرعة والاستجابة وأخيرًا، أظهر اختبار الطرد قوة هذا العلاج الطاردة لحشرة *Tribolium castaneum*.

ختامًا، تُتيح هذه الدراسة فرصة قيّمة لتطوير المبيدات الحيوية كاستراتيجية جديدة في برامج الإدارة المتكاملة للآفات.

الكلمات المفتاحية: *Tribolium castaneum* ، الزعتر الجزائري، المكافحة البيولوجية، التبخير، التلامس، الطرد.

.

REFFERECES BIBLIOGRAPHIQUES

A

-Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology. 18(2): 265-267.

-Abdelaal, K., Essawy, M., Quraytam, A., Abdallah, F., Mostafa, H., Shoueir, K., Fouad, H., Hassan, F. A. S., & Hafez, Y. (2021). Toxicity of essential oils nanoemulsion against *Aphis craccivora* and their inhibitory activity on insect enzymes. Processes, 9(4): 1-14.

-Ahmed, F. S., Helmy, Y. S., & Helmy, W. S. (2022). Toxicity and biochemical impact of methoxyfenozide/spinetoram mixture on susceptible and methoxyfenozide-selected strains of *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). Scientific Reports, 12(1) : 6974.

-Aïssi, V. M., Soumanou, M. M., Tchobo, F. P., & Kiki, D. (2009). Étude comparative de la qualité des huiles végétales alimentaires raffinées en usage au Bénin. Bulletin d'Informations de la Société Ouest Africaine de Chimie. 6 : 25-37.

-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.

-Amokrane, A., Bouzerzour, H., Bennahmmed, A., Djekoun, A., & Mekhlouf, A. (2002). Étude comparative des variétés de blé dur (*Triticum Durum* Desf) d'origine algérienne, syrienne et européenne sous climat de type méditerranéen. Sciences & Technologie. Biotechnologies, 33-38.

-Asas, M. (2024). Effet des huiles essentielles de *Mentha aquatica* et *Peganum harmala* sur *Tribolium castaneum* par fumigation. Journal of Algerian Agricultural Research. 12(2): 78-85.

B

-Bachrouch, O., Jemaa, J. M. B., Talou, T., Marzouk, B., & Abderraba, M. (2010). Fumigant toxicity of *Pistacia lentiscus* essential oil against *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne*. Bulletin of Insectology. 63(1): 129-135.

-Bedini, S., Flamini, G., Cosci, F., Ascrizzi, R., Echeverria, M. C., Gomez, E. V., ... & Conti, B. (2019). Toxicity and oviposition deterrence of essential oils of *Clinopodium nubigenum* and

Lavandula angustifolia against the myiasis-inducing blowfly *Lucilia sericata*. PLoS One. 14(2): 1-17.

-Bekhechi, C., Bekkara, F. A., Abdelouahid, D. E., Tomi, F., & Casanova, J. (2007). Composition and antibacterial activity of the essential oil of *Thymus fontanesii* Boiss. et Reut. from Algeria. Journal of Essential Oil Research. 19(6): 594-596.

-Benelhadj A. I., Chaouachi, M., Bahri, R., Chaieb, I., Boussaïd, M., & Harzallah-Skhiri, F. (2015). Chemical composition and antioxidant, antibacterial, allelopathic and insecticidal activities of essential oil of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. Industrial crops and product. 77: 631-639.

-Bonneton, F. (2010). Quand *Tribolium castaneum* complémente la génétique de la drosophale. Médecine/Science. 26.

-Boukara, I., Habbouche, I., Nabti, B., Boukara, I., Habbouche, I., & Nabti, B. (2023). Essential oil-based phytochemical identification of the Algerian north-central species of *Thymus algeriensis*. GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 23(3): 75-82.

-Boulaghmen, F., Chaouia, C., Hazzit, M., Nouas, M., & Saidi, F. (2018). Composition chimique et activité antimicrobiènne d'huile essentielle extraite de *Thymus guyonii* de Noe d'Aflou–Algérie. Agrobiologia. 8(1) : 853-862.

