



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi -Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la vie
Département : Êtres Vivants



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Spécialité : ECOPHYSIOLOGIE ANIMALE

Thème

Activité biologique d'une molécule bioactive à l'égard d'un ravageur des denrées stockées

Présenté par : Melle LAHMAR Chaima

Melle BENHADDA Maroua

Membres de Jury :

Pr. TINE-DJEBAR Fouzia

Université De Tébessa **Président**

Pr. TINE Samir

Université De Tébessa **Rapporteur**

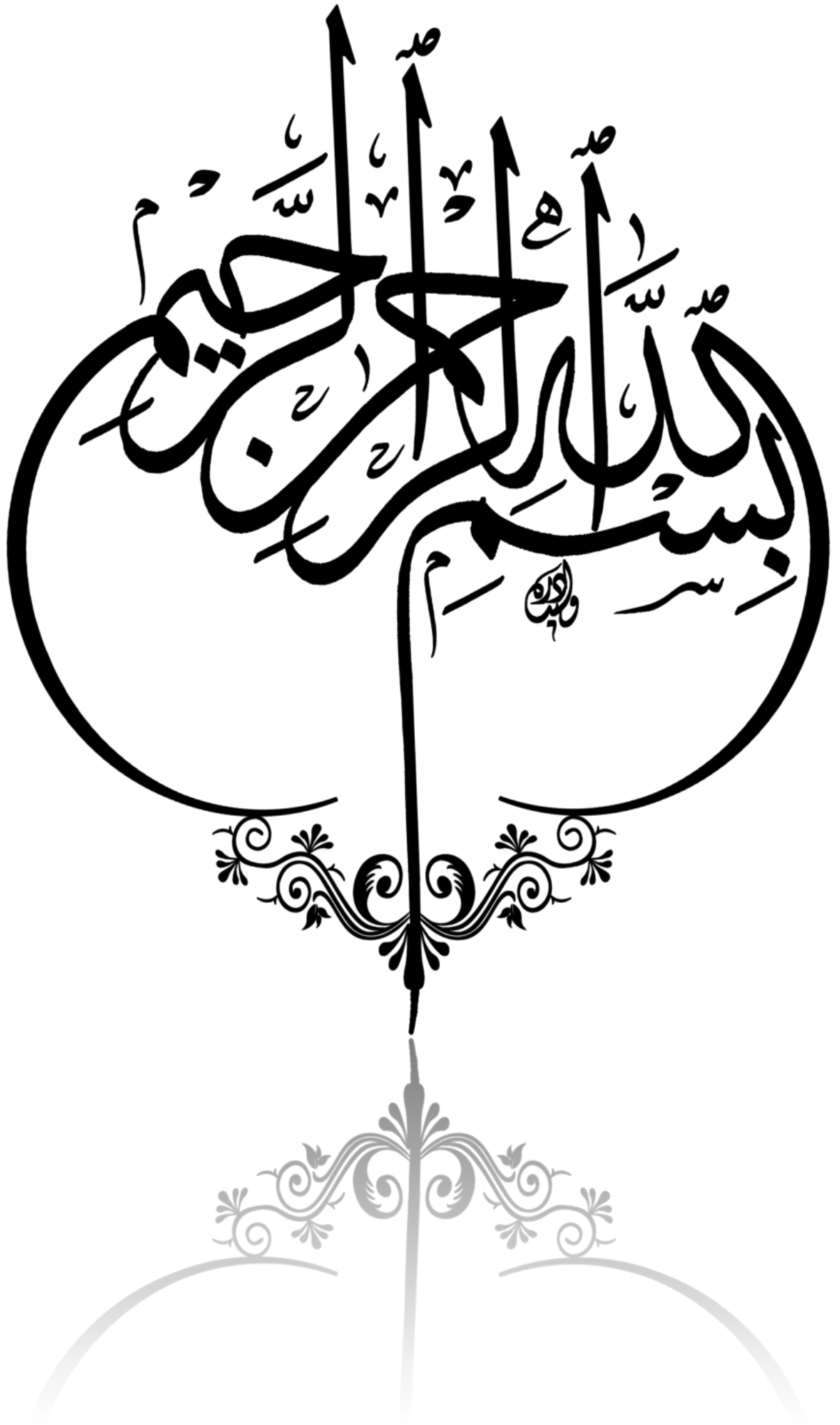
Dr. BENARFA Noudjoud

Université De Tébessa **Examinatrice**

Année universitaire : 2021/2022

Note :

Mention :



Remerciements

Elhamdulillah, qui nous a accordé l'intelligence et la force de choisir le chemin de la connaissance, le chemin par lequel Son message à la création a commencé, et ce fut l'un des premiers mots commandés par Son Noble Messager.

*Au **Professeur TINE Samir** qui a supervisé cette recherche et nous a fourni de précieux conseils et orientations qui ont éclairé les voies de recherche devant nous.*

*Nous adressons aussi tous nos remerciements à **Mme. Fouzia TINE-DJEBBAR** (Professeur au Département des êtres vivants, Université de Tébessa) qui nous encourage toujours à progresser et qui nous a fait aimer notre spécialité.*

*Nous avons tout le plaisir et l'honneur de la présence de **Mme BENARFA Noudjoud** (Maître de Conférences B au Département de Biologie Appliquée, Université de Tébessa), qui a bien voulu accepter d'être membre du jury et de nous faire l'honneur de juger ce travail.*

On lui dit merci de tout cœur.

A tous les professeurs du Département des êtres vivants.

Merci à tous.

Table des matières

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	01
II. MATERIEL ET METHODES	04
2.1. Présentation de l'insecte	04
2.2. Présentation du Linalool	05
2.3. Collecte et élevage au laboratoire	05
2.4. Traitement et essai insecticide	05
2.5. Tests de répulsion	06
2.6. Extraction et dosage des métabolites	07
2.6.1. Dosage des protéines totales	08
2.6.2. Dosage des glucides totaux	09
2.6.3. Dosage des lipides totaux	09
2.7. Analyses statistiques	10
III. RESULTATS	12
3.1. Essais toxicologiques	12
3.2. Effet répulsif du Linalool	13
3.3. Effet du traitement sur la composition biochimique	14
IV. DISCUSSION	16
4.1. Toxicité de linalool à l'égard de <i>Tribolium confusum</i>	16
4.2. Effet répulsif de linalool sur <i>Tribolium confusum</i>	17
4.3. Effet du traitement sur la composition biochimique de <i>Tribolium confusum</i>	18
4.3.1. Effet sur le contenu en protéines	18
4.3.2. Effet sur le contenu en glucides	19
4.3.3. Effet sur le contenu en lipides	20
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	21
VI. RESUME	22
Français	
Anglais	
Arabe	
VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	25

Liste Des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 1	Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald <i>et al.</i> (1970).	07
Tableau 2	Dosage des protéines totales chez les adultes de <i>Tribolium confusum</i> : réalisation de la gamme d'étalonnage.	08
Tableau 3	Dosage des glucides totaux chez les adultes de <i>Tribolium confusum</i> : réalisation de la gamme d'étalonnage.	09
Tableau 4	Dosage des lipides totaux chez les adultes de <i>Tribolium confusum</i> : réalisation de la gamme d'étalonnage.	10
Tableau 5	Efficacité de linalool appliqué sur les adultes de <i>Tribolium confusum</i> : analyse des probits.	13
Tableau 6	Pourcentages (PR), et classes (CR) de répulsion de Linalool testé sur les adultes de <i>Tribolium confusum</i> .	14

Liste des Figures

LISTE DES FIGURES

Figures	Titres	Pages
Figure 1	<i>Tribolium confusum</i>	04
Figure 2	Elevage de <i>Tribolium confusum</i>	05
Figure 3	Test de toxicité par contact (Photos personnelles).	06
Figure 4	Test de répulsion	07
Figure 5	Extraction des glucides, protéines et lipides totaux (Shibko <i>et al.</i> , 1967).	11
Figure 6	Toxicité de la molécule bioactive, le linalool appliqué par ingestion ($\mu\text{l/ml}$) sur les adultes de <i>T. confusum</i> à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=3$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	12
Figure 7	Effets de la molécule bioactive, le linalool appliqué par ingestion sur les adultes de <i>T. confusum</i> à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	13
Figure 8	Effet de Linalool (CL_{25} et CL_{50}) appliqué par ingestion sur le contenu ($\mu\text{g/adulte}$) en protéines (A), en glucides (B), et en lipides (C) chez les adultes de <i>T. confusum</i> ($m \pm \text{SEM}$, $n=3$ répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.	15

Introduction

I. INTRODUCTION

Les systèmes de production alimentaire et agricole du monde entier sont confrontés actuellement à des difficultés sans précédent, du fait de l'augmentation de la demande d'aliments découlant de l'accroissement démographique, de la progression de la faim et de la malnutrition, des effets négatifs du changement climatique, de la surexploitation des ressources naturelles, de l'appauvrissement de la biodiversité, ainsi que des pertes de grains stockés dues aux insectes ravageurs (FAO, 2021).

Selon les estimations de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2014), environ 5 à 21 % de la nourriture récoltée dans le monde est détruite par les insectes et les rongeurs nuisibles. Ces derniers causent des pertes quantitatives et qualitatives majeures (Banga *et al.*, 2018) qui atteignent plus de 20% dans les pays en voie de développement (Phillips & Throne, 2010) et, où les conditions de stockage sont précaires (Lavigne, 1991). La nature des dommages causés par les insectes des denrées stockées est très variable, non seulement ils dévorent une quantité importante de nourriture, mais ils contaminent aussi ces denrées avec leurs exuvies larvaires, leurs déjections, les toiles de soie et des cadavres entraînant parfois des réactions allergiques chez les consommateurs (Stejskal *et al.*, 2003). Leur présence peut aussi entraîner une humidité suffisante pour le développement de microorganismes.

