



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



Laboratoire Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : BIOLOGIE ANIMALE

Option : Ecophysiologie animale

Thème

Effet combiné de deux molécules bioactives sur un ravageur des denrées stockées, *Trogoderma granarium*

Présentée par : Melle Hamla Malak

Melle Aouissi douaa

Membres de Jury :

Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia	U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Encadrante
Dr. HALAIMIA Samira	U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Co - Encadrante
Dr. LAADJEL Rania	U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Examinatrice
Dr. BOUZIDI Oulfa	U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Présidente
SOLTANI Meriem	U.Cheikh Larbi Tébessi-Tébessa	Co - Encadrante

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

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

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur Professeur **TINE-DJEBBAR Fouzia**
et **Dr. HALAIMIA Samira** qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail

Nous tenons tout particulièrement à remercier **Sultani Maryam**, pour ses conseils, sa confiance
et sa patience qui ont constitué une grande contribution et sans lesquels ce travail n'aurait pas
Pu être mené à bien.

Nous remercions **Dr . BOUZIDI Oulfa** d'avoir accepté de présider ce jury.

Nos remerciements s'adressent à **Dr. LAADJEL Rania** d'avoir accepté d'examiner ce travail

Nos remerciements s'adressent également à ceux qui ont contribué de loin ou
de près à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le tout **puissant** de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie **ma mère**, qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

A **mon cher père**, qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements.

A **mes frères et mes sœurs** Votre présence et votre soutien inconditionnel ont été les piliers sur lesquels j'ai pu m'appuyer tout au long de ce parcours éducatif. Merci du fond du cœur pour tout votre amour, vos encouragements et votre soutien indéfectible.

Aux leurs enfants, les plus chères à mon cœur.

A **mes amies** vous êtes mes bons amis qui ne peuvent que jamais oublier.

A ma chérie **AOUISSI DOUAA**, mon binôme, d'être patiente et dépasser tous les circonstances durant ce travail et de m'aider dans les moments difficiles.

Malak

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le tout **puissant** de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie **ma mère**, qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

A **mon cher père**, qui m'a appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements.

A **mes frères et ma sœurs** Votre présence et votre soutien inconditionnel ont été les piliers sur lesquels j'ai pu m'appuyer tout au long de ce parcours éducatif. Merci du fond du cœur pour tout votre amour, vos encouragements et votre soutien indéfectible.

A **mes amies** vous êtes mes bons amis qui ne peuvent que jamais oublier.

A ma chérie **HAMLA MALAK**, mon binôme, d'être patiente et dépasser tous les circonstances durant ce travail et de m'aider dans les moments difficiles.

Douaa

TABLE DES MATIERES

Titre	Pages
I. INTRODUCTION	01
II. MATERIEL ET METHODES	03
2.1. Présentation de l'insecte	03
2.2. collecte et élevage	04
2.3. Présentation de la molécule bioactive	05
2.3.1. carvone	05
2.3.2. limonene	06
2.4. Traitement et bioessais	07
2.5. Test de repulsion	08
2.6. Analyses statistiques	09
III. RESULTATS	10
3.1. Toxicité par fumigation	10
3.2. Effet répulsif	12
IV. DISCUSSION	14
4.1 Toxicité par fumigation	14
4.2. Effet répulsif	17
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	18
RESUME	19
Français	19
Anglais	20
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 1	Efficacité de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation sur les larves de <i>T. granarium</i> : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance	12
Tableau 2	Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de la combinaison de deux molécules bioactives la carvone et le limonene sur les larves de <i>T.granarium</i> .	12

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 1	<i>Trogoderma granarium</i> .	04
Figure 2	Structure chimique de la carvone.	06
Figure 3	Structure chimique de Limonène.	07
Figure 4	Test de toxicité par fumigation.	07
Figure 5	Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.	08
Figure 6	Toxicité de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation ($\mu\text{l/l}$ d'air) sur les larves de <i>T. granarium</i> à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	11
Figure 7	Effet de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation sur les larves de <i>T. granarium</i> à différents moments : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	11

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

La population mondiale devrait augmenter de plus d'un tiers, soit 2,3 milliards de personnes entre 2009 et 2050 (FAO, 2009). Cette croissance démographique engendre une demande alimentaire accrue. Pour garantir la sécurité alimentaire et éviter une grave crise, l'agriculture doit relever le défi d'augmenter la production de matières premières, notamment les céréales et les légumineuses, d'environ 50 % par rapport à 2012. En effet, d'ici 2050, il faudra nourrir 9,7 milliards d'habitants dans le monde (FAO, 2017).

Face à cette demande et afin de prévenir l'insécurité alimentaire mondiale, il est impératif de réduire les pertes de nourriture avant et après la récolte des cultures. De plus, la connaissance des phénomènes régissant leur conservation et la maîtrise des techniques de leur stockage sont déterminantes pour la survie de millions de personnes (Aoues et al., 2017).

Malheureusement, pendant la phase post-récolte les céréales deviennent sensibles à de nombreux facteurs, non seulement à des agressions physicochimiques (température, humidité relative) mais aussi aux attaques biotiques, telles que les rongeurs, les champignons, les acariens et les insectes, dont la plupart sont des coléoptères et des lépidoptères (Fleurat-Lessard, 1994). Selon les rapports, ces infestations d'insectes entraînent des pertes considérables, allant de 5 à 30 % de la production agricole mondiale de grains stockés (Prusky, 2011; Rajashekar et al., 2012; Singh et al., 2021). La malnutrition qui menace la santé humaine et le fardeau financier annuel considérable de millions de dollars engendrés par ces pertes aggrave la situation (Nagpal & Kumar 2012).

Parmi les 100 espèces envahissantes et destructrices des produits stockés, le Coléoptère, *Trogoderma granarium* (Athanassiou et al., 2019). Sa propagation et sa prolifération sont largement influencées par sa polyvalence alimentaire, englobant une vaste gamme de produits tels que les céréales, les produits amylacés et diverses marchandises non céréalières (Degri & Zainab, 2013; Athanassiou et al., 2016; Kavallieratos et al., 2019). En outre, ses larves ont développé une résistance aux traitements insecticides et autres méthodes non chimiques qui sont généralement efficaces contre d'autres ravageurs, en particulier grâce à leur capacité d'entrer en diapause facultative dans des conditions extrêmes (Ghimire et al., 2017).

Face aux inconvénients suscitées par l'utilisation des insecticides chimiques de synthèse (Ali et al., 2021; Sánchez-Bayo, 2021), il devient nécessaire de chercher des alternatives sûres, écologiquement propres et économiquement peu coûteuses pour contrôler les ravageurs des stocks.

Dans ce contexte, les huiles essentielles et leurs composants bioactifs se présentent comme biopesticides efficaces, démontrant une efficacité importante contre une large gamme d'organismes nuisibles aux cultures par divers modes d'action y compris : des fumigants (Jayakumar et al. 2017), insecticides de contact (Aryani & Auamcharoen, 2016), répulsifs (Ebrahimifar et al. 2021) et anti-appétants (Ali et al. 2017; Sayada et al., 2021).

Les activités biologiques des huiles essentielles reposent principalement sur quelques molécules présentes en concentrations élevées, généralement entre 20 et 85%. Cependant, d'autres molécules présentes à des niveaux de traces peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration de leur efficacité globale, en démontrant une activité synergique mutuelle et des mécanismes d'action complémentaires (Pavela & Benelli, 2016).