-Bounechada, M., & Arab, R. (2011). Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganum harmala* L. sur *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae).

ت

-Camara, C.A., Akhtar, Y., Isman, M.B., Sefrin, R.C., Born, F.S. (2015). Repellentactivity of essential oils from two species of Citrus against *Tetranychusurticae* in thelaboratory and greenhouse. Crop Prot 74:110-115.

-Casida, J.E. (1990). Pesticide mode of action: evidence for and implications of a finite number of biochemical targets, pp. 11-22, in J.E. Casida (ed.). Pesticides and Alternatives: Innovative Chemical and Biological Approaches to Pest Control. Elsevier Amsterdam.

-Chalchat, J. C., Garry, R. P., & Muhayimana, A. (1995). Essential oil of *Tagetes minuta* from Rwanda and France: chemical composition according to harvesting location, growth stage and part of plant extracted. Journal of Essential Oil Research. 7(4) : 375-386.

-Chenni, M., El Abed, D., Rakotomanomana, N., Fernandez, X., & Chemat, F. (2016). Comparative study of essential oils extracted from Egyptian basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) using hydro-distillation and solvent-free microwave extraction. Molecules. 21(1) : 2-16.

-Christine, B. (2001). Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique.2émé Eddition : 124-154.

-Cruz, J. F., Hounhouigan, J. D., & Fleurat-Lessard, F. (2016). La conservation des grains après récolte. Éditions Quae.

𝔇

-Dob, T., Dahmane, D., Benabdelkader, T., & Chelghoum, C. (2006). Studies on the essential oil composition and antimicrobial activity of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. International Journal of Aromatherapy. 16(2): 95-100.

-Dutton, A., Romeis, J., & Bigler, F. (2005). Effects of Bt maize expressing Cry1Ab and Bt spray on *Spodoptera littoralis*. Entomologia Experimentalis et Applicata. 114: 161-169.

-Dyadiuchenko, L., Taranenko, V., Muraviev, V., & Dmitrieva, I. (2020). The study of natural essential oils as growth regulators of winter wheat. In BIO Web of Conferences. 21 (00023): 1-6.

𝔈

-Ebadollahi, A., Taghinezhad, E., Setzer, W. N., & Chen, G. (2021). Susceptibility of Tribolium castaneum (Coleoptera: Tenebrionidae) to the fumigation of two essential Satureja oils: Optimization and modeling. Processes. 9 (7) : 12-43.

-Ebadollahi, M., Rostamzadeh, H., Pourali, O., Ghaebi, H., & Amidpour, M. (2021). Inherently safety design of a dual-loop bi-evaporator combined cooling and power system: 4E and safety based optimization approach. Process Safety and Environmental Protection. 154: 393-409.

-El Ouariachi, E. M., Paolini, J., Bouyanzer, A., Tomi, P., Hammouti, B., Salghi, R., Majidi, L., & Costa, J. (2011). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils and solvent

extracts of *Thymus capitatus* from Morocco. Journal of Medicinal Plants Research. 5(24): 5773-5778.

-Elyemni, M., El Ouadrhiri, F., Lahkimi, A., Elkamli, T., Bouia, A., & Eloutassi, N. (2022). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of wild and cultivated Rosmarinus officinalis from two Moroccan localities. Journal of Ecological Engineering. 23(3): 214-222.

𝔉

-Flamini, G. (2017). Chemical composition and bioactivity of *Thymus algeriensis* essential oil against stored product pests. Journal of Essential Oil Research. 29(1): 55-61.

𝔊

-Garrido-Miranda, K. A., Giraldo, J. D., & Schoebitz, M. (2022). Essential oils and their formulations for the control of Curculionidae pests. Frontiers in Agronomy. 4 (876687): 1-10.

-Ghasemi, E., Moharramipour, S., & Hemmati, S. (2021). Toxicity of essential oils from *Satureja hortensis* and *Satureja intermedia* against stored-product pests. Pest Management Science. 77(2) : 815–822.