Le *Tribolium confusum* est considéré comme un colonisateur secondaire se développant plus facilement sur la farine, les grains brisés ou les grains déjà infestés par un colonisateur primaire (Vayias *et al.*, 2010). Il attaque les céréales et les produits céréaliers, les arachides, les noix, le cacao, les fruits secs (Gwinner *et al.*, 1996) altérant ainsi leur valeur économique.

Il existe plusieurs méthodes qui permettent de maintenir les populations des ravageurs à un niveau assez bas pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables. A côté des différentes mesures prophylactiques, la méthode la plus fréquemment utilisée pour la lutte est la lutte chimique (Baldin & Lara, 2008) qui utilise souvent des fumigants notamment le bromure de méthyl et le phosphore d'hydrogène. L'intérêt de leur emploi est lié à leur diffusion à l'intérieur des graines, pouvant atteindre les formes cachées des ravageurs tels que les larves, les œufs et les nymphes (Kellouche, 2005). Cependant, la fumigation, bien qu'elle soit rapide et efficace, est très nuisible pour l'environnement et présente des risques sur la santé humaine (Baldin & Lara, 2008).

Dans cette optique, la valeur des plantes aromatiques aux propriétés insecticides prend de plus en plus d'importance dans les projets de recherche à travers le monde, notamment en Afrique.

Les biopesticides végétaux (huiles essentielles) sont généralement efficaces à faible dose et leurs molécules bioactives emploient de multiples modes d'action, ce qui les rend particulièrement intéressants pour limiter l'émergence d'agresseurs biologiques résistants (Deravel *et al.*, 2014). Ces huiles sont peu toxiques pour les mammifères, volatiles et très toxiques pour les insectes (Ngamo & Hance, 2007).

Dans ce contexte et dans le cadre de la lutte contre les ravageurs des denrées stockées, notre étude a été consacrée dans *une première partie* à l'évaluation de la toxicité de la molécule bioactive, le Linalool par contact à l'égard des adultes de *Tribolium confusum* et de son potentiel de répulsion.

La deuxième partie vise à évaluer les effets létaux (CL₂₅ et CL₅₀) de Linalool par ingestion, sur les protéines et les réserves énergétiques chez les adultes de *T. confusum*.

Matériel et Méthodes

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de l'insecte

Tribolium confusum a été décrite pour la première fois par [Jacquelin DuVal \(1868\)](#). Le nom commun Français attribué à ce ravageur est : *Tribolium* brun de la farine. Selon [Lepesme \(1944\)](#), cette espèce préfère les régions tempérées ([Anonyme, 2001](#)).

Tribolium de la farine est un insecte coléoptère, parmi les ravageurs secondaires qui se déplacent rapidement et se dissimulent de préférence dans les recoins obscurs ([Lepiger, 1966](#)). Il appartient à la famille des Ténébrionidés d'origine strictement africaine et se rencontre maintenant dans le monde entier par suite de sa résistance aux fluctuations thermiques. L'adulte mesure de 3 à 4mm, de couleur uniformément brun avec une capsule céphalique et une face dorsale légèrement rougeâtre. Il est étroit, allongé, à bord parallèle, à pronotum presque aussi large que les élytres ([Delobel & Tran, 1993](#)) (Fig. 1).

Selon [Lepesme \(1944\)](#), cet insecte ravageur occupe la position systématique suivante :

- **Règne** : Animalia
- **Embranchement** : Arthropoda
- **Sous-embranchement** : Hexapoda
- **Classe** : Insecta
- **Ordre** : Coleoptera
- **Famille** : Tenebrionidae
- **Sous Famille** : Ulominae
- **Genre** : *Tribolium*
- **Espèce** : *Tribolium confusum* (**Duval**)



Figure 1. *Tribolium confusum*.

2.2. Présentation du Linalool

Linalool est un alcool monoterpénique acyclique chimiquement connu sous le nom de 7-diméthyl-1,6-octadiène-3-ol (CAS). Sa formule chimique est la suivante : $C_{10}H_{18}O$. C'est un liquide transparent de couleur jaune clair (Bicchiet *et al.*, 2005). Le linalool est un produit végétal naturel avec des propriétés antifongiques (Park *et al.*, 2012), et des propriétés insecticides (Weaver *et al.*, 1991). L'activité répulsive du Linalool contre les insectes est bien documentée. C'est un pesticide efficace pour lutter contre les tiques et les puces (Hink & Duffey, 1990). Le Linalool inhibe l'alimentation, la ponte et l'éclosion des œufs (Maganga *et al.*, 1996). Il a cependant des effets sur le système nerveux central, est un inhibiteur réversible de l'acétylcholinestérase ce qui pourrait expliquer ses propriétés insecticides (Weaver *et al.*, 1991).

2.3. Collecte et élevage au laboratoire

Les individus de *Tribolium confusum* ont été collectés à partir de l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales de la région de l'Aouinet-Tébessa. Le criblage a été effectué à l'aide tamis de 2 mm avec un papier filtre blanc pour qu'on puisse les repérer à l'œil nu (Fig. 2). L'élevage est maintenu dans des conditions de laboratoire (Température : 27 ± 1 °C et une Humidité relative : 65 à 70 %), dans des bocaux en plastique contenant les grains de blé. L'élevage est suivi quotidiennement et les adultes nouvellement exuviés sont utilisés pour toutes les expérimentations.



Figure 2. Elevage de *Tribolium confusum* (Photos personnelles).

2.4. Traitement et essai insecticide

Après un screening préalable, le Linalool dissous dans 1ml d'acétone a été utilisé à différentes concentrations (0,5 ; 1 ; 2 ; 4 $\mu\text{l/ml}$). 500 μl de chaque concentration est appliqué sur 10g de blé sain. Après une évaporation totale du solvant pendant 15min, 10 adultes mâles et femelles (sexes confondus) de *Tribolium confusum* sont introduits dans les flacons (Fig. 3). Une série témoin est conduite en parallèle et les grains de blé reçoivent uniquement du solvant (acétone).

Les mortalités enregistrées à 6 h, 12 h et 24 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 7.



Figure 3. Test de toxicité par contact (Photos personnelles).

2.5. Test de répulsion

Ce test est réalisé pour calculer le pourcentage de répulsion de Linalool à l'égard des adultes de *Tribolium confusum* d'après la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par McDonald *et al.* (1970). Des disques de papier filtre de 9 cm de diamètre, sont coupés en deux parties égales, une moitié du papier est traitée avec Linalool additionné d'acétone et l'autre moitié est traitée avec de l'acétone uniquement (Fig. 4).

Des doses de 5, 10 et 20 μl de Linalool sont diluées dans 1 ml d'acétone, pour que la répartition soit homogène sur le papier filtre. Les deux demi disques de papier filtre sont

séchés à l'air libre et le disque est reconstitué puis mis dans une boîte de pétri. Dix individus sont déposés sur le papier filtre au milieu des boîtes de pétri et trois répétitions sont réalisées pour chaque dose. Après 15 min, 30min, 1h et 2h de traitement, le dénombrement de ces derniers sur les demi-disques est réalisé. Le pourcentage de répulsion (PR) est ainsi calculé selon la formule utilisée par [Nerio et al. \(2009\)](#) et classé selon [Mc Donald et al. \(1970\)](#) (Tableau 1) :

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

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 Linalol

Tableau 1. Pourcentage de répulsion selon le classement de [Mc Donald et al. \(1970\)](#).

Classes	Taux de répulsion	Propriétés
0	< 0,1%	N'est pas répulsive
I	0,1% - 20,0%	Très faiblement répulsive
II	20,1% - 40,0%	Faiblement répulsive
III	40,1% - 60,0%	Modérément répulsive
IV	60,1% - 80,0%	Répulsive
V	80,1% - 100,0%	Très répulsive

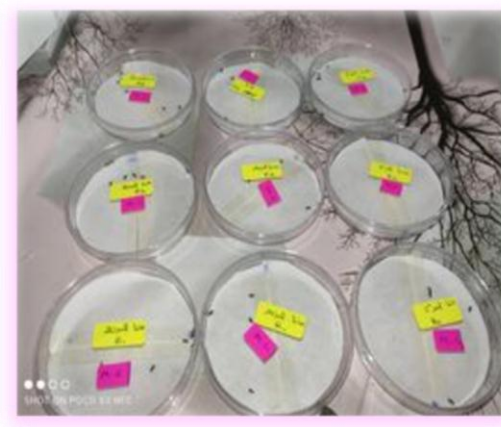


Figure 4. Test de répulsion

2.6. Extraction et dosage des métabolites

L'extraction des principaux constituants biochimiques (protéines, glucides et lipides) a été réalisée selon le procédé de [Shibko et al. \(1966\)](#) (Fig. 5). Les adultes de *Tribolium confusum* témoins et traités avec le Linalool (CL₂₅, CL₅₀) prélevés à 24h après traitement ont été pesés

et placés dans des tubes Eppendorf puis conservés dans 1 ml de TCA (acide trichloroacétique) à 20%. Après broyage et homogénéisation, puis centrifugation (5000 tours/min à 4°C pendant 10 min), le surnageant I obtenu, servira pour le dosage des glucides totaux selon la méthode de [Duchateau & Florkin \(1959\)](#). Au culot I, on ajoute 1 ml de mélange éther/chloroforme (1V/1V) et après une seconde centrifugation (5000 trs/min, 10 mn), on obtient le surnageant II et le culot II, le surnageant II sera utilisé pour le dosage des lipides ([Goldsworthy et al., 1972](#)) et le culot II, dissout dans de la soude (0,1 N), servira au dosage des protéines selon [Bradford \(1976\)](#). L'essai est conduit avec 3 répétitions, chacune comprend 10 adultes.