À cet égard, en s'appuyant sur l'étude de Djabri (2023), notre recherche a été consacrée à l'évaluation de la toxicité et du pouvoir répulsif de la combinaison de deux molécules bioactives, carvone et limonène qui sont les composants bioactifs majoritaires des huiles essentielles de *Mentha spicata* (El Menyiy et al., 2022), *Lippia alba* (Peixoto et al., 2015) et *Carum carvi* (Solberg et al., 2016) à l'égard des larves de *T. granarium*, pour avoir une stratégie bien définie et déterminer s'il faut se concentrer sur l'utilisation des huiles essentielles brutes ou sur l'isolement et la caractérisation du composé (s) bioactif (s) spécifique responsable de leur activité insecticide.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de l'insecte

Trogoderma granarium Everts (Coleoptera : Dermestidae) est un insecte nuisible des produits stockés, classé comme espèce de quarantaine par l'Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes et d'autres organismes (EPPO 2013; Myers & Hagstrum 2012). Cet insecte peut causer des pertes allant de 30 à 70 % en une courte période (Kavallieratos et al., 2019). Les larves de *T. granarium* causent des dommages importants en entraînant une perte de glucides, de matières grasses brutes et de protéines dans les produits stockés. En plus des dommages physiques, les peaux et les poils barbelés des larves peuvent provoquer des maladies allergiques (Ahmedani et al., 2009 ; Borzoui et al., 2015).

Originaire du sous-continent indien, *T. granarium* a été signalé pour la première fois comme ravageur en 1894 (Paini et Yemshanov 2012). Cette espèce préfère les climats chauds et secs et se trouve dans des habitats situés entre 35° de latitude nord et 35° de latitude sud (Day et White 2016; FAO 2016). *T. granarium* se développe de manière optimale entre 20°C et 35°C de température et une humidité relative <50% (Lindgren & Vincent 1959), avec un temps de développement de l'œuf à l'adulte de 39 à 45 jours à 30°C et jusqu'à 220 jours à 21°C (EPPO, 2013). Les larves passent par 4 à 8 stades larvaires, complétant leur développement en seulement 15 jours à 35°C, dont les femelles muent une fois de plus que les mâles avant la nymphose (Burges 1962 a; b). À 35°C, la croissance de la population est significativement plus rapide (10–250 fois) que celle des autres coléoptères des produits stockés (Kavallieratos et al., 2017). En outre, *T. granarium* tolère exceptionnellement bien les températures extrêmes, ce qui est une caractéristique rare parmi les insectes des produits stockés (Wilches, 2016 ; Wilches et al., 2017).

Les larves de *T. granarium* sont caractérisées par leur forme fusiforme, d'un blanc jaunâtre uniforme et une pilosité abondante, présentant une "brosse" ressemblant à une queue. Leur taille varie de 1,6 mm de long au premier stade à 5 mm lorsqu'elles sont complètement matures. En revanche, les adultes ont une forme ovale et mesurent généralement entre 2 et 3 mm, les femelles étant légèrement plus grandes que les mâles.

Leur surface dorsale est légèrement couverte de poils fins. Ils sont de couleur brun-rougeâtre, avec ou sans marques plus foncées indistinctes, tandis que leur pronotum présente une teinte brune plus foncé (Athanassiou, 2022).

Les adultes de *T. granarium* ne se nourrissent pas et vivent jusqu'à 10 jours dans des conditions optimales. Bien que les deux sexes aient des ailes complètement développées, aucun d'eux ne peut voler (Banks, 1977). La plupart des études rapportent que les femelles adultes pondent entre 26 et 66 œufs au cours de leur courte durée de vie (Odeyemi & Hassan 1993). Cependant, les femelles de *T. granarium* issues de larves en diapause peuvent s'accoupler plusieurs fois et pondre plus de 130 œufs par femelle dans des conditions de laboratoire idéales (Karnavar, 1972). Alors, la diapause est une caractéristique clé de sa biologie et contribue à sa longévité et à son succès envahissant (Banks, 1977).



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 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $65 \pm 5\%$ pendant plusieurs générations afin d'obtenir des individus sains et purs.

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

Super-famille : Bostrichoidea

Famille : Dermestidea

Sous-famille : Anthreninae

Genre : Trogoderma

Espèce : *Trogoderma granarium* (Everts,1898)

2.3. Présentation des molécules bioactives

2.3.1. Carvone

Carvone est une cétone monoterpénique dont la structure chimique a été déterminée en 1894 par Wagner. Sa formule moléculaire est $C_{10}H_{14}O$ et son nom chimique est 2-méthyl-5-(1-méthyléthényl) -2-cyclohexén-1-one (Fig. 2). Chimiquement, la carvone existe sous deux formes d'énantiomères ((+)-carvone et (-)-carvone) qui possèdent les mêmes propriétés chimiques et physiques, mais se distinguent uniquement par leur pouvoir rotatoire (Frolova et al., 2021). Ce monoterpène est présent dans les huiles essentielles de diverses espèces végétales, notamment celles du genre *Mentha*, *Origanum*, *Rosmarinus*, *Thymus*, et bien d'autres. La concentration de ce composé volatil varie en fonction des espèces et est influencée par des paramètres tels que la localisation géographique, les stades phénologiques, les parties de la plante utilisées et les méthodes d'extraction employées. Actuellement, les études pharmacologiques ont démontré que la carvone présente de multiples propriétés pharmacologiques telles que des activités antibactériennes, antifongiques, antiparasitaires, antioxydantes, anti-inflammatoires et

anticancéreuses (Bouyahya et al., 2021). De plus, elle possède des effets insecticides (Fang et al., 2010) et répulsifs (Yoon et al., 2007).

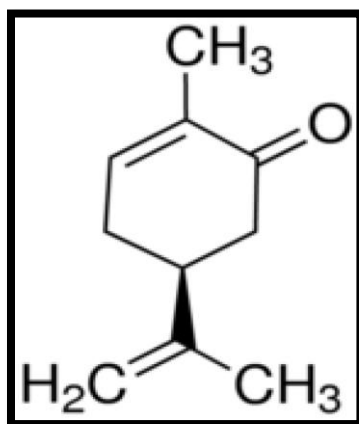


Figure 2. Structure chimique de la carvone.

2.3.2. Limonène

Le d-limonène fait partie de la famille des terpènes monocyclique (1-méthyl-4-isopropénylcyclohex-1-ène) (Pagliaro et al., 2023) (Fig. 3) ; c'est le composant principal des huiles essentielles issues de l'extraction des agrumes (Aissou et al., 2017) ; comme le pamplemousse (95%), la mandarine (94%), l'orange (91%), le citron (65%), et l'élémi (50%) (Anandakumar et al., 2020). C'est une huile incolore, peu soluble dans l'eau (13,8 mg/L à 25°C) avec une odeur douce d'orange, largement utilisée dans les industries alimentaires et cosmétiques (Ciriminna et al., 2014) ; et peut également être utilisée en médecine et en agriculture en raison de ses diverses propriétés biologiques telles que ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses (Eddin et al., 2021).

En Chine, le limonène a été enregistré en tant que pesticide, fongicide et adjuvant de pesticide. En raison de sa source étendue, de son extraction simple, de son application généralisée et de sa haute valeur pratique et de recherche, les chercheurs portent une attention accrue à l'étude du limonène, qui s'intensifie et s'approfondit progressivement. Son champ d'application s'élargit également, couvrant les domaines de l'alimentation, de la médecine, et de l'agriculture (Luo et al., 2023).

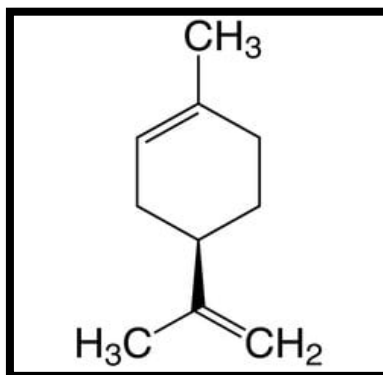


Figure 3. Structure chimique de Limonène.