-Giweli, A. A., Džamić, A. M., Soković, M. D., Ristić, M. S., & Marin, P. D. (2013). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Thymus algeriensis* wild-growing in Libya. Central European Journal of Biology. 8: 504-511.

-Guesmi, F., Ben Ali, M., Barkaoui, T., Tahri, W., Mejri, M., Ben-Attia, M., ... & Landoulsi, A. (2014). Effects of *Thymus hirtus* sp. *algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae) essential oil on healing gastric ulcers according to sex. Lipids in Health and Disease. 13: 1-14.

-Guesmi, F., Saidi, I., Bouzenna, H., Hfaiedh, N., & Landoulsi, A. (2019). Phytocompound variability, antioxidant and antibacterial activities, anatomical features of glandular and aglandular hairs of *Thymus hirtus* Willd. Ssp. *algeriensis* Boiss. and Reut. over developmental stages. South African Journal of Botany. 127 : 234-243.

ℌ

-Haouas, D., Hajri, M., Glida Gnidez, H., Kamel Ben Halima, M., & Flamini, G. (2017). Investigation of bio-insecticidal activity of two aromatic essential oils against *Tribolium*

castaneum (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae). In Acta of the XV Congress of the Italian Society of Phytochemistry jointly with 1st International Congress on Edible, Medicinal and Aromatic Plants (pp. 52-52). ITA.

-Hassiotis, C. N., Ntana, F., Lazari, D. M., Poulios, S., & Vlachonasios, K. E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. Industrial crops and products. 62: 359-366.

-Hazzit, M., Baaliouamer, A., Veríssimo, A. R., Faleiro, M. L., & Miguel, M. G. (2009). Chemical composition and biological activities of Algerian Thymus oils. Food chemistry. 116(3): 714-721.

-Houti, H., Ghanmi, M., Satrani, B., Mansouri, F. E., Cacciola, F., Sadiki, M., & Boukir, A. (2023). Moroccan endemic *Artemisia herba-alba* essential oil: GC-MS analysis and antibacterial and antifungal investigation. Separations. 10 (1): 1-19.

I

-Islam, W. (2017). Eco-friendly approaches for the management of red flour beetle: *Tribolium castaneum* (Herbst). Science letters journal. 5: 105-114.

-Isman, M. B., & Machial, C. M. (2006). Pesticides based on plant essential oils: from traditional practice to commercialization. Advances in phytomedicine. 3: 29-44.

-Isman M. B. (2020). Plant essential oils for pest and disease management. Crop Prot. 19(8-10): 603-608.

-Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. Annual Review of Entomology. 51: 45-66.

J

-Jayakumar, A., Antony, R. P., Wang, R., & Lee, J. M. (2017). MOF-derived hollow cage NixCo3− xO4 and their synergy with graphene for outstanding supercapacitors. Small. 13(11): 1-21.

-Jood, S., Kapoor, A. C. & Singh, R. (1993). Effect of insect infestation on the organoleptic characteristics of stored cereals. Postharvest Biology and Technology, 2(4): 341-348.

-Jood, S., Kapoor, A. C., & Singh, R. (1996). Effect of insect infestation and storage on lipids of cereal grains. Journal of agricultural and food chemistry. 44(6): 1502-1506.

-Jumbo L.O.V., Corrêa M.J.M., Gomes J.M., Armijos M.J.G., Valarezo E., Mantilla-Afanador J.G., Machado F.P., Rocha L., Aguiar R.W.S., Oliveira E. E. (2022). Potential of *Bursera graveolens* essential oil for controlling bean weevil infestations: Toxicity, repellence, and action targets. Ind. Crops Prod. 178: 114611.

K

-Khan, A., Ahmad, A., Akhtar, F., Yousuf, S., Xess, I., Khan, L. A., & Manzoor, N. (2010). *Ocimum sanctum* essential oil and its active principles exert their antifungal activity by disrupting ergosterol biosynthesis and membrane integrity. Research in microbiology. 161 (10) : 816-823.