2.6.1. Dosage des protéines totales

Le dosage des protéines est effectué selon la méthode de [Bradford \(1976\)](#), dans une fraction aliquote de 100 µl à laquelle on ajoute 4 ml de réactif du bleu brillant de Coomassie (BBC) G250 (Merck) (On homogénéise 100 mg de BBC, dans 50 ml d'éthanol 95°, on y ajoute ensuite 100 ml d'acide orthophosphorique à 85% et on complète à 1000 ml avec de l'eau distillée). Celui-ci révèle la présence des protéines en les colorants en bleu. L'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 595 nm. La gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution d'albumine de sérum de bœuf (BSA) titrant 1 mg/ml (Tableau 2).

Tableau 2. Dosage des protéines totales chez les adultes de *Tribolium confusum* : réalisation de la gamme d'étalonnage.

Tubes	0	2	3	4	5	6
Solution standard d'albumine (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
Réactif BBC (ml)	4	4	4	4	4	4

2.6.2. Dosage des glucides totaux

Le dosage des glucides totaux a été réalisé selon la méthode de [Duchateau & Florkin \(1959\)](#). Cette méthode consiste à additionner 100 µl de surnageant contenu dans un tube à essai, 4 ml du réactif d'anthrone (peser 150 mg d'anthrone, ajouter 75 ml d'acide sulfurique concentré et 25 ml d'eau distillée) et de chauffer le mélange à 80°C pendant 10 min, une coloration verte se développe dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de glucide présente dans l'échantillon. La lecture de l'absorbance est faite à une longueur d'onde de 620 nm. La gamme d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution mère de glucose (1mg/ml) (Tableau 3).

Tableau 3. Dosage des glucides totaux chez les adultes de *Tribolium confusum*: réalisation de la gamme d'étalonnage.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de glucose (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
Réactif d'anthrone (ml)	4	4	4	4	4	4

2.6.3. Dosage des lipides totaux

Les lipides totaux ont été déterminés selon la méthode de [Goldsworthy et al. \(1972\)](#), en utilisant le réactif sulfophosphovanillinique (dissoudre 0,38 g de vanilline dans 55 ml d'eau distillée et ajouter 195 ml d'acide orthophosphorique à 85%). Le dosage des lipides se fait sur des prises aliquotes de 100µl des extraits lipidiques ou de gamme étalon auxquelles on évapore totalement le solvant puis on ajoute 1ml d'acide sulfurique concentré. Les tubes sont agités et mis pendant 10 mn dans un bain de sable à 100°C. Après refroidissement, on prend 200 µl de ce mélange auquel on ajoute 2,5 ml de réactif sulfophosphovanillinique. Après 30 mn à l'obscurité, la densité optique est lue dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 530 nm. Les lipides forment à chaud avec l'acide sulfurique, en présence de la vanilline et d'acide orthophosphorique, des complexes roses. La solution mère des lipides est préparée comme suit : on prend 2,5 mg d'huile de table (tournesol, 99% triglycérides) dans un tube Eppendorf et on ajoute 1 ml d'éther/chloroforme (1V/1V) (Tableau 4).

Tableau 4. Dosage des lipides totaux chez les adultes de *Tribolium confusum*: réalisation de la gamme d'étalonnage.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de lipides (µl)	0	20	40	60	80	100
Solvant (éther /chloroforme) (1V/1V)	100	80	60	40	20	0

2.7. Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel GRAPH PAD PRISM 7. Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne \pm l'écart-moyen (SEM). Les quantités des métabolites (protéines, glucides et lipides) sont déterminées à partir des courbes d'étalonnage dont l'équation de la droite de régression exprime l'absorbance en fonction de la quantité du standard utilisé (albumine, glucose et l'huile de tournesol). L'analyse de la variance à un critère de classification et le test HSD de Tukey ont été utilisés.

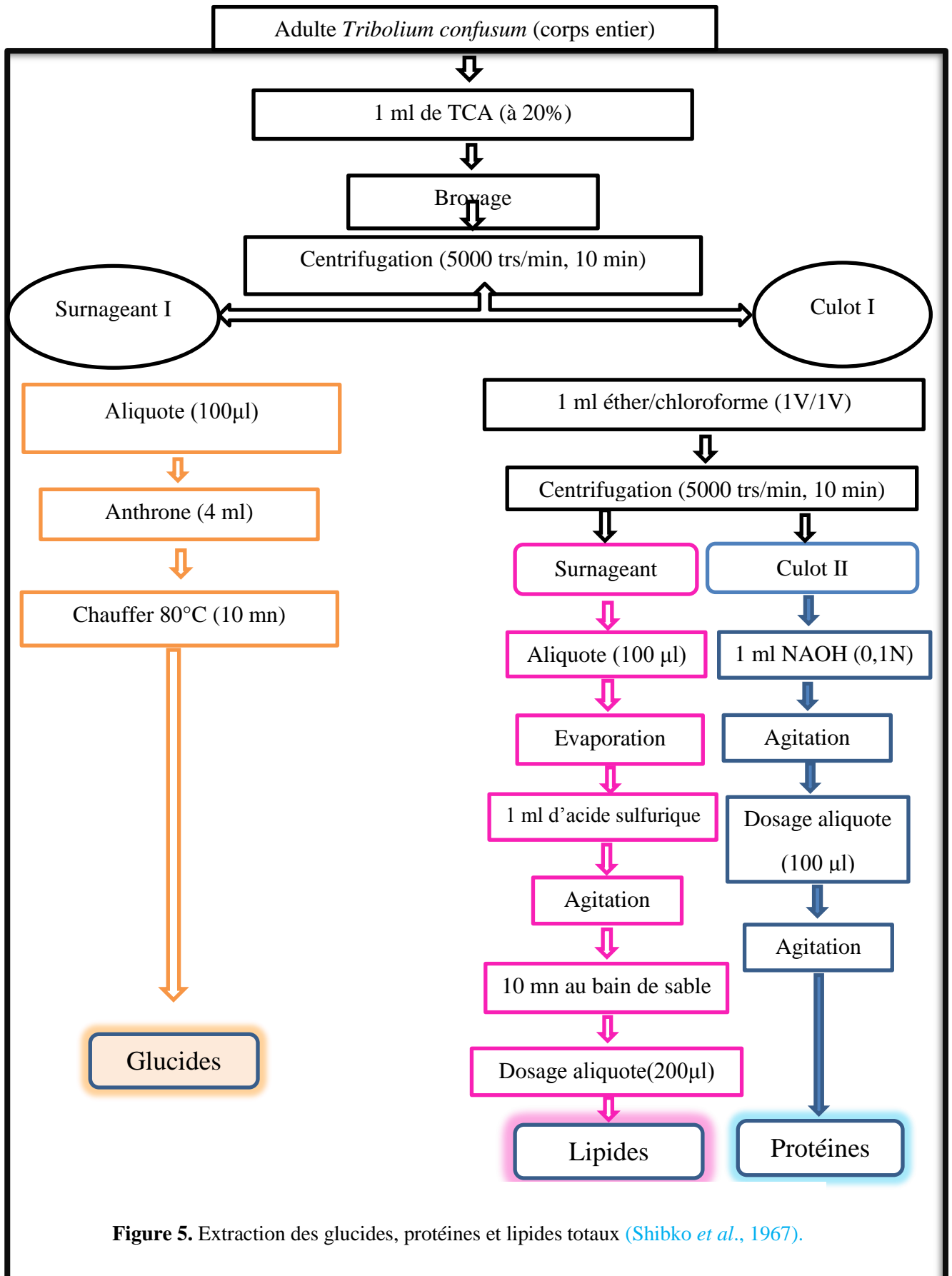


Figure 5. Extraction des glucides, protéines et lipides totaux (Shibko *et al.*, 1967).

Résultats

III. RESULTATS

3.1. Essais toxicologiques

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité de la molécule bioactive, le Linalool évalués à partir de la mortalité enregistrée chez les adultes de *Tribolium confusum* à différentes périodes après traitement.

Après un test de screening, différentes concentrations (0,5 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 $\mu\text{l/ml}$) de la molécule bioactive, le Linalool, ont été appliquées par ingestion sur les adultes de *T. confusum*. Aucune mortalité n'a été observée chez les séries témoins.

Les mortalités corrigées enregistrées chez *T. confusum* au cours des tests de toxicité par ingestion varient de 13,33% à 6h jusqu'à 43,33% à 24h pour la dose la plus faible (0,5 $\mu\text{l/ml}$) et de 93,33% à 6h jusqu'à 100% à 24h pour la dose la plus forte (4 $\mu\text{l/ml}$) (Fig. 6). Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement à 6h ($F_{3,8}=106,3$; $p<0,0001$), à 12h ($F_{3,8}=61,11$; $p<0,0001$), et à 24 h ($F_{3,8}=70,56$; $p<0,0001$).

Les résultats montrent que la molécule bioactive appliquée par ingestion exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *T. confusum*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à tous les temps testés, chacun étant constitué d'une série (Fig. 6). La courbe dose-réponse exprimant le pourcentage des mortalités 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 Slope (Tableau 5).