2.4. Traitement et bioessais

L'effet toxique de la combinaison de deux molécules, la carvone et le limonène, 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'un mélange de carvone et de limonène à des concentrations de 291,33 ; 568,16 ; 729,5 et 1217,5 µL/L. Les insectes témoins ont été maintenus dans des conditions identiques sans traitement. Chaque dose a été répliquée quatre fois. À des intervalles de 24, 48 et 72 heures après le début de l'exposition, le nombre de mortalités a été compté et ajusté à l'aide de la formule d'Abbott (1925). Dans cette étude, les insectes incapables de bouger leur tête, leurs antennes et leur corps ont été considérés comme morts. Les concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀) ainsi que leurs intervalles de confiance 95 % ont été déterminés par analyse de régression non linéaire.

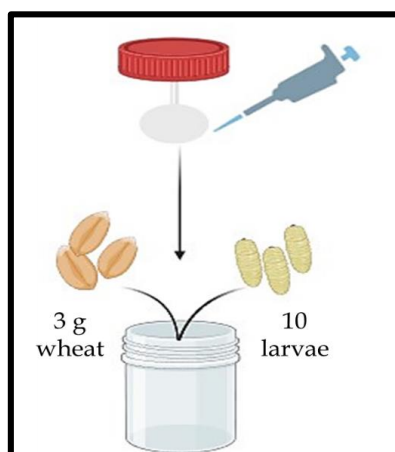


Figure 4. Test de toxicité par fumigation.

2.5. Test de répulsion

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

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

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

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

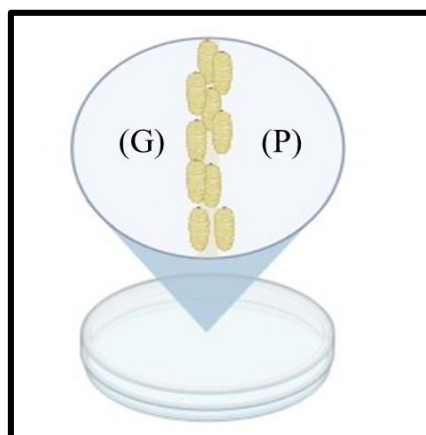


Figure 5. Test de répulsion par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

2.6. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel GRAPH PAD PRISM 7. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne \pm l'écart-moyen (SEM). L'analyse de la variance à un critère de classification et le test HSD de Tukey ont été utilisés.

RESULTATS

III. RESULTATS

3.1. Toxicité par fumigation :

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de la combinaison de deux molécules bioactive la carvone et le limonène, 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 la combinaison de deux molécules, la carvone et le limonène (291,33 ; 568,16 ; 729,50 et 1217,50 $\mu\text{L/L}$) 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 52,5 % à 72 heures pour la dose la plus faible (291,33 $\mu\text{l/ml}$), et de 75 % à 24 heures à 100 % à 72 heures pour la dose la plus élevée (1217,50 $\mu\text{l/ml}$). 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 ($F_{3,12}=38,00$; $P < 0,0001$), 48 h ($F_{3,12}=58,04$; $p < 0.0001$) ; et 72 h ($F_{3,12}=42,55$; $p < 0.0001$).

Les résultats indiquent que la combinaison de deux molécules, la carvone et le limonène, 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 4 groupes de moyennes à 48h et seulement 2 groupes à 24h et 72h (Fig. 6).

La courbe dose-réponse, représentant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (Fig. 7), a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le Hill Slope (Tableau 1).

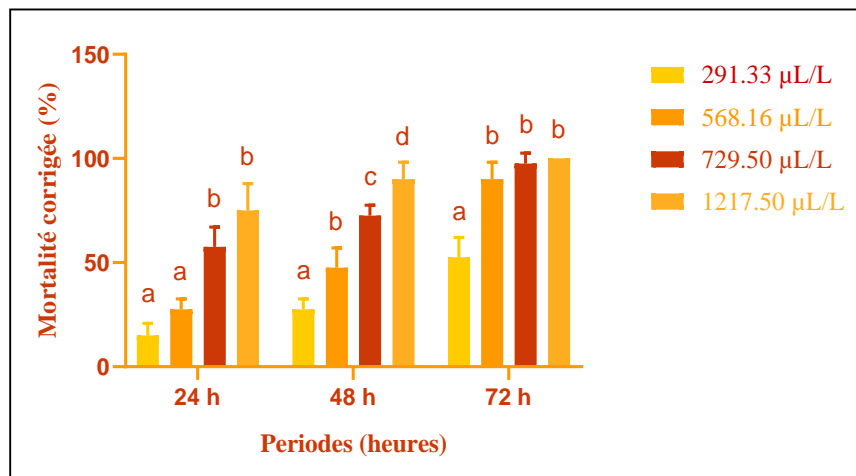


Figure 6. Toxicité de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation ($\mu\text{l/l}$ d'air) sur les larves de *T. granarium* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=4$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

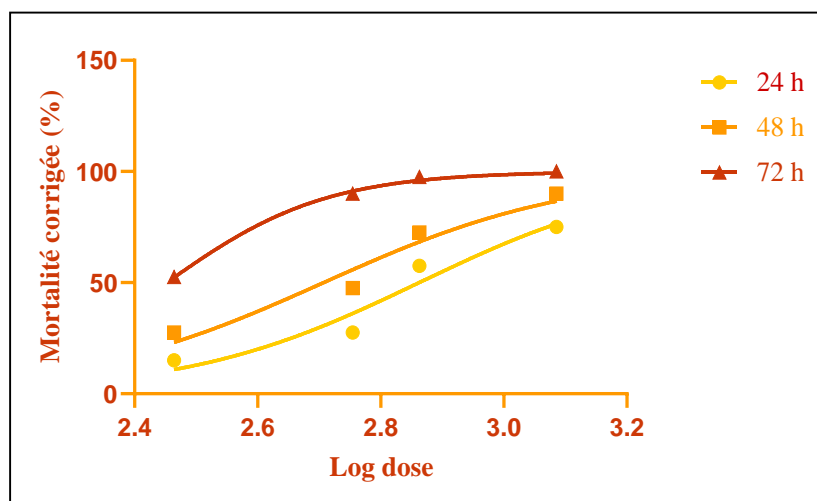


Figure 7. Effet de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* à différents moments : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 1. Efficacité de la combinaison de la carvone et le limonène, appliquée par fumigation sur les larves de *T. granarium* : détermination des concentrations létales et de leurs intervalles de confiance.

Temps	R2	Hillslope	CL25 IC	CL50 IC	CL90 IC
24 h	0,93	2,29	451,00	728,50	1900,00
			46,42 ±728,10	432,80 ±1863,00	769,70 ±593859,00
48 h	0,94	2,14	305,50	509,50	1417,00
			38,66 ±555,60	237,00 ±752,50	750,10 ±19781,00
72 h	0,99	3,35	204,00	283,10	545,60
			170,70 ±231,90	258,10 ±304,20	450,80 ±650,00

3.2. Effet répulsif :

Les résultats de l'effet répulsif de la combinaison de deux molécules, la carvone et le limonène, sur les larves de *T. granarium* sont présentés dans le **Tableau 2**. Le pourcentage de répulsion augmente en fonction des concentrations appliquées et de la durée d'exposition. Un taux de répulsion élevé de 55% est observé à 12 heures après le traitement avec la concentration la plus élevée (24 µl/ml). De plus, la combinaison de la carvone et du limonène est classée dans la catégorie III (moyennement répulsive).

Tableau 2. Pourcentage (PR) et classe (CR) de répulsion de la combinaison de deux molécules bioactives la carvone et le limonene sur les larves de *T. granarium*.