-Khemis, E., Mustapha, M. B., Chaieb, I., Ascrizzi, R., Flamini, G., Harrath, A. H., ... & Zardi-Bergaoui, A. (2023). Chemical composition and insecticidal activity against *Tribolium castaneum* of *Thapsia garganica* L. seed essential oil. Chemistry & Biodiversity. 20 (2): 12-33.

M

-MacDonald, R. S., Lichtenstein, E. P., & Rieck, C. E. (1970). Repellency of essential oils to stored-product insects. Journal of Economic Entomology. 63(2) :558-562.

-Majdoub, O., Dhen, N., Souguir, S., Haouas, D., Baouandi, M., Laarif, A., & Chaieb, I. (2014). Chemical composition of *Ruta chalepensis* essential oils and their insecticidal activity against *Tribolium castaneum*. Tunisian Journal of Plant Protection. 9(1): 83-90.

-Mahdi, I., Bakrim, W. B., Bitchagno, G. T. M., Annaz, H., Mahmoud, M. F., & Sobeh, M. (2022). Unraveling the phytochemistry, traditional uses, and biological and pharmacological activities of *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. (1): 6487430.

-Moldão-Martins, M., Bernardo-Gil, M. G., Beirão da Costa, M. L., & Rouzet, M. (1999). Seasonal variation in yield and composition of *Thymus zygis* L. subsp. sylvestris essential oil. Flavour and fragrance journal. 14(3): 177-182.

-Mariadoss, A., & Umamaheswari, S. (2020). Seasonal abundance of red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in food grains stored in a large warehouse. Journal of Experimental Zoology India, 23(2) : 1362-1367.

-Mawussi, G. (2008). Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café (*Hypothenemus hampei Ferrari*). Thèse De Doctorat De L'université De Toulouse.

-Mebarki, N. (2010). Extraction de l'huile essentielle de *Thymus fontanesii* et application à la formulation d'une forme médicamenteuse-antimicrobienne. Magister Thesis, Boumerdes University, Algeria.

-Moustafa M.A.M., Elmenofy H.W., Osman A.E., El-Said A.N., Awad M. (2022). Biological impact oxidative stress and adipokinetic hormone activities of *Agrotis ipsilon* in response to bioinsecticides. Plant Protection Science 58 (4): 326-337.

-Multon, J. L. (1982). Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux.

𝒩

-Nabavi, S. M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., & Nabavi, S. F. (2015). Plants belonging to the genus Thymus as antibacterial agents: From farm to pharmacy. Food chemistry. 173: 339-347.

-Ngamo, L. S. T., & Hance, T. H. (2007). Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. Tropicultura. 25(4): 215-220.

-Nenaah, G. E. (2014). Chemical composition, toxicity and growth inhibitory activities of essential oils of three Achillea species and their nano-emulsions against *Tribolium castaneum* (Herbst). Industrial Crops and Products. 53: 252-260.

-Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. E. (2009). Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). Journal of Stored Products Research. 45(3): 212-214.

-Ngegba P.M., Cui G., Khalid M.Z., Li Y., Zhong G. (2022). Prospects of botanical compounds and pesticides as sustainable management strategies against *Spodoptera frugiperda*. Journal of Economic Entomology. 115: 1834-1845.

O

-Othman K.S.A., Swelam E.S., Ahmed F.S. (2020). A laboratory study of the toxicity of indoxacarb mixtures against *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae). African Entomology 28 (2): 290–299.

-Ouakouak H., Abdellatif F. et Hassani A. (2015). Chemical composition, antioxidant activity of the essential oil of *Thymus algeriensis* Boiss, North Algeria. International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy. 59: 72-80.

P

-Pavela, R. (2015). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. Industrial crops and products. 76: 174-187.

-Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010). Biorational approaches to managing stored-product insects. Annual Review of Entomology. 55: 375-397.

R

-Rajashekar, Y., Bakthavatsalam, N., & Shivanandappa, T. (2012). Botanicals as grain protectants. Psyche: A Journal of Entomology, 2012(1), 646740.