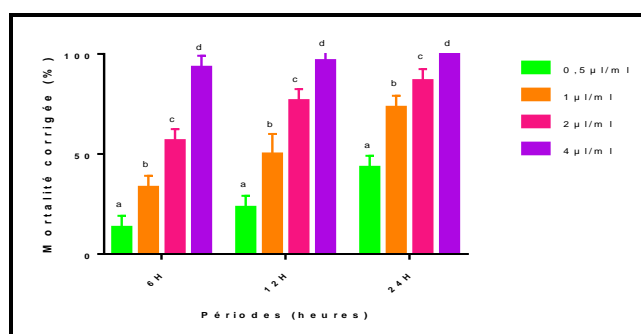


Figure 6. Toxicité de la molécule bioactive, le linalool appliqué par ingestion ($\mu\text{l/ml}$) sur les adultes de *T. confusum* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=3$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

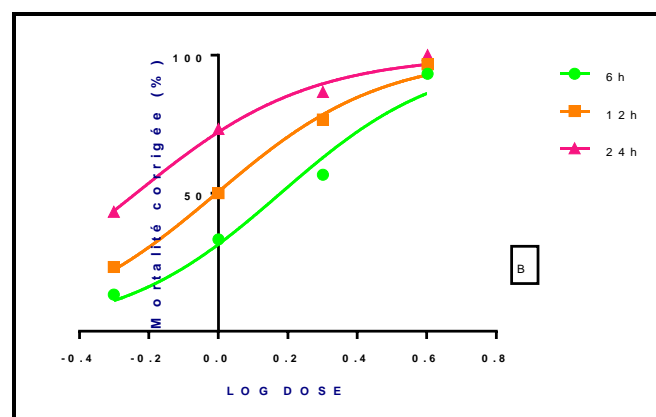


Figure 7. Effet de la molécule bioactive, le linalool appliqué par ingestion sur les adultes de *T. confusum* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 5. Efficacité de linalool appliqué sur les adultes de *T. confusum* : analyse des probits.

Mode d'application	Temps (heures)	R2	HillSlope	CL ₂₅ IC (95%)	CL ₅₀ IC (95%)
Ingestion	6	0,97	1,88	0,84 [0,30 - 1,54]	1,51 [0,92-2,42]
	12	0,95	1,83	0,54 [0,36-0,72]	0,98 [0,79-1,21]
	24	0,96	1,74	0,30 [0,14-0,44]	0,57 [0,39-0,73]

3.2. Effet répulsif du Linalool

Les résultats du pouvoir répulsif du Linalool à l'égard de *T. confusum* sont présentés dans le Tableau 6. Le pourcentage de répulsion marque une augmentation en fonction des concentrations appliquées et du temps d'exposition. Les forts taux de répulsion (80,66%) sont observés à 3 h avec la plus forte concentration (20µl/ml). Cette activité est classée en catégorie 5 de répulsion.

Tableau 6. Pourcentages (PR), et classes (CR) de répulsion de Linalooltesté sur les adultes de *T.confusum*.

Concentrations	Période	<i>T. confusum</i>	
		PR%	Classe
5µl/ml	15 min	66,66	4
	30 min	69,66	4
	1h	72,66	4
	2h	75,66	4
	3h	78,66	4
10 µl/ml	15 min	67,66	4
	30 min	70,66	4
	1h	73,66	4
	2h	76,66	4
	3h	79,66	4
20µl/ml	15 min	68,66	4
	30 min	71,66	4
	1h	74,66	4
	2h	76,66	4
	3h	80,66	5

3.3. Effet du traitement sur la composition biochimique

La molécule bioactive, le Linalool a été appliqué par ingestion sur les adultes de *T. confusum* avec deux concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀). Ses effets ont été évalués sur la composition biochimique (réserves énergétiques et protéines) de cette espèce à 24h après traitement (Fig. 8).

D'après les résultats obtenus, on note une augmentation significative du contenu en protéines totales après traitement avec les deux concentrations appliquées ($F_{2,6}=71,64$; $p=0,0001$) avec un effet dose (CL₂₅ vs CL₅₀ : $p=0,0016$). Le test HSD de Tukey met en évidence 3 groupes de moyennes, chacun étant composé d'une série.

En ce qui concerne le contenu en glucides, les résultats du dosage ont révélé une diminution significative au cours de la période testée et chez les traités avec les deux concentrations létales (Témoins vs CL₂₅ : $p=0,0096$; Témoins vs CL₅₀ : $p=0,0014$). Aucun effet dose n'a été constaté (CL₂₅ vs CL₅₀ : $p>0,05$). Le test HSD de Tukey met en évidence 2 groupes de moyennes, un groupe témoins et un second groupe constitué des traités (CL₂₅ et CL₅₀).

Finalement, le traitement par la molécule bioactive avec les deux concentrations létales induit une diminution significative du contenu en lipides avec un effet dose-réponse à 24h après

traitement (Témoins vs CL₂₅ : p<0,0001 ; Témoins vs CL₅₀ : p<0,0001 ; CL₂₅ vs CL₅₀ : p<0,0003). Le test HSD de Tukey met en évidence 3 groupes de moyennes, chacun étant composé d'une série.

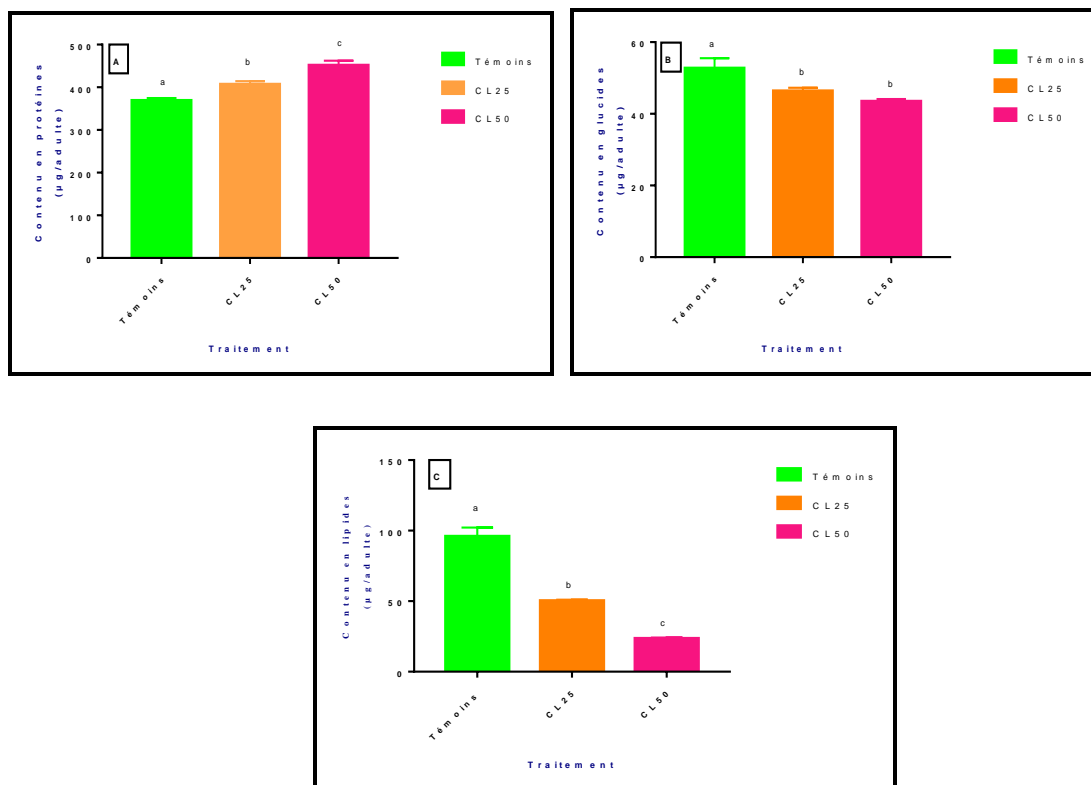


Figure 8. Effet de Linalool (CL₂₅ et CL₅₀) appliqué par ingestion sur le contenu (µg/adulte) en protéines (A), en glucides (B), et en lipides (C) chez les adultes de *T. confusum* (m ± SEM, n=3 répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.

Discussion

IV. DISCUSSION

4.1. Toxicité de Linalool

Les tests toxicologiques ont pour but de déterminer le pouvoir insecticide d'une substance active contre un insecte donné et d'évaluer le degré de sensibilité ou de résistance des diverses espèces animales ou végétales après l'exposition à une substance toxique. Il existe différentes formes de toxicité (par ingestion, par inhalation ou par contact) qui sont nécessaires à l'évaluation des concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀).

La toxicité d'une substance dépend de son mode d'administration (voie cutanée, voie orale ou voie respiratoire), de ses propriétés chimiques, mais aussi de son métabolisme et des mécanismes possibles de détoxification (Moretto & Lotti, 1998).

Notre étude a pour but de tester la toxicité d'un composé bioactif, le Linalool, par fumigation et par ingestion à l'égard des adultes de *T. confusum*. Les tests toxicologiques ont montré l'activité insecticide de cette molécule avec une relation dose-réponse.

Selon Oji-Melukwe (1999), α -pinène a induit un effet insecticide intéressant contre le charançon brun de la farine *Tribolium confusum*. Des effets similaires ont été également notés avec le α -terpinéol, le 1,8-cinéole et le limonène (Prates *et al.*, 1998).