Doses	Périodes	PR (%)	Classe
6 µl/ml	30 min	10	I
	1 h	15	I
	3 h	25	II
	6h	25	II
	12 h	25	II
	24 h	30	II
12µl/ml	30 min	15	I
	1h	15	I
	3h	20	I
	6h	20	I
	12h	35	II

24µl/ml	24h	50	III
	30 min	35	II
	1h	35	II
	3h	35	II
	6 h	40	II
	12 h	45	III
	24 h	55	III

DISCUSSION

IV. DISCUSSION

4.1 Toxicité par fumigation

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 consiste à étudier les effets néfastes d'une substance chimique, qu'elle soit naturelle ou synthétique, sur les organismes vivants. Les tests toxicologiques sont mis en place pour évaluer la sensibilité des organismes vivants aux traitements utilisés dans les campagnes de lutte (OMS, 1963). Ils sont indispensables pour évaluer les concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀).

Les plantes aromatiques contiennent des composés odorants, volatils, hydrophobes et hautement concentrés appelés huiles essentielles (ou huiles volatiles ou étherées) (Christaki *et al.*, 2012). Il existe plus de 3000 plantes utilisées pour leurs huiles essentielles, parmi lesquelles environ 300 sont utilisées commercialement comme arômes et parfums (Hill & Schoonhoven, 1981 ; Desmarchelier, 1994). Outre leurs arômes agréables, les huiles essentielles d'agrumes présentent d'autres propriétés intéressantes, telles que des activités antioxydantes, antidiabétiques, insecticides, antifongiques et antibactériennes (Vilas-Boas *et al.*, 2024).

Une attention considérable récemment portée sur les huiles essentielles s'est concentrée sur leur large éventail de bioactivités sur les organismes nuisibles et les agents pathogènes, et donc sur leur potentiel d'utilisation en tant qu'alternatives aux pesticides chimiques synthétiques pour la protection des cultures et dans d'autres contextes de gestion des nuisibles (Isman, 2020). Plusieurs études ont montré que les huiles essentielles ont peu ou pas d'effets nocifs sur les organismes non ciblés et sur l'environnement, agissent de différentes manières sur divers types de ravageurs, et peuvent être appliquées sur la plante de la même manière que d'autres produits chimiques agricoles (Arnason *et al.*, 1989a ; Schmutterer, 1990 ; Hedin *et al.*, 1997).

L'analyse compositionnelle détaillée des composés volatils des huiles peut être obtenue par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse. Il a été constaté qu'il existe des

mélanges précieux composés principalement de terpénoïdes tels que le linalol, le géraniol, le bornéol, le menthol, le thujanol, le citronnillol, l' α -terpinéol et une variété d'hydrocarbures aliphatiques de faible poids moléculaire comme les phénols (thymol, carvacrol, eugénol, guaïacol) et les aldéhydes aromatiques (cinnamaldéhyde, cuminal et phellandral) (Christaki *et al.*, 2012).

Les huiles essentielles peuvent affecter le comportement, le développement et la croissance des insectes et peuvent agir comme anti-appétant (HoughGoldstein, 1990 ; Hummelbrunner & Isman, 2001), fumigant, répulsif (Mason, 1990 ; Watanabe *et al.*, 1993), ou régulateurs de croissance (Abedi *et al.*, 2014 ; Lai *et al.*, 2014 ; Ahmad *et al.*, 2015 ; Bezzar *et al.*, 2016). Leur toxicité peut être directe ou indirecte sur les organes cibles (système nerveux, organes sensoriels, système endocrines, appareil reproductif, appareil digestif, etc.) (Benayad, 2013). Le taux de pénétration à travers la cuticule, le transport dans les tissus de l'organisme, le métabolisme (Besard *et al.*, 2011) mais aussi la régulation des 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). L'activité insecticide varie en fonction du matériau d'origine végétale, de l'espèce d'insecte et de la durée d'exposition (Kim *et al.*, 2003).

De nombreux composants d'huiles essentielles ont été testés sur les ravageurs du stockage à diverses fins, démontrant une efficacité prononcée et induisant des effets insecticides significatifs. Notre étude a pour but de tester par fumigation, la toxicité de la combinaison de deux molécules bioactives la carvone et le limonène à l'égard des larves de *T. Granarium*. Les résultats ont montré une activité insecticide de ce traitement avec une relation dose-réponse (La mortalité des insectes augmente en fonction des doses appliquées et du temps qui suit traitement).

Plusieurs études ont rapporté les activités insecticides des HEs et de leurs composants contre les ravageurs des grains entreposés (Perez *et al.*, 2010 ; Brari & Thakur, 2015). La plupart des travaux ont confirmé que l'activité de ces huiles est en raison de leurs composés (néo-isomenthol, menthone, carvone, limonène, β -ocimène et dihydrotagétone) agissent sur le système nerveux de l'insecte en perturbant les fonctions des systèmes GABAergiques (Bloomquist *et al.*, 2008 ; Tong & Coats, 2012) et aminergiques (Kostyukovsky *et al.*, 2002 ; Enan, 2005) et en inhibant l'acétylcholinestérase (Lopes *et al.*, 2010 ; Abdelgaleil *et al.*, 2015).

Les résultats de l'étude menée par [Mouatez \(2023\)](#) sur l'activité insecticide de trois molécules bioactives limonène, linalol et carvone contre les larves de *T. granarium* montre que la carvone était le plus efficace parmi les trois molécules bioactives appliquées. Nos résultats montrent que la combinaison du limonène et de la carvone produisait un effet moindre que l'effet de la carvone seule ou du limonène contre les larves de *T. granarium*, ce qui prouve que l'un des deux composants a affecté l'efficacité de l'autre, et il s'agissait très probablement du limonène car son effet était moindre.

Par contre, les résultats de [Guettal \(2021\)](#) montrent que la combinaison du citron et de l'azadirachtine est le traitement qui persiste le plus comparativement au traitement seule sur les adultes du ravageur *Sitophilus granarius*, suggérant ainsi une action synergique entre les constituants du mélange *citrus limonum* et azadirachtine.

De nombreuses études ont rapporté les activités insecticides des composants ci-dessus contre les ravageurs des céréales : Carvone obtenue à partir d'*Anethum graveolens*, *Carum carvi*, *Coriander sativum* et l'huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* ont montré une excellente puissance en tant que toxine fumigante sur *Blattella germanica*, *Callosobruchus maculatus*, *Cryptolestes pusillus*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granaries*, *Sitophilus oryzae* et *Sitophilus zeamais* ([Lopez et al., 2008](#); [Yeom et al., 2012](#); [Kim et al., 2013](#); [Mbata & Payton 2013](#); [Yildirim et al., 2013](#) ; [Herrera et al., 2017](#) ; [Kordali et al., 2017](#))

Plusieurs constituants des huiles essentielles ont prouvé leur potentiel insecticide. Le limonène est le majeur agent actif de l'huile de Citrus responsable de l'activité insecticide ([Karr & Coats, 1988](#) ; [Tripathi et al., 2003](#)). Il présente plusieurs avantages tels que sa faible toxicité envers les Mammifères, sa biodégradabilité élevée ([Aidi Wannas, 2011](#)). De plus, le D-limonène qui est rapidement distribué dans différents tissus du corps et est facilement métabolisé. Le D-limonène et/ou ses métabolites sont détectables dans le sérum, le foie, les poumons, les reins et de nombreux autres tissus ([Sun, 2007](#)).

De même, l'huile essentielle de limonène est rapportée chez *A. dubia*, *Amomum villosum*, *C. sinensis*, *C. sativum*, *Eucalyptus* sp et *Z. armatum* se sont révélés être une toxine fumigante efficace sur *C. maculatus*, *L. serricorne*, *L. bostrychophila*, *P. interpunctella*, *R. dominica*, *S. oryzae*, *S. céréalesella*, *T. castaneum*, *T. confusum* et *T. putrescentiae* ([Prates et al. 1998](#) ; [Lee et al. 2001](#),

2018 ; Tripathi *et al.*, 2003 ; Stamopoulos *et al.*, 2007 ; Kim and Lee 2014 ; Wang *et al.* 2015 ; Chen *et al.* 2018 ; Liang *et al.* 2018 ; Oyedeji *et al.* 2020). De plus, La carvone est le composé majoritaire du *Mentha spicata* (Refigui *et al.*, 2022).