-Rajhi, I., Abderrabba, M., & Besbes, N. (2021). Chemical composition and antibacterial activity of Tetraclinis articulata essential oil from Tunisia: Leaves and branches. Pharmaceutical and Chemical Biology Sciences Journal. 15(3): 284-291.

-Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. Annual Review of Entomology. 57: 405-424.

-Ridley, A. W., Hereward, J. P., Daglish, G. J., Raghu, S., Collins, P. J., & Walter, G. H. (2011). The spatiotemporal dynamics of *Tribolium castaneum* (Herbst): adult flight and gene flow. Molecular ecology. 20 (8): 1635-1646.

-Righi, N., Boumerfeg, S., Fernandes, P. A., Deghima, A., Baali, F., Coelho, E., ... & Baghiani, A. (2020). *Thymus algeriensis* Bioss & Reut: Relationship of phenolic compounds composition with in vitro/in vivo antioxidant and antibacterial activity. Food Research International. 136: 1-48.

-Robinson, W. H. (2005). Urban insects and arachnids: a handbook of urban entomology. Cambridge University Press.

ع

-Salhi, A., Bouyanzer, A., El Mounsi, I., Bendaha, H., Hamdani, I., El Ouariachi, E., ... & Costa, J. (2016). Chemical composition, antioxidant and anticorrosive activities of *Thymus algeriensis*. J Mater Environ Sci. 7(11): 3949-3960.

-Saroukolai, A. T., Moharramipour, S., & Meshkatalsadat, M. H. (2010). Insecticidal properties of *Thymus persicus* essential oil against *Tribolium castaneum* and *Sitophilus oryzae*. Journal of pest science. 83: 3-8.

-Seck, D. (1992). Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan. La post-récolte en Afrique. 155-160.

-Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J. E., & Sukprakarn, C. (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. Journal of Stored Products Research. 33(1): 7-15.

-Sokoloff, A. (1977). The biology of Tribolium with special emphasis on genetic aspects. Volume 3 (pp. 587-612).

-Souguir,S. Bencheikh,Z. Chaieb,I-Laarfi ,A. (2017). Étude de la toxicité des huiles essentielles d'*Origanum majorana* pour *Tribolium castaneum* et plodia inter punctelle. 3 -ème journée scientifique sur la volarisation de bioresource

T

-Talebi, M., Rahimmalek, M., & Norouzi, M. (2015). Genetic diversity of *Thymus daenensis* subsp. *daenensis* using SRAP markers. Biologia. 70(4): 453-459.

-Tchoumbougnang, F., Jazet, D. P. M., Sameza, M. L., Fombotioh, N., Vyry, W. N. A., Henri, A. Z. P., & Menut, C. (2009). Comparative essential oils composition and insecticidal effect of different tissues of *Piper capense* L., *Piper guineense* Schum. et Thonn., *Piper nigrum* L. and *Piper umbellatum* L. grown in Cameroon. African Journal of Biotechnology. 8(3): 424-431.

-Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, P. K. (2009). Physicochemical and bioactivity of cross-linked chitosan–PVA film for food packaging applications. International journal of biological macromolecules. 45(4): 372-376.

V

-Valcárcel F., Olmeda A.S., González M.G., Andrés M.F., Navarro-Rocha J., González-Coloma A. (2021). Acaricidal and insect antifeedant effects of essential oils from selected aromatic plants and their main components. Frontiers in Agronomy. 3: 662802.

Y

-Yann, S. C. S., Johnson, F., Lancina, F. C., Doumbouya, M., Kissi, T. A. P., & Amenan, F. N. D. (2025). Diversité des insectes associés aux épis de maïs (*Zea mays* Linné, 1753) au cours du stockage dans le Nord de la Côte d'Ivoire. African J. Trop. Entomol. Res. 4(1) :1-12.

Z

-Zayyad, N., Farah, A., & Bahhou, J. (2014). Analyse chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles des trois espèces de Thymus : *Thymus zygis, T. algeriensis* et *T. bleicherianus*. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège. 83 : 118 - 132.