La diversité des mécanismes d'action des huiles essentielles permettrait en particulier de limiter le taux de développement de résistance. Les huiles essentielles semblent en effet ne pas avoir de cibles cellulaires spécifiques, du fait de la diversité de leurs constituants (Houël, 2011). Les constituants majeurs des HEs ont une efficacité insecticide soit singulière ou lorsqu'elles sont mises ensemble. Il n'y a pas forcément une synergie lorsque tous ces composés sont conditionnés ensemble, de même leurs efficacités ne sont pas les mêmes pour tous les insectes (Bekele *et al.*, 2001).

Le camphre, constituant majeur de plusieurs huiles essentielles, appliqué par fumigation et par contact contre les insectes ravageurs des grains stockés, *Sitophilus granarius*, *S. Zeamais*, *T. castaneum* et *Prostephanus truncatus*, a une activité très toxique vis-à-vis de quatre espèces ravageuses (Obeng-Oforiet *et al.*, 1998). Différents travaux font référence à l'utilisation d'huiles essentielles pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs. Le limonène agit contre différents ravageurs (Ibrahim *et al.*, 2001), et il présente une activité d'attraction pour les prédateurs et offre donc des perspectives intéressantes en lutte biologique. Les constituants des huiles essentielles sont des sources potentielles d'insecticides botaniques. Plusieurs constituants sont insecticides (Huang *et al.*, 1997 ; Huang *et al.*, 2000 ; Huang *et al.*, 1998 ; Shaaya *et al.*, 1997 ; Tchoumboungang, 1997, Tunç *et al.*, 2000). Le safrole et

l'eugenol ont des fortes activités insecticides sur les ténébrions et surtout le *T. castaneum* (Regnault-Roger & Hamraoui, 1993 ; Regnault-Roger & Hamraoui, 1994) ainsi que le linalool, le thymol et le carvacrol sur la bruche du haricot (Regnault-Roger *et al.*, 2002).

Il existe une grande variation dans la sensibilité des espèces pour une même huile essentielle (Delobel, 1994) ou même pour un même composé (Regnault-Roger & Hamraoui, 1993 ; Regnault-Roger & Hamraoui, 1994). Une même molécule allélochimique n'exerce pas forcément la même activité vis-à-vis des différents stades d'un insecte.

4.2. Effet répulsif de Linalool

Les composés phytochimiques représentent une large gamme de composés référentiels qui ont été utilisés depuis longtemps pour contrôler les dommages causés par les insectes et qui possèdent plusieurs activités : insecticide, répulsive, anti-appétante et régulatrice de la croissance (Mundi & Alhassan, 2012). Ils affectent les principales fonctions métaboliques, biochimiques, physiologiques et comportementales des insectes (Mann & Kaufman, 2012), et peuvent bloquer également les voies respiratoires, entraînant l'asphyxie et la mort des ravageurs (Kaufmann & Briegel, 2004 ; Rotimi *et al.*, 2011).

L'activité répulsive est un phénomène physiologique qui s'effectue chez les insectes comme mécanisme de défense contre les toxines sécrétées par les plantes (Ben Slimen & Baoundi, 2016). Ce potentiel de répulsion peut être utilisé pour lutter contre les dégâts causés par ces insectes ravageurs. Plusieurs travaux sont consacrés pour l'étude des effets répulsifs des huiles essentielles (Ndomo *et al.*, 2009 ; Al-Jabr, 2006 ; Taleb, 2015). La toxicité et le potentiel répulsif des composés phytochimiques à l'égard des ravageurs dépendent de plusieurs facteurs tels que la composition chimique des huiles et la sensibilité de l'insecte (Casida & Quistad, 1995 ; Casida, 1999), ainsi que la concentration et la durée d'exposition.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que la molécule bioactive, le linalool a un effet très répulsif vis-à-vis de *T. confusum*. Plus la concentration est élevée, plus la substance est répulsive.

Ko *et al.* (2009) ont testé l'activité répulsive de *Litsea cubeba* à l'égard de *Sitophilus zeamais* et *Tribolium castaneum*. L'huile essentielle de *L. cubeba* repoussait fortement ces espèces même à faibles concentrations, mais sa répulsion était plus marquée chez *T. castaneum*. L'HE d'*Artemisia sieberi* à 1,5 ppm était plus répulsif contre *Tribolium castaneum* que *Sitophilus oryzae* et *Callosobruchus maculatus* avec des taux de 65,90 ; 59,70 et 55,80% respectivement (Nikooei & Moharramipour, 2011). Par ailleurs, les résultats de Hanif *et al.*

(2016) ont également montré une activité répulsive de l'azadirachtine vis à vis de *Tribolium castaneum* avec un taux de 77,66%. Les travaux de [Mediouni Benjemâa et al. \(2012\)](#) réalisés sur les propriétés répulsives de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* de différentes provenances ont montré une activité répulsive contre les adultes de *Tribolium castaneum*, avec une efficacité du laurier marocain (87,5%) contre le laurier tunisien (62,5%) et le laurier algérien (57,5%). Ainsi, α -pinène et β -caryophyllène repoussent les adultes de *Tribolium castaneum* d'une manière significative même à de faibles concentrations ([Chaubey, 2012](#)). D'après [Aouina et al. \(2018\)](#), différentes doses (2, 4, 6 et 8 μ L) de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* ont induit une répulsion vis-à-vis des adultes de *Tribolium castaneum* avec des taux de 76,66% ; 83,36% ; 86,68% et 90%. [Mishra & Tripathi \(2011\)](#) ont montré l'activité répulsive des huiles de certaines plantes : *S. aromaticum*, *A. marmelos*, *C. sativum* et *C. reticulata* contre *T. castaneum* et le taux de répulsion est de l'ordre de 90,0%, 86,6%, 83,3% et 80,0% respectivement.

Diverses études antérieures ont montré le pouvoir répulsif de plusieurs molécules bioactives contre les insectes telles que l'azadirachtine ([Mordue et al., 2005](#)), contre *R. dominica* ([Perera et al., 2016](#) ; [Tine et al., 2017](#) ; [Perera et al., 2018](#)) et *Tetranychus urticae* ([Thongdon & Inprakhon., 2009](#) ; [Park et al., 2006](#)). Le linalool, l'acétate de linalyl, l'Eugénol, le Thymol, le Cymol et le Méthyl chavicol ont une activité répulsive contre plusieurs insectes ([Koul, 2008](#)).

4.3. Effet du traitement sur la composition biochimique

L'efficacité des extraits de plantes contre les insectes a été signalée dans plusieurs travaux ([Cetin & Yanikoglu, 2006](#) ; [Negahban et al., 2007](#) ; [Ayvaz et al., 2009](#) ; [El-akhal et al., 2015](#) ; [2016](#)) aussi bien sur le plan physiologique que biochimique ([El-Bermawy & Fattah, 2000](#) ; [Renuga & Sahayaraj, 2009](#)).

L'évaluation des paramètres biochimiques constitue un moyen majeur pour déterminer le pouvoir toxique des bioinsecticides d'origine végétale et qui ont un grand intérêt dans le contrôle biologique des insectes nuisibles ([Sak et al., 2006](#)).

4.3.1. Effet sur le contenu en protéines

Les protéines est un constituant important de la cellule et du système vivant, car les différentes enzymes qui réalisent les cascades d'activités métaboliques dans les organismes sont principalement des protéines ([Preet & Sneha, 2011](#)). Chez les insectes, les protéines et les acides aminés jouent un rôle majeur durant les différentes phases de leur vie ([Chippendale,](#)

1970). La teneur de l'insecte en protéines dépend de sa synthèse et sa dégradation (Gnanamani & Dhanasekaran, 2017). Cependant, elles peuvent être inductibles à la suite d'une exposition à des xénobiotiques (Haubruge & Amichot, 1998).

Les résultats obtenus au cours de notre expérimentation, montrent une augmentation du contenu en protéines après l'application de la molécule bioactive, le Linalool sur les adultes de *Tribolium confusum*. Des résultats similaires ont été observés chez les adultes de *R. dominica* traités à l'azadirachtine (Tine *et al.*, 2017), à l'*Eucalyptus globulus* et à l'*Artemisia herba-alba* (Aref & Valizadegan, 2015).

Cette augmentation peut être expliquée par une perturbation des fonctions physiologiques et biologiques qui a conduit à la synthèse des différents régulateurs de nature protéique intervenant dans les mécanismes de régulation et de défense dans l'organisme tel que les enzymes, les hormones ... etc.

Par contre, une diminution significative des teneurs en protéines a été constatée chez *T. castaneum* traité avec l'HE de *T. pallescens* et *C. citratus* (Bentouati & Djaiz, 2021), chez *P. interpunctella* et *Helicoverpa armigera* traités à l'HE d'*Artemisia annua* (Zamani *et al.*, 2011; Mojarab-Mahboubkar *et al.*, 2015), chez *Plodia interpunctella* traitée à l'huile d'*Artemisia khorassanica* (Borzoui *et al.*, 2016), chez *Helicoverpa armigera* traitée avec l'HE d'*Azadirachta indica* (War *et al.*, 2014) et chez *T. castaneum* exposé à l'huile d'*Agastache foeniculum* (Ebadollahi *et al.*, 2013).

4.3.2. Effet sur le contenu en glucides

Les glucides forment un groupe de composés très importants. Certains représentent une source d'énergie pour les organismes vivants, soit immédiatement utilisable (tréhalose), soit sous forme de réserves (glycogène) ; d'autres ont un rôle structural (cellulose, chitine, acide hyaluronique) (Nation, 2008).