4.2. Effet répulsif

Les molécules présentes dans les huiles essentielles ont également montré des propriétés intéressantes pour la lutte antiparasitaire. Par exemple, des composés tels que le R-pinène, l'eugénol, le limonène, le terpinéol, le citronellol, le citronellal, le camphre (Caballero-Gallardo *et al.*, 2011) .Il a également un effet toxique direct par contact, ingestion et fumigation, ainsi qu'un effet répulsif et dissuasif sur les insectes (Akhtar *et al.*, 2010).

La répulsion est un mécanisme de défense que les plantes utilisent contre les insectes (Jayakumar *et al.*, 2017). Cette activité est associée aux composés actifs et aux constituants chimiques présents dans l'huile (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Les substances répulsives agissent localement ou à distance, empêchant un insecte de voler, d'atterrir ou de piquer un animal ou un être humain (Blackwell *et al.*, 2003 ; Nerio *et al.*, 2009 ; Ebadollahi *et al.*, 2013).

Nos résultats ont montré le pouvoir moyennement répulsif (55%) de la combinaison de deux molécules, la carvone et le limonène contre les larves de *T. granarium* à 24 heures, avec la concentration la plus élevée (24 µl/ml). Tandis que, le linalool induit un effet très répulsif (93,33%) sur les adultes de *R. dominica* (Bouchagra & Farhi, 2022).

Par ailleurs, les études réalisées au niveau de notre laboratoire ont révélé l'activité répulsive de plusieurs molécules bioactives, telles que limonène (Abdesmad & Moumou, 2022) et limonène, linalool et carvone (Mouatez, 2023) sur l'espèce *T. granarium*. Selon les résultats de Papachristos & Stampoulous (2002), les composés α -pinène, limonène et camphre présents dans l'huile essentielle de *Juniperus oxycedrus* ont démontré un effet répulsif significatif envers *Acanthoscelides obtectus*, un ravageur commun. La toxicité et le potentiel répulsif des composés phytochimiques envers les ravageurs dépendent de plusieurs facteurs, notamment la composition chimique des huiles et la sensibilité de l'insecte (Casida & Quistad, 1995).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les denrées stockées revêtent une importance cruciale sur le plan économique et alimentaire à l'échelle mondiale. L'espèce *Trogoderma granarium* parmi les insectes ravageurs du blé qui est devenu l'un des fléaux majeurs, causant d'importants dégâts aux céréales stockées. Malheureusement, les techniques chimiques utilisées pour combattre ces ravageurs ont démontré des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Dans ce contexte, il est essentiel d'explorer des solutions alternatives. Les plantes aromatiques représentent une opportunité prometteuse pour trouver des substances naturelles en remplacement de la lutte chimique. La flore algérienne est riche et variée, ce qui en fait une réserve potentielle d'espèces végétales intéressantes pour cette raison.

L'étude menée nous a permis d'évaluer l'impact combiné de deux substances, la carvone et le limonène, sur les larves de l'un des ravageurs de grains les plus redoutables au monde ; *T. granarium*.

Les essais toxicologiques réalisés par fumigation ont permis de déterminer les concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀). Les résultats montrent que l'application des deux molécules par fumigation présente une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard des larves de *Tgranarium*

Le test de répulsion réalisé par la méthode de la zone préférentielle a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif de la carvone et du limonène à l'égard les larves de *T. granarium*.

L'intégration des biopesticides présente le potentiel de réduire significativement l'emploi des pesticides traditionnels tout en maintenant des niveaux de rendement agricole élevés. Néanmoins, il est primordial de noter que cette étude requiert un approfondissement par le biais de recherches supplémentaires.

A l'avenir, il serait intéressant de compléter le présent travail en évaluant

- ✓ Autres activités de ces molécules bioactives ; activité antifongique, antivirale, antiparasitaire, antioxydantes, anti-inflammatoires ...etc.
- ✓ L'effet combiné de la carvone et du limonène sur le développement ainsi que le potentiel de reproduction de *T. granarium*.
- ✓ En dernier lieu, nous suggérons des essais pilotes dans les entrepôts de stockage afin de mieux évaluer l'efficacité de ce traitement in situ.

RESUME

RESUME

La gestion efficace des insectes nuisibles et des maladies fongiques en agriculture devient de plus en plus complexe en raison de la résistance croissante aux pesticides et des impacts négatifs associés sur les organismes non ciblés, les écosystèmes et la santé humaine. Les recherches récentes sur les huiles essentielles dérivées de plantes ont mis en évidence une gamme prometteuse de phytoconstitués avec propriétés biologiques remarquables, les positionnant comme des alternatives viables aux produits chimiques synthétiques grâce à leur faible toxicité et à leur nature respectueuse de l'environnement. Dans ce contexte, notre recherche visait à compiler et organiser des données fondamentales sur les agents naturels ayant des propriétés répulsives et insecticides.

Pour atteindre cet objectif, on a évalué l'efficacité de la combinaison de deux molécules bioactives, carvone et limonène, contre l'un des insectes nuisibles les plus répandus et destructeurs affectant les grains et autres produits alimentaires stockés : *Trogoderma granarium* (Everts) (Coleoptera : Dermestidae). Les effets de cette combinaison ont été examinés sur le taux de mortalité et le potentiel de répulsion. Les tests toxicologiques réalisés par fumigation ont révélé une activité insecticide de cette combinaison avec une relation dose-réponse. De plus, le test de répulsion a démontré l'effet répulsif de ce traitement contre les larves de *T. granarium*.

En conclusion, cette étude souligne les effets pesticides puissants et les propriétés répulsives de la combinaison de carvone et de limonène, offrant des perspectives précieuses pour l'utilisation de ces composés dérivés de plantes dans la gestion des ravageurs notoires dans les sites de stockage.

Mots-clés : Molécules bioactives, *Trogoderma granarium*, Biocontrôle, Toxicité, Répulsion.

ABSTRACT

Effective management of insect pests and fungal diseases in agriculture is increasingly challenging due to the rising problem of pesticide resistance and the associated adverse impacts on non-target organisms, ecosystems, and human health. Emerging research in the field of plant-derived essential oils has unveiled a promising array of phytochemicals with notable biological attributes, positioning them as viable alternatives to synthetic chemicals due to their low toxicity and eco-friendly nature. In this regard, our research aimed to contribute to the compilation and organization of foundational data on natural agents possessing insect-repelling and insecticidal properties.

To achieve this objective, our study was conducted under laboratory conditions to assess the efficacy of the combination of two bioactive molecules carvone and limonene against one of the most prevalent and destructive insect pests affecting grain and other stored food products, the khapra beetle, *Trogodroma granarium* (Everts) (Coleoptera: Dermestidae). Effects were examined on mortality rate and repellency potential. Toxicological tests conducted by fumigation revealed the insecticidal activity of this combination with a dose-response relationship. Moreover, the repellency test demonstrated the repellent effect of this treatment against *T. granarium* larvae.

In conclusion, this study underscores the potent pesticidal effects and repellent properties of the combination of carvone and limonene, offering valuable insights for using this plant-derived compound to manage notorious pests in storage sites.

Keywords: Bioactive molecules; *Trogodroma granarium*; Biocontrol, Toxicity, Repulsion.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

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

Abdelgaleil, S. A., Mohamed, M. I., Shawir, M. S. Abou-Taleb, H. K. 2016. Chemical composition, insecticidal and biochemical effects of essential oils of different plant species from Northern Egypt on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *Journal of Pest Science*. 89(1): 219-229.

Abedi, Z., Saber, M., Vojoudi, S., Mahdavi, V., Parsaeyan, E., Ottea, J. 2014. Acute, sublethal, and combination effects of azadirachtin and *Bacillus thuringiensis* on the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Journal of Insect Science*. 14(1):1-9.

Ahmad, A., Viljoen, A. M., Chenia, H. Y. 2015. The impact of plant volatiles on bacterial quorum sensing. *Letters in Applied Microbiology*. 60(1): 8-19.

Ahmedani, M. S., Haque, M. I., Afzal, S. N., Naeem, M., Hussain, T., Naz, S. 2009. Quantitative losses and physical damage caused to wheat kernel (*Triticum aestivum* L.) by khapra beetle infestation. *Pakistan Journal of Botany*. 43(1): 659-668.

Aissou, M., Chemat-Djenni, Z., Yara-Varón, E., Fabiano-Tixier, A.-S., Chemat, F. 2017. Limonene as an agro-chemical building block for the synthesis and extraction of bioactive compounds. *Comptes Rendus. Chimie*, 20(4), 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2016.05.018>

Ali, A. M., Mohamed, D. S., Shaurub, E. H., Elsayed, A. M. 2017. Antifeedant activity and some biochemical effects of garlic and lemon essential oils on *Spodoptera littoralis* (Boisduval)(Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5(3): 1476-1482. -223.

Ali, S., Ullah, M. I., Sajjad, A., Shakeel, Q., Hussain, A. 2021. Environmental and health effects of pesticide residues. *Sustainable Agriculture Reviews 48: Pesticide Occurrence, Analysis and Remediation Vol. 2 Analysis*, 311-336.

Anandakumar, P., Sattu, K., Vanitha, M. 2020. D-limonene : A multifunctional compound with potent therapeutic effects. *Journal of Food Biochemistry*, 45. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13566>

Aoues, K., Boutoumi, H., Benriam, A. 2017. État phytosanitaire du blé dur local stocké en Algérie. *Revue Agrobiologia*, 7(1): 286-296.

Arnason, J.T., Philogène, B.J.R., Morand, P. 1989. Insecticides of Plant Origin, ACS Symposium Series No. 387. American Chemical Society, Washington, DC, 213pp.

Aryani, D. S., and Auamcharoen, W. 2016. Repellency and contact toxicity of crude extracts from three Thai plants (Zingiberaceae) against maize grain weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Biopesticides. 9(1): 52-62.

Athanassiou, C. 2022. *Trogoderma granarium* (khapra beetle). www.cabi.org/cpc/DATASHEET/55010. Accessed July 2023.

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.

Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Boukouvala, M.C. 2016. Population growth of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) on different commodities. J. Stored Prod. Res. 69, 72–77.

Banks, H.J. 1977. Distribution and establishment of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae): climatic and other influences. J. Stored Prod. Res. 13:183–202.

Benayad, N. 2013. Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines. Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse. Thèse de Doctorat en Chimie. Université Mohamed V. Agdal. Faculté des Sciences. Rabat. 186 p.

Besard, L., Mommaerts, V., Abdu-Alla, G., Smaghe, 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.

Bezzar-Bendjazia, R., Kilani-Morakchi, S. Aribi, N. 2016. Growth and molting disruption effects of azadirachtin against *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). Journal of Entomology and Zoology Studies. 4(1): 363-368.

Bloomquist, J. R., Boina, D. R., Chow, E., Carlier, P. R., Reina, M., Gonzalez-Coloma, A. (2008). Mode of action of the plant-derived silphinenes on insect and mammalian GABAA receptor/chloride channel complex. Pesticide Biochemistry and Physiology. 91(1): 17-23.

Borzoui, E., Naseri, B., Namin, F. R. 2015. Different diets affecting biology and digestive physiology of the Khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Stored Products Research, 62, 1-7.

Bouchagra, D., and Farhi, F. 2022. Effets des extraits d'une plante aromatique, la Lavande sur le comportement et la biochimie d'un ravageur des stocks (Doctoral dissertation, Université Larbi Tébessi-Tébessa).

Bouyahya, A., Mechchate, H., Benali, T., Ghchime, R., Charfi, S., Balahbib, A., ... & Omari, N. E. 2021. Health benefits and pharmacological properties of carvone. Biomolecules, 11(12), 1803.

Brari, J., and Thakur, D. R. (2015). Insecticidal efficacy of essential oil from *Cinnamomum zeylanicum* Blume and its two major constituents against *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). Journal of Agricultural Technology. 11(6): 1323-36.

Burges, H.D. 1957. Studies on the dermestid beetle *Trogoderma granarium* Everts. I. Identification and duration of the developmental stages. Entomol. Mon. Mag. 93:105–10.

Burges, H.D. 1962 a. Diapause, pest status and control of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts. Ann. Appl. Biol. 50:614–17.

Burges, H.D. 1962 b. Studies on the dermestidea beetle *Trogoderma granarium* Everts. V. Reactions of diapause larvae to temperature. Bull. Entomol. Res. 53:193–213.

Caballero-Gallardo, K., Olivero-Verbel, J., Stashenko, E. E. 2011. Repellent activity of essential oils and some of their individual constituents against *Tribolium castaneum* Herbst. Journal of Agricultural and Food chemistry, 59(5), 1690-1696.

Casida, J. E., and Quistad, G. B. 1995. Pyrethrum flowers: production, chemistry, toxicology, and uses. Oxford University Press, New York, ISBN-10: 0195082109, pp: 356.

Chen, Z.Y., Guo, S.S., Cao, J.Q., Pang, X., Geng, Z.F., Wang, Y., Zhang, Z., Du., S.S. 2018. Insecticidal and repellent activity of essential oil from *Amomum villosum* Lour and its main compounds against two stored-product insects. International of Journal Food Properties 21(1):2265–2275.

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>

Ciriminna, R., Lomeli-Rodriguez, M., Demma Carà, P., Lopez-Sanchez, J. A., Pagliaro, M. 2014. Limonene : A versatile chemical of the bioeconomy. *Chem. Commun.*, 50(97), 15288-15296. <https://doi.org/10.1039/C4CC06147K>

Damalas, C. A., and Eleftherohorinos, I. G. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1402-1419.

Day C, White B. 2016. Khapra beetle, *Trogoderma granarium* interceptions and eradications in Australia and around the world. Work. Paper 1609, School Agric. Res. Econ., Univ. West. Aust., Crawley, Aust.

Degri, M.M., Zainab, J.A. 2013. A study of insect pest infestations on stored fruits and vegetables in the northeastern Nigeria. *Int. J. Sci. Nat.* 4, 646–650.

Ebrahimifar, J., Jamshidnia, A., Sadeghi, R., Ebadollahi, A. 2021. Repellency of *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. *International Journal of Tropical Insect Science*. 41(1): 217.

Eddin, L. B., Jha, N. K., Meeran, M. N., Kesari, K. K., Beiram, R., Ojha, S. 2021. Neuroprotective potential of limonene and limonene containing natural products. *Molecules*, 26(15), 4535.

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.

Enan, E. E. 2005. Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*. 35(4): 309-321.

Eur. Mediterr. Plant Prot. Org. 2013. PM 7/13 (2) *Trogoderma granarium*. *EPPO Bull.* 43:431–48.

Fang, R., Jiang, C. H., Wang, X. Y., Zhang, H. M., Liu, Z. L., Zhou, L., ... & Deng, Z. W. 2010. Insecticidal activity of essential oil of *Carum carvi* fruits from China and its main components against two grain storage insects. *Molecules*, 15(12), 9391-9402.

FAO. 2009. Global agriculture towards 2050, High-Level Expert Forum - How to Feed the World in 2050; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 2009.

FAO. 2017. The Future of Food and Agriculture-Trends and Challenges; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017.