Nos résultats montrent une réduction significative du contenu en glucides chez *T. confusum* traité par le linalool. Des résultats similaires ont été signalés par Guettal (2021), après application de l'huile de citrus et de l'azadirachtine sur les adultes de *S. granarius*. De même, Khosravi *et al.* (2011) ont remarqué les mêmes observations chez les larves de *Glyphodes pyloalis* traitées avec l'extrait d'*A. annua*. Les résultats obtenus par Bentouati & Djaiz (2021) ont montré une diminution très importante des teneurs glucidiques chez *T. castaneum* traité avec l'HE de *C. citratus* et de *T. pallescens*.

La déplétion du glucose peut être due aux conditions de stress imposées à ces insectes qui ont besoin plus d'énergie pour couvrir les dépenses énergétiques via une induction par des neuropeptides (Gäde, 2004 ; Mojarab-Mahboubkar *et al.*, 2015). Elle peut également être due à une accélération de la glycogénolyse au niveau du corps adipeux, au transport du glycogène du corps gras à l'hémolymphe en réponse à l'épuisement énergétique lorsque les individus sont exposés à des toxines (Zibae, 2011).

4.3.3. Effet sur le contenu en lipides

Les réserves lipidiques semblent être la principale source d'énergie chez les insectes, transportés aux corps gras, site de leurs synthèse et stockage (Van Hensdan & Law, 1989) vers les organes utilisateurs, notamment les ovaires (Kilby, 1963 ; Chino *et al.*, 1981), via l'hémolymphe pour être utilisés lors de la vitellogenèse (Downer, 1985 ; Keely, 1985).

Les résultats obtenus dans notre étude, montrent que le traitement des adultes de *Tribolium confusum*, par le linalool induit une diminution significative du contenu en lipides.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Tarigan & Harahap (2016), qui ont constaté une réduction du contenu en lipides chez *T. castaneum* et *C. maculatus* après traitement aux HEs de cardamome, cannelle et muscade. Des résultats similaires ont été observés chez les larves de *P. interpunctella* et *d'Helicoverpa armigera* traitées par l'HE d'*A. annua* (Zamani *et al.*, 2011 ; Mojarab-Mahboubkar *et al.*, 2015).

Par contre, le traitement de *T. confusum* par deux HEs de *T. pallecsens* et *C. citratus*, a montré une augmentation du contenu en lipides, avec l'effet le plus marqué de *C. citratis* (Belaifa *et al.*, 2017). L'exposition des organismes à des substances exogènes peut altérer la synthèse de certains composants biochimiques et perturber leur fonctionnement (Rodriguez-Ortega *et al.*, 2003).

L'épuisement de ce composant biochimique est dû au stress induit suite à l'exposition à un insecticide (Sancho *et al.*, 1998 ; Rambabu & Rao, 1994) qui se traduit par une altération de leurs synthèse (Klowden, 2007), à un dysfonctionnement hormonal qui contrôle le métabolisme lipidique (Steel, 1981), à son utilisation (Sak *et al.*, 2006), à la formation des lipoprotéines, à la réparation des dommages cellulaires et à l'augmentation de la lipolyse pour fournir de l'énergie (Lohar & Wright, 1993; Steele, 1985).

Conclusion et perspectives

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude rentre dans le cadre de la recherche des solutions alternatives permettant de réduire les pertes occasionnées par les insectes nuisibles. Elle a été consacrée à l'évaluation chez une espèce de Coléoptère ravageur des denrées stockées, *Tribolium confusum*, l'effet d'une molécule bioactive, le Linalool.

Les essais toxicologiques réalisés par ingestion ont permis de déterminer les concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀) de Linalool. Cette molécule bioactive appliquée manifeste un effet insecticide avec une relation dose-réponse chez les adultes de *T. confusum*.

Le test de répulsion réalisé par la méthode de la zone préférentielle a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif de linalool à l'égard de cette espèce.

L'étude de la composition biochimique a montré que ce biopesticide appliqué par ingestion, induit un épuisement des réserves énergétiques et une perturbation du contenu en protéines chez cet insecte ravageur.

En guise des perspectives, nous recommandons de compléter le travail suivant en :

- Evaluant l'effet de cette molécule sur le développement et le potentiel reproducteur de cette espèce ;
- Etudiant la persistance de ce biopesticide et son pouvoir antinutritionnel ;
- Evaluant l'effet de cette molécule sur les biomarqueurs enzymatiques et physiologiques chez cette espèce.

Résumé

VI. RESUME

Cette présente étude a pour but d'évaluer les activités insecticides d'une molécule bioactive, le Linalool à l'égard des adultes de *Tribolium confusum*. Les effets ont été examinés sur la mortalité, le potentiel répulsif et les paramètres biochimiques.

Les essais toxicologiques effectués par ingestion ont révélé un effet insecticide de cette molécule bioactive avec une relation dose réponse.

Le test de répulsion, a mis en évidence un pouvoir répulsif de ce traitement vis-à-vis des adultes de *T. confusum*. En outre, l'étude de la composition biochimique a montré que le traitement par le Linalool a induit une augmentation du contenu en protéines et une diminution des réserves énergétiques (glucides et lipides) comparativement aux témoins.

Mots clés : *Tribolium confusum*, Linalool, Ingestion, Répulsion, Réserves énergétiques.

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the insecticidal activity of a bioactive molecule, linalool, against *Tribolium confusum* adults. Effects were examined on mortality, repellency potential and biochemical parameters.

Toxicological testing by ingestion revealed an insecticidal effect with a dose-response relationship.

The repulsion test demonstrated a repulsive power of this treatment against adults of *T. confusum*. In addition, the study of the biochemical composition showed that treatment with Linalool induced an increase in protein content and a decrease in energy reserves (carbohydrates and lipids) compared to controls.

Keywords: *Tribolium confusum*, Linalool, Ingestion, Repulsion, Energy reserves.

الملخص

تهدف هذه الدراسة الحالية إلى تقييم أنشطة المبيدات الحشرية للجزيء النشط بيولوجيًا ، Linalool ، ضد البالغين ل *Tribolium confusum*. تم فحص التأثيرات على معدلات الموت وإمكانية طرد الحشرات والمؤشرات البيوكيميائية.

كشفت اختبارات السموم التي أجريت عن طريق الابتلاع عن تأثير مبيد حشري لهذا الجزيء النشط بيولوجيًا مع علاقة الجرعة -الاستجابة.

أظهر اختبار التنافر قوة مثيرة للطرد لهذا العلاج ضد البالغين من *T. confusum*. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت دراسة التركيب الكيميائي الحيوي أن العلاج باستخدام اللينالول تسبب في زيادة محتوى البروتين وانخفاض احتياطي الطاقة (الكربوهيدرات والدهون) مقارنة بالشواهد.

الكلمات المفتاحية: السمية. الطرد، المخزون الطاقي, *Tribolium confusum*, Linalool

Références bibliographiques

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

-A-

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

Al Jabr, A.M. (2006). Toxicity and repellency of seven plant essential oils to *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*. 7 : 49-60.

Anonyme, 2001. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Ed. ITCF. 268 P.

Aouina, A. & Khelifi, N.E.H. (2018). Evaluation de l'effet répulsif de *Cuminum cyminum* L. et *Foeniculum vulgare* Mill. sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castaneum* (Herbst). Mémoire de Master Académique en Biodiversité et Physiologie Végétale.

Aref, S. P. & Valizadegan, O. (2015). Fumigant toxicity and repellent effect of three Iranian Eucalyptus species against the lesser grain beetle, *Rhyzopertha Dominica* (F.) (Col.: Bostrichidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 3(2): 198-202.

Ayvaz, A., Karaborklu, S. & Sagdic, O. (2009). Fumigant toxicity of five essential oils against the eggs of *Ephesia kuehniella* Zeller and *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera : Pyralidae). *Asian Journal of Chemistry*. 21: 596-604.

-B-

Baldin, E.I.L. & Lara F.M. (2008). Resistance of stored bean varieties to *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera : Bruchidae). *Insect Science*. P: 326.

Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D. & Giri, S.K. (2018). Techniques for Insect Detection in Stored Food Grains : An Overview. *Food Control*. 94 : 167-176.

Bekele J., Hasanali A. (2001). Blend effects in the toxicity of the essential oil constituents of *Ocimum Kilimands* and *Ocimum kenyense* (Labiatae) on two post-harvest insects pests. *Phytochemistry*. 57 : 385-391.

Belaifa, C. & Sadaoui, H. (2017). Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles de *Thymus pallescens* (de Noé.) et *Cymbopogon citratus* (Stapf.) contre deux coléoptères de produits entreposés *Sitophilus zeamais* (Motschulsky.) et *Tribolium confusum* (Duval).

Mémoire de Master en Sciences Agronomique. Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A. 52 P.

Ben slimane B. & Mariem B. (2016). Effects of *Artemisia herba-alba* essential oils on survival stored cereal pests: *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Trogoderma granarium* (Everst) (Coleoptera, Dermestidae). 38p.

Bentouati, K. & Djaiz, A. (2020). Evaluation de l'effet larvicide et adulticide des huiles essentielles de *Thymus palleescens* (de Noé.) et *Cymbopogon citratus* (Stapf.) contre *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797). Mémoire de Master en Sciences Agronomiques. Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A. 35p.

Bicchi, C., Chiara, C., Erica, L., Patrizia, R., Barbara, S. & Pat S. (2005). Impact of phase ratio, polydimethylsiloxane volume and size, and sampling temperature and time on head space sorptive extraction recovery of some volatile compounds in the essential oil field. *Journal of Chromatography A*. 1071(1-2): 111-118.

Borzoui, E., Naseri, B., Abedi, Z. & Karimi-Pormehr, M. S. (2016). Lethal and Sublethal Effects of essential oils from *Artemisia khorassanica* and *Vitex pseudo-negundo* against *Plodia interpunctella* (Lepidoptera : Pyralidae). *Environmental Entomology*. 45(5): 1220-1226.

Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method of the quantitation microgram. *Analytical Biochemistry*. 72(1-2): 248-254.

-C-

Casida JE., 1999. Minor structural changes in nicotinoid insecticides confer differential subtype selectivity for mammalian nicotinic acetylcholine receptors. *British Journal of Pharmacology*. 127 : 115-22.

Casida, J. E. & Quistad, G. B. (1995). Pyrethrum flowers : Production, chemistry, toxicology, and uses. *International Symposium on Pyrethrum Flowers: Honolulu, Hawaii (USA)*. 48: 613-614.

Cetin, H. & Yanikoglu, A. (2006). A study of the larvicidal activity of *Origanum* (Labiatae) species from southwest Turkey. *Journal of Vector Ecology*. 31(1): 118-122.

Chaubey, M. K. (2012). Acute, lethal and synergistic effects of some terpenes against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae). *Ecologia Balkanica*. 4(1): 53-62.

Chino, H., Katase, H., Downer, R.C. & Hard Takahashi, K. (1981). Diacyl glycerol carrying lipoprotein of haemolymph of the American cockroach: Purification, characterisation and function. *Journal of Lipid Research*. 22: 7- 15.

-D-

Delobel, A. (1994). Les insectes ravageurs des tubercules et racines en Afrique tropicale : biologie, mesures de protection et méthodes de lutte. In : Post-récolte, principes et application en zone tropicale. (eds.) Estem. 63-78. ISBN 2-909455-28-9.

Delobel, A., Tran, M. (1993). Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Paris : ORSTOM, 32, 425 p. (Faune Tropicale). ISBN 2-7099-1130-2. ISSN 0152-674-X.

Deravel, J., Krier, F., Jacques, P. (2014). Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 18(2) : 220-232.

Downer, R.G.H. (1985). Lipid metabolism. In *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry, and Pharmacology* (G. A. Kerkert & L. I. Gilbert, eds). Pergamon Press. Oxford. 10 : 77-113.

Duchateau, G. & Florkin, M. (1959). Sur la tréhalosémie des insectes et sa signification. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. 67: 306-314

-E-

Ebadollahi, A., Khosravi, R., Sendi, J. J., Honarmand, P. & Amini, R. M. (2013). Toxicity and physiological effects of essential oil from *Agastache foeniculum* (Pursh) Kuntze against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) larvae. *Annual Research and Review in Biology*. 3(4): 649-658.

El-akhal, F., Greche, H., Chahdi, F., Guemmouh, R. & El Ouali Lalami, A. (2015). Chemical composition and larvicidal activity of *Culex pipiens* essential oil of *Thymus vulgaris* grown in Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*. 6: 214- 219.

El-akhal, F., Guemmouh, R., Maniar, S., Taghzouti, K. & Lalami, A. E.O. (2016) Larvicidal activity of essential oils of *Thymus vulgaris* and *Origanum majorana* (Lamiaceae)

against of the malaria vector *Anopheles labranchiae* (Diptera :Culicidae). International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 8(3): 372- 376.

El-Bermawy, S. M. & Fattah, H. (2000). Changes in proteine lectrophoretic pattern of *Tribolium confusum* 4th instar larvae after treatment with volatile plant oil (Vetiver). Journal Egyptian German Society of Zoology. 31: 167-182

-F-

F.A.O. (2014). Graines pour les Agriculteurs à Petite Échelle systèmes Appropriés de Stockage des Semences et des Grains pour les Agriculteurs à Petite Échelle. p 3.

F.A.O. (2021). L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. 264p. ISBN: 978-92-5-134991-5.

-G-

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.

Gäde, G. (2004). Regulation of intermediary metabolism and water balance of insects by neuropeptides. Annual Reviews in Entomology. 49(1): 93-113.

Gnanamani, R. & Dhanasekaran, S. (2017). Efficacy of *azadirachtain dica* leaf extract on the biochemical estimation of a lepidopteran pest *Pericallia ricini* (Lepidoptera :Arctiidae).World Applied Sciences Journal. 35(2) : 177-181.

Goldsworthy, A.C., Mordue, W. & Guthkelch, J. (1972). Studies on insect adipokinetic hormone. *General and Comparative Endocrinology*.18 : 306-314.

Gwinner, J., Harnish, R. & MÜch, O., 1996. Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. Projet de protection des stocks et des récoltes, D- 65726. Eschborn, R.F.A, 388p.

-H-

- Hanif, C. M. S., Ul-Hasan, M., Sagheer, M., Saleem, S., Akhtar, S. & Ijaz, M. (2016).** Insecticidal and repellent activities of essential oils of three medicinal plants towards insect pests of stored wheat. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 22(3): 470-476.
- Haubruge, E. & Amichot, M. (1998).** Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *Biotechnology Agronomy Society and Environment*. 2(3): 161-174.
- Hink, W. F. & Duffey, T. E. (1990).** Controlling Ticks and Fleas with Linalool. Shirlo Inc., Memphis, TN, assignee. United States Patent No. 4,933,371, June 12, 1990.
- Houël E. (2011).** Etude des substances bioactives issues de la flore amazonienne. Analyse de préparations phytothérapeutiques à base de *Quassia amara* L. (Simaroubaceae) et *Psidium acutangulum* D.C. (Myrtaceae) utilisées en Guyane Française pour une indication antipaludique. Identification et analyse métabolique d'huiles essentielles à activité antifongique. Thèse de doctorat en chimie des substances. Université des Antilles et de la Guyane. 220p.
- Huang, Y., Tan, J.M.W.L., Kini, R.M. & Ho, S.H. (1997).** Toxic and antifeedant action of nutmeg oils against *Tribolium castaneum* Herbst and *Sitophilus zeamais* Motsch. *Journal of Stored Products Research*. 33 : 289-298.
- Huang, Y. & Ho, S.H. (1998).** Toxicity and antifeedant activities of cinamaldehyde against the grain storage insects. *International Pest Control*. 39 : 50-51.
- Huang, Y., Chen, S.X. & Ho, S.H. (2000).** Bioactivities of methyl allyl disulfide and diallyl trisulfide from essential oil of garlic to two stored product pests, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology*. 93 (2) : 537-543.

-I-

- Ibrahim, M.A., Kainulainen, P., Aflatuni, A., Tilikkala, K. & Holopainen, J.K. (2001).** Insecticidal, repellent antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: with special reference to limolene and its suitability for control of insect pests. *Agricultural and Food Science in Finland*. 10 (3) : 243-259.

-K-

- Kaufmann, C. & Briegel, H. (2004).** Flight performance of the malaria vectors *Anopheles gambiae* and *Anopheles atroparvus*. *Journal of the Society for Vector Ecology*. 29(1): 140-153.
- Keely, L.L. (1985).** Physiology and biochemistry of Fat body, pp. 211-248. In GA Kerkut & L. I. Gilbert (eds): *Comprehensive Insect Biochemistry, physiology and pharmacology*, vol. 3, Pergamon Press, Oxford. 181.
- Kellouche, A. (2005).** Etude de la bruche du pois chiche, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse. Doc d'état. Univ. Tizi-Ouzou, Algérie. 154p
- Khosravi, R., Sendi, J. J., Ghadamyari, M. & Yezdani, E. (2011).** Effect of sweet worm wood *Artemisia annua* crude leaf extracts on some biological and physiological characteristics of the lesser mulberry pyralid, *Glyphodes pyloalis*. *Journal of Insect Science*. 11(1).
- Kilby, B.A. (1963).** The biochemistry of the insect Fact. *Advances in Insect Physiology*. 1:112-174.
- Klowden, M.J. (2007).** *Physiological systems in insects*. Elsevier, Academic Press, Amsterdam, 688.
- Ko, K., Waraporn, J. & Angsumarn, C. (2009).** Repellency, fumigant and contact toxicities of *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Kasetsart Journal*. 43 : 56 - 63.
- Koul, O., Walia, S. & Dhaliwal, G. S. (2008).** Essential oils as green pesticides : Potential and constraints. *Biopesticides International*. 4(1): 63-84

-L-

- Lavigne, R.J. (1991).** Stored grain insects in underground storagepits in Somalia and their control. *Insect Science and its Application*. 12 (5-6) : 571-578.
- Lepesme, P. (1944).** *Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés*. Paul Lechevalier éditeur, Paris, 336 p.

Lepiger, A. (1966). La Désinsectisation des stocks de céréales. 1^{ère} édition. Paris : Offinter prof des céréales, 406p.

Lohar, M. K. & Wright, D. J. (1993). Changes in the lipid content in haemolymph, fat body and oocytes of malathion treated *Tenebrio molitor* L. Adult females. Pakistan Journal of Zoology. 25: 57-57.

-M-

Maganga, M. E., Gries, G. & Gries, R. (1996). Repellency of various oils and pine oil constituents to house flies (Diptera: Muscidae). Environ. Entomol. 25:1182-1187.

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

McDonald, 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.

Mediouni-Benjemâa J., Haouel, S., Bouaziz, M. & Khoujam, L. (2012). Seasonal variations in chemical composition and fumigant activity of five Eucalyptus essential oils against threemoth pests of stored dates in Tunisia. Journal of Stored Product and Research. 48: 61-67.

Mishra, B.B. & Tripathi, S.P. (2011). Repellent activity of plant derived essential oils against *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) and *Tribolium castaneum* (Herbst). Singapore Journal of Scientific Research. 1: 173-178.