Fleurat-Lessard.1994. New trends in stored-grain infestation detection inside storage bins for permanent infestation risk monitoring. Conference: 6th International Working Conference on Stored Product Protection. At: Canberra, Australia. 1/2.

Food Agric. Org. U.N. 2016. DP 3: *Trogoderma granarium* Everts. ISPM 27, Annex 3. Diagnostic Protocols for Regulated Pests. Rome, Italy: Food Agric. Org. U.N.

Frolova, N., Yushchenko, N., Korablova, O., Voitsekhivskiy, V., Ocheretna, A., & Synenko, T. 2021. Comparative study of carvones from various essential oils and their ability to increase the stability of fat-containing products. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3).

Ghimire, M. N., Myers, S. W., Arthur, F. H., & Phillips, T. W. 2017. Susceptibility of *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma inclusum* LeConte (Coleoptera: Dermestidae) to residual contact insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 72, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.02.006>

Guettal, S. 2021. Effets de deux biopesticides d'origine végétale sur un ravageur des denrées stockées. Thèse de Doctorat en Biologie et Physiologie Animale. Université Larbi Tébessi, Tébessa. 141p.

Hedin, P.A., Hollingworth, R.M., Masler, E.P., Miyamoto, J., Thompson, D.G. 1997. Phytochemicals for pest control. ACS Symposium Series No. 658, American Chemical Society, Washington, DC, 372pp.

Herrera, J.M., Goni, M.L., Ganan, N.A., Zygadlo, J.A. 2017. An insecticide formulation of terpene ketones against *Sitophilus zeamais* and its incorporation into low density polyethylene flms. *Crop Protection journal* 98:33–39.

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.

Hough-Goldstein, J. A. 1990. Antifeedant effects of common herbs on the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*. 19(2): 234-238.

Hummelbrunner, L. A., and Isman, M. B. 2001. Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *Journal of Agricultural and food chemistry*. 49(2): 715-720.

Isman, M. B. 2020. Bioinsecticides based on plant essential oils : A short overview. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 75(7-8), 179-182. <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0038>

Jayakumar, M., Arivoli, S., Raveen, R., Tennyson, S. 2017. Repellent activity and fumigant toxicity of a few plant oils against the adult rice weevil *Sitophilus oryzae* Linnaeus 1763 (Coleoptera : Curculionidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 5(2): 324-335.

Jilani, G., and Saxena, R. C. 1990. Repellent and feeding deterrent effects of turmeric oil, sweetflag oil, neem oil, and a neem-based insecticide against lesser grain borer (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Economic Entomology*, 83(2), 629-634.

Karnavar, G.K. 1972. Mating behaviour and fecundity in *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.* 8:65–69.

Karr, L.L. and Coats, J.R. 1992. Effects of four monoterpenoids on growth and reproduction of the German cockroach (Blattodea: Blattellidae). *Journal of Economic Entomology*. 85: 425-429.

Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Boukouvala, M.C. 2017. Invader competition with local competitors: displacement or coexistence among the invasive khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae), and two other major stored-grain beetles? *Front. Plant Sci.*8:1837.

Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Boukouvala, M.C., Tsekos, G.T. 2019. Influence of different non-grain commodities on the population growth of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *J. Stored Prod. Res.* 81, 31–39.

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. J. Stored Prod. Res. 84, 101515.

Kim, S. I., and Lee, D.W. 2014. Toxicity of basil and orange essential oils and their components against two coleopteran stored products insect pests. Journal of Asia-Pacific Entomology 17(1):13–17.

Kim, S. I., Lee, D.W. 2014. Toxicity of basil and orange essential oils and their components against two coleopteran stored products insect pests. Journal of Asia-Pacific Entomology 17(1):13–17.

Kim, S.I., Roh, J.-Y., Kim, D.-H., Lee, H.S., Ahn, Y. J. 2003. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. Journal of Stored Products Research, 39(3), 293-303. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00017-6)

Kordali, Ş., Usanmaz, A., Bayrak, N., Çakır, A. 2017. Fumigation of volatile monoterpenes and aromatic compounds against adults of *Sitophilus granarius* (L) (Coleoptera: Curculionidae). Records Natural Products 11(4):362–373.

Kostyukovsky, M., Rafaeli, A., Gileadi, C., Demchenko, N. Shaaya, E. 2002. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. Pest Management Science: formerly Pesticide Science. 58(11): 1101-1106.

Lavialle-Defaix, C., Moignot, B., Legros, C., Lapied, B. 2010. How does calcium-dependent 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.

Lee, B. H., Choi, W. S., Lee, S. E., Park, B. S. 2001. Fumigant toxicity of essential oils and their constituent compounds towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). Crop Protection. 20(4): 317-320.

- Liang, J.Y., Guo, S.S., Zhang, W.J., Geng, Z.F., Deng, Z.W, Du, S.S., Zhang, J. 2018.** Fumigant and repellent activities of essential oil extracted from *Artemisia dubia* and its main compounds against two stored product pests. *Natural Product Research* 32(10):1234– 1238.
- Lindgren, D.L., Vincent, L.E. 1959.** Biology and control of *Tragoderma granarium* Everts. *J. Econ. Entomol.* 52:312–19.
- Lopes, K. V. G., Silva, L. B., Reis, A. P., Oliveira, M. G. A., Guedes, R. N. C. 2010.** Modified α -amylase activity among insecticide-resistant and-susceptible strains of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Insect Physiology.* 56(9): 1050-1057.
- Lopez, M.D., Jordan, M.J., Pascual-Villalobos, M.J. 2008.** Toxic compounds in essential oils of coriander caraway and basil active against stored rice pests. *Journal of Stored Products Research* 44(3):273–278
- Luo, W., Wang, K., Luo, J., Liu, Y., Tong, J., Qi, M., Jiang, Y., Wang, Y., Ma, Z., Feng, J., Lei, B., Yan, H. 2023.** Limonene anti-TMV activity and its mode of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 194,105512. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2023.105512>
- Mason, J. R. 1990.** Evaluation of d-pulegone as an avian repellent. *The Journal of Wildlife Management.* 54(1): 130-135.
- Mbata, G.N., Payton, M.E. 2013.** Effect of monoterpenoids on oviposition and mortality of *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae) under hermetic conditions. *Journal of Stored Products Research* 53:43–47.
- Mc Donald, L. L., Guy, R. H., Speirs, R. D. 1970.** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects. *USDA Marketing Research Report.* 882.
- Myers, S.W., Hagstrum, D.H. 2012.** Quarantine. In *Stored Product Protection*, ed. DH Hagstrum,
- Nagpal, M., and Kumar, A. 2012.** Grain losses in India and government policies. *Qual Assur Saf Crops Foods* 4:143–14.
- 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.

Odeyemi, O.O., and Hassan, A.T. 1993. Influence of temperature, humidity and photoperiod on oviposition and larval development in *Trogoderma*. *Appl. Entomol. Zool.* 28(3):275–81.

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

Oyediji, A.O., Okunowo, W.O., Osuntoki, A.A., Olabode, T.B., Ayo-Folorunso, F. 2020. Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobrunchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry Physiology* 168:104643.

Pagliaro, M., Fabiano-Tixier, A.S., Ciriminna, R. 2023. Limonene as a natural product extraction solvent. *Green Chemistry*, 25(16), 6108-6119. <https://doi.org/10.1039/D3GC02068A>

Paini, D.R., and Yemshanov, D. 2012. Modelling the arrival of invasive organisms via the international marine shipping network: a khapra beetle study. *PLOS ONE* 7(9):e44589

Papachristos, D. P., and Stamopoulos, D. C. 2002. Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say)(Coleoptera: Bruchidae). *Journal of stored products research*, 38(2), 117-128.

Pavela, R., and Benelli, G. 2016. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science*, 21(12), 1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>

Peixoto, M. G., Costa-Júnior, L. M., Blank, A. F., da Silva Lima, A., Menezes, T. S. A., Alexandria Santos, D., ... & de Fátima Arrigoni-Blank, M. 2015. Acaricidal activity of essential oils from *Lippia alba* genotypes and its major components carvone, limonene, and citral against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary parasitology*, 210(1-2), 118-122.

Pérez, S. G., Ramos-López, M. A., Zavala-Sánchez, M. A., Cárdenas-Ortega, N. C. 2010. Activity of essential oils as a biorational alternative to control coleopteran insects in stored grains. *Journal of Medicinal Plants Research*. 4(25): 2827-2835.

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

- Prates, H. T., Santos, J. P., Waquil, J. M., Fabris, J. D., Aliveira. A. B., Foster, J. E. 1998.** Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Stored Products Research. 34(4): 243-249.
- Prusky, D. 2011.** Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects, Food Security. 3: 463-474.
- Rajashekar, Y., Bakthavatsalam, N., Shivanandappa, T. 2012.** Botanicals as grain protectants, Psyche, J. Entomol. 2012. Article ID 646740.
- Sánchez-Bayo, F. 2021.** Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. Toxics, 9(8), 177. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>
- Sayada, N., Tine, S., Soltani, N. 2021.** Evaluation of a botanical insecticide, lavender (*Lavandula angustifolia* (M.)) essential oil as toxicant, repellent and antifeedant against lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* (F.)). Appl Ecol Envir Res 20(2):1301–1324.
- Schmutterer, H. 1990.** Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annual review of entomology, 35(1), 271-297.
- 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>
- Solberg, S. O., Göransson, M., Petersen, M. A., Yndgaard, F., Jeppson, S. 2016.** Caraway essential oil composition and morphology: The role of location and genotype. Biochemical systematics and ecology, 66, 351-357.
- Stamopoulos, D.C., Damos, P., Karagianidou, G .2007.** Bioactivity of five monoterpenoid vapours to *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Stored Products Research 43(4):571–577.
- Sun, J. 2007.** D-Limonene : Safety and Clinical Applications. 12(3).
- Tong, F., and Coats, J. R. 2012.** Quantitative structure-activity relationships of monoterpenoid binding activities to the housefly GABA receptor. Pest Management Science. 68 (8): 1122- 1129.
- Tripathi, A. K., Prajapati, V., Khanuja, S. P. S., Kumar, S. 2003.** Effect of d-limonene on three stored- product beetles. Journal of Economic Entomology. 96(3): 990-995.
- TW Philips, G Cuperus, pp. 297–304. Manhattan, KS: Kansas State Univ.

Vilas-Boas, S. M., Batista, F. R. M., Dias, R. M., Coutinho, J. A. P., Ferreira, O., da Costa, M. C., & Pinho, S. P. 2024. Deterpenation of citrus essential oil via extractive distillation using imidazolium-based ionic liquids as entrainers. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 156, 105367. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2024.105367>

Wang, C.F., Zhang, W.J., You, C.X., Guo, S.S., Geng, Z.F., Fan, L., Du., S.S, Deng, Z.W., Wang, Y.Y. 2015. Insecticidal constituents of essential oil derived from *Zanthoxylum armatum* against two stored-product insects. *Journal Oleo Science* 64(8):861–868.

Watanabe, K., Shono, Y., Kakimizu, A., Okada, A., Matsuo, N., Satoh, A. Nishimura, H. 1993. New mosquito repellent from *Eucalyptus camaldulensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 41(11): 2164-2166.

Wilches Correal, D.M. 2016. Effects of extreme temperatures on the survival of the quarantine stored product pest, *Trogoderma granarium* (Khaphra Beetle) and on its associated bacteria. Master's Thesis, Univ. Lethbridge, Lethbridge, Can.

Wilches, D.M., Laird, R.A., Floate, K.D., Fields, P.G. 2017. Effects of acclimation and diapause on the cold tolerance of *Trogoderma granarium*. *Entomol. Exp. Appl.* 165:169–78.

Yildirim, E., Emsen, B., Kordali, S. 2013. Insecticidal effects of monoterpenes on *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal Applied Botany and Food Quality* 86:198–2.

Yoon, C., Kang, S. H., Jang, S. A., Kim, Y. J., Kim, G. H. 2007. Repellent efficacy of caraway and grapefruit oils for *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 10(3), 263-267.



Université Echahid Echeikh Larbi Tébessi- Tébessa
 Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie
 Département biologie Des êtres Vivants



Filière :

Spécialité :

Année universitaire : 2023/2024

Formulaire de levée de réserves après soutenance d'un Mémoire de Master

Données d'identification du candidats (es) :

Nom et prénom du candidat : *Hamba Malak / Aouissi Dawa*

Intitulé du Sujet :

*Effet Combiné de deux molécules bioactives sur un ravageur
 des denrées stockées *Trogoderma granarium*.*

Données d'identification du Président de jury :

Nom et prénom : *Bouzidi Oulfa*

Grade : *(M.A.B)*

Lieu d'exercice : Université Larbi Tébessi – Tébessa-

Vu le procès-verbal de soutenance de la thèse sus citée comportant les réserves suivantes :

R.A.S

Et après constatation des modifications et corrections suivantes :

R.A.S

Je déclare en ma qualité de président de jury de soutenance que le mémoire cité remplit toutes les conditions exigées et permet au candidat de déposer son mémoire en vue de l'obtention de l'attestation de succès.

Le : *17/07/2024*

Président de jury de soutenance : (Nom/Prénom et signature)

*Djeblouf
 Bouzidi Oulfa*



Département de... *Biologie des êtres Vivants*.....
 Filière : *Sciences biologiques*
 Spécialité : ... *ecophysiologie Animale*
 Année universitaire 2023/2024

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat (A joindre obligatoirement avec le mémoire)

Je, soussigné(e)
 Nom et prénom : ... *Aouissi Douna*
 Régulièrement inscrit (e) :
 *Oui*
 N° de carte d'étudiant :
 ... *191934016562*
 Année universitaire : ... *2023 / 2024*
 Domaine : ... *Sciences de la Nature et de la Vie*
 Filière : ... *Sciences biologiques*
 Spécialité : ... *ecophysiologie Animale*
 Intitulé :
 ... *Effet combiné de deux molécules bioactives sur un
 sauvagem des données stockée Trogodema granarium* ...

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité, je certifie également que je n'ai ni copié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité de plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de refaire sur un sujet différent.
- L'exclusion d'une année de Master.
- L'exclusion définitive.

Fait à Tébessa, le :

Signature de l'étudiant (e)





Département de... *Biologie des êtres vivants*
 Filière : *Sciences biologiques*
 Spécialité : ... *écophysiologie Animale*
 Année universitaire 2023/2024

Déclaration sur l'honneur de non-plagiat (A joindre obligatoirement avec le mémoire)

Je, soussigné(e)
 Nom et prénom : *Hamba Malak*
 Régulièrement inscrit (e) :
 *oui*
 N° de carte d'étudiant :
 *191934016642*
 Année universitaire : *2023/2024*
 Domaine : ... *Sciences de la Nature et de la Vie*
 Filière : ... *Sciences biologiques*
 Spécialité : ... *écophysiologie Animale*
 Intitulé :
 ... *Effet Combiné de deux molécules bioactives sur un*
navageur des dunes stables Trogoderma granarium

Atteste que mon mémoire est un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité, je certifie également que je n'ai ni copié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Sanctions en cas de plagiat prouvé :

L'étudiant sera convoqué devant le conseil de discipline, les sanctions prévues selon la gravité de plagiat sont :

- L'annulation du mémoire avec possibilité de refaire sur un sujet différent.
- L'exclusion d'une année de Master.
- L'exclusion définitive.

Fait à Tébessa, le :

Signature de l'étudiant (e)

[Handwritten signature]