Mojarab-Mahboubkar, M., Sendi, J. J. & Aliakbar, A. (2015). Effect of *Artemisia annua* L. essential oil on toxicity, enzyme activities, and energy reserves of cotton bollworm *Helicoverpa paarmigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae). Journal of Plant Protection Research. 55(4): 371- 377.

Mordue, L. A. J., Morgan, E. D., Nusbet, A. J. (2005). Azadiractin, a natural product in insect control. Comprehensive Molecular Insect Science. Elsevier. 6 : 117-135.

Moretto, A. & Lotti, M. (1998). Poisoning by organophosphorus insecticides and sensory neuropathy. Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry. 64 (4) : 463-468.

Mundi, A. D. & Alhassan, U. (2012). Preliminary determination of phytochemicals in some plant seed powders that are effective in controlling storage bruchid of *Bambara groundnut*. International Journal of Science and Advanced Technology. 2(9): 54-59.

-N-

Nation, J.L. (2008). Insect physiology and biochemistry, 2nd ed. CRC Press, London

Ndomo, A.F., Tapondjou, A.L., Tendonkeng, F., Tchouanguép, F.M. (2009). Evaluation des propriétés insecticides de feuilles de *Callistemon oviminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera ; Bruchidae). Tropicultura. 27(3): 137-143.

Negahban, M., Moharramipour, S. & Sefidkon, F. (2007). Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. Journal of Stored Products Research. 43(2): 123- 128.

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.

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

Nikooei, M. & Moharramipour, S. (2011). Fumigan toxicity and repellency effects of Essential oil of *Salvia mirzayanii* on *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium confusum*. Journal of Entomological Society of Iran. 30: 17-30.

-O-

Obeng-Ofori, D., Reichmuth, C., Bekele, A. & Hassanali, A. (1998). Toxicity and protectant potential of camphor, a major component of essential oil of *Ocimum kilimandscharicum* against four stored product beetles. International Journal of Pest Management. 44(4): 203-209.

Ojmelukwe, P.C. & Adler, C. (1999). Potential of Zimtaldehyde, 4-allyl-anisol, linalool, terpineol and other phytochemicals for the control of confused flour beetle (*Tribolium confusum*) (Col; Tenebrionidae). Journal of Pesticide Science. 72: 81-86.

-P-

- Park, S.N., Lim, Y.K., Freire, M.O., Cho, E., Jin, D. & Kook, J.K. (2012).** Antimicrobial effect of linalool and α -terpineol against periodontopathic and cariogenic bacteria. *Anaerobe*. 18 : 369-372.
- Perera, A., Karunaratne, M. & Chinthaka, S. D. M. (2018).** Bioactivity and volatile profiling of *Azadirachta indica* leaves for the management of maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motsch.) infestations. *Journal of Tropical Forestry and Environment*. 8(1): 10-24.
- Perera, A., Karunaratne, M. & Chinthaka, S. D. M. (2016).** Utilization of *Ruta graveolens* and *Azadirachta indica* leaf powders and their binary combinations for the management of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in stored maize in Sri Lanka. *Vidyodaya Journal of Science*. 20(1).
- Phillips, T. W. & Throne, J. E. (2010).** Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology*. 55 : 375-397.
- Prates, H. T., Santos, J. P., Waquil, J. M., Fabris, J. D., Oliveira, 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.
- Preet, S. & Sneha, A. (2011).** Biochemical evidence of efficacy of potash alum for the control of dengue vector *Aedes aegypti* (Linnaeus). *Parasitology Research*. 108(6):1533- 1539.

-R-

- Rambabu, J. P. & Rao, M. B. (1994).** Effect of an organochlorine and three organophosphate pesticides on glucose, glycogen, lipid, and protein contents in tissues of the freshwater snail *Bellamya dissimilis* (Müller). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 53(1): 142-148.
- Regnault-Roger, C., & Hamraoui, A. (1993).** Influence d'huiles essentielles aromatiques sur *Acanthoscelides obtectus* Say, bruche du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Botanica Gallica*. 140(2) : 217-222.
- Regnault-Roger, C. & Hamraoui, A. (1994).** Antifeedant effect of Mediterranean plant essential oils upon *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera) bruchid of kidney beans *Phaseolus vulgaris* L. In: Highly E., Wright E.J., Banks H.J., Champ B.R. Storage product protection (Vol. 2), CAB international, Wallingford (U.K.) : 837-840.

Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. & Vincent, C. (2002). Biopesticides d'origines végétales. Tec & Doc Eds. Paris, 337 p.

Renuga, F. B. & Sahayaraj, K. (2009). Influence of botanicals in total head protein of *Spodoptera litura* (Fab.). Journal of Biopesticides. 2(1): 52-55.

Rodríguez-Ortega, M. J., Grøsvik, B. E., Rodríguez-Ariza, A., Goksøyr, A. & LópezBarea, J. (2003). Changes in protein expression profiles in bivalve molluscs (*Chamaelea gallina*) exposed to four model environmental pollutants. Proteomics: International Edition. 3(8):1535-1543.

Rotimi, O. A., Chris, O. A., Olusola, O. O., Joshua, R. & Josiah, A. O. (2011). Bioefficacy of extracts of some indigenous Nigerian plants on the developmental stages of mosquito (*Anopheles gambiae*). Jordan Journal of Biological Sciences. 4(4): 237-242.

-S-

Sak, O., Uckan, F. & Ergin, E. (2006). Effects of cypermethrin on total body weight, glycogen, protein and lipid contents of *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae). Belgian Journal of Zoology. 136 :53-58.

Sak, O., Uckan, F. & Ergin, E. (2006). Effects of cypermethrin on total body weight, glycogen, protein and lipid contents of *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae). Belgian Journal of Zoology. 136 :53-58.

Sancho, E., Ferrando, M. D., Fernandez, C. & Andreu, E. (1998). Liver energy metabolism of *Anguilla anguilla* after exposure to fenitrothion. Ecotoxicology and Environmental Safety. 41(2) : 168-175.

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

Shibko, S., Koivistoinen, P., Tratnyneck, C., New Hall. & Feidman L. (1966). A method for the sequential quantitative separation and determination of protein, RNA, DNA, lipid and

glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction. *Analytic Biochemistry*. 19: 415-528.

Steele, J.E. (1981). The role of carbohydrate metabolism in physiological function. *Energy Metabolism in Insects*. Springer. 101- 133.

Steele, J.E. (1985). Hormonal modulation of Carbohydrate and lipid metabolism in fat body. *Insect Biology in future*, Academic Press. 253-271.

Stejskal, V., Hubert, J., Kučerová, Z., Munzbergová, Z., Lukáš, J. & Ždárková, E. (2003). The influence of the type of storage on pest infestation of stored grain in the Czech Republic. *Plant Soil Environment*. 49 (2): 55-62.

-T-

Taleb-Toudert, K. (2015). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leurs effets sur le bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de Doctorat d'Etat en Science Biologique. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. 160p.

Tarigan, S.I., Dadang, D. & Sakti Harahap, I. (2016). Toxicological and physiological effects of essential oils against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Biopesticides*. 9(2):135-147.

Tchoumboungang, F. (1997). Contribution à la détermination des teneurs, des caractéristiques chimiques et des activités antifongiques des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques, condimentaires et médicinales du Cameroun. Thèse de Doctorat 3ème Cycle en Biochimie. Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I (Cameroun), 270 p.

Thongdon, A. J. & Inprakhon, P. (2009). Composition and biological activities of essential oils from *Limnophila geoffrayi* Bonati. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 25: 1313-1320.

Tine, S., Halaimia, A., Chechoui, J. & Tine-Djebbar, F. (2017). Fumigant toxicity and repellent effect of azadirachtin against the lesser grain beetle, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Col. :Bostrichidae). *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration*. 399-401.

Tunç, I., Berger, B.M., Erler, F. & Dagli, F. (2000). Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored product insects. *Journal of Stored Products Research*. 36 : 161-168.

-V-

Van Hendsen, H.C. & Law, J.H. (1989). An insect transports particulate promotes lipid loading from fat body to lipoprotein. *Journal of Biology and Chemistry*. 264 : 287-292.

Vayias, B. J., Athanassiou, C. G., Milonas, D. N. & Mavrotas, C. (2010). Persistence and efficacy of spinosad on wheat, maize and barley grains against four major stored product pests. *Crop Protection*. 29 : 496-505.

-W-

War, A. R., Paulraj, M. C., Hussain, B., Ahmed, T., War, M. Y. & Ignacimuthu, S. (2014). Efficacy of a combined treatment of neem oil formulation and endosulfan against *Helicoverpa armigera* (Hub). (Lepidoptera : Noctuidae). *International Journal of Insect Science*. 6 :1-7.

Weaver, D.K., Dunkel, F.V., Ntezurubanza, L., Jackson, L.L. & Stock, D.T. (1991). The efficacy of linalool, a major component of freshly-milled *Ocimum canum* Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by certain stored product Coleoptera. *Journal of Stored Product Research*. 27: 213-220.

-Z-

Zamani, S., Sendi, J.J. & Ghadamyari, M. (2011). Effect of *Artemisia Annuum* L. (Asterales :Asteraceae) essential oil on mortality, development, reproduction and energy reserves of *Plodia interpunctella* (Hübner). (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Biopesticides and Biofertilizers*. 2(105): 1-6.

Zibae, A. (2011). Botanical insecticides and their effects on insect biochemistry and immunity, In M. Stoytcheva (ed.), *Pesticides in the modern world-pests control and pesticides exposure and toxicity assessment*. Intech, Paris, France, p 55-68.