



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



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Spécialité : ECOPHYSIOLOGIE ANIMALE

Thème

Effets combinés des molécules bioactives sur un
ravageur des denrées stockées, *Rhyzopertha dominica*

Présenté par :

- Melle. BOUGHRARA Nabiha
- Melle. BOUKOUCHA Bouthaina

Membres de Jury :

Pr. TINE-DJEBBAR Fouzia	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi	Rapporteur
Pr. TINE Samir	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi	Président
Pr. TALEB Salima	U. Echahid Cheikh Larbi Tébessi	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

*Louange à **Allah**, le Miséricordieux, le Tout-Puissant, le Créateur, qui nous accorde la détermination, la patience, le courage et la persévérance et de nous faire entourer par de merveilleuses personnes. Ceux qui nous ont permis d'arriver au bout de nos efforts et de réaliser ce modeste travail.*

*Nos sincères remerciements et notre gratitude au **Professeur TINE-DJEBBAR Fouzia**, pour sa patience, sa disponibilité et la confiance qu'elle nous a accordée. Elle nous a aidés et donné des informations intellectuelles, intéressantes qui nous ont facilité le travail pour la réalisation et la rédaction de notre mémoire.*

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre modeste travail.

*Sans oublier **Professeur Tine Samir** que nous remercions pour ses conseils, et ses efforts et contributions à nos études.*

*Nos plus vifs remerciements vont au **Professeur Taleb Salima** qui a bien voulu accepter d'être membre du jury et de nous faire l'honneur de juger ce travail.*

Ce travail est la récolte de la combinaison d'efforts de plusieurs personnes nous aimerons bien remercier toutes ces personnes de près ou de loin

Merci

Dédicace

Grace à dieu que ce travail a été réalisé

Je dédie a :

A l'âme qui ne me laissera jamais, si je suis la aujourd'hui c'est pour toi

A ma mère, Ta présence aimante a illuminé ma vie, remplissant chaque jour de chaleur et de tendresse. Une maman qui a consacré sa vie à prendre soin de moi, Tu as une façon unique de me comprendre, même lorsque je ne dis pas un mot.

À mon très cher frère

Tu es un exemple pour moi, avec ta détermination, ta générosité, Je suis reconnaissante d'avoir un frère comme toi, qui m'encourage à réaliser mes rêves, qui me pousse à sortir de ma zone de confort et qui me rappelle l'importance de l'amour familial.

A ma chère sœur

Tu as été une source constante de réconfort et de soutien, Tu connais mes forces et mes faiblesses, mes espoirs et mes craintes. Tu es celle qui m'inspire à être courageuse et à affronter les défis de la vie avec détermination.

A mes chers SAMRA & AIMENE

Vous m'avez montré ce que signifie être une véritable ami (e) . Vous avez écouté mes confidences les plus profondes, m'avez encouragé à poursuivre mes rêves et m'avez soutenu dans les moments les plus difficiles

A mon binôme BOUTHAINA Les moments que nous avons partagés ensemble sont des trésors précieux que je chérirai toujours.

À mes amies chères, je vous dédie ces mots avec tout mon amour et toute ma reconnaissance. Je vous aime profondément, et je suis honorée d'avoir des personnes aussi merveilleuses que vous dans ma vie :

NIHEL,ZAINEB, MANEL, HOUDA, DOUNIA, SOUAD, MERIEM ,

NABIHA

Dédicace

À mes chers parents :

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A ma chère mère qui m'a donné l'amour et le courage, je ne peux pas vivre sans toi.

A mon père, tout mon respect.

A ma chère petite sœur Manel et mes chers frères

A ma deuxième sœur Aicha la plus douce

A mes adorables copines : Sana, Roumaïssa, dhouha, Amina, Meriem

A mon petit cœur le petit salouma et ma jolie loudjaine.

A celui qui a rendu mes journées plus belles

Qui a dessiné un sourire sur mon visage.

Sans oublier mon cher binôme NABIHA pour son soutien, sa patience et sa compréhension.

BOUTHAINA

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Liste des Abréviations

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES	Erreur ! Signet non défini.
2.1. Présentation de l'insecte	Erreur ! Signet non défini.
2.2. Collecte et élevage.....	Erreur ! Signet non défini.
2.3. Présentation des molécules bioactives.....	Erreur ! Signet non défini.
2.3.1. Camphre.....	Erreur ! Signet non défini.
2.3.2. Eucalyptol	Erreur ! Signet non défini.
2.3.3. β -Pinène	Erreur ! Signet non défini.
2.4. Traitement et bioessai des molécules bioactives.....	Erreur ! Signet non défini.
2.5. Test de répulsion	Erreur ! Signet non défini.
2.6. Extraction et dosage des constituants biochimiques	Erreur ! Signet non défini.
2.6.1. Dosage des protéines totales	Erreur ! Signet non défini.
2.6.2. Dosage des glucides totaux.....	Erreur ! Signet non défini.
2.6.3. Dosage des lipides totaux.....	Erreur ! Signet non défini.
2.7. Dosage des biomarqueurs physiologiques.....	Erreur ! Signet non défini.
2.7.1. Dosage de la Phosphatase alcaline (PAL)	Erreur ! Signet non défini.
2.7.2. Dosage de l'Aspartate Aminotransférase (AST).....	Erreur ! Signet non défini.
2.7.3. Dosage de l'Alanine Aminotransférase (ALT).....	Erreur ! Signet non défini.
2.7.4. Dosage des Triglycérides.....	Erreur ! Signet non défini.
2.8. Dosage des biomarqueurs enzymatiques.....	Erreur ! Signet non défini.
2.8.1. Dosage des Estérases.....	Erreur ! Signet non défini.
2.8.2. Dosage de l'Acétylcholinestérase	Erreur ! Signet non défini.

2.9. Analyses statistiques.....	Erreur ! Signet non défini.
III. RESULTATS	7
3.1. Essais toxicologiques à l'égard de <i>R. dominica</i>.....	7
3.1.1. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène	7
3.1.2. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre.....	8
3.1.3. Toxicité de la combinaison, Camphre et β -pinène	10
3.1.4. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène	11
3.2. Effet répulsif des molécules bioactives	13
3.3. Effet du traitement sur la composition biochimique	15
3.4. Effet du traitement sur les biomarqueurs physiologiques.....	16
3.5. Effet du traitement sur les biomarqueurs enzymatiques.....	17
IV. DISCUSSION.....	20
4.1. Toxicité des molécules bioactives.....	20
4.2. Effet répulsif des traitements	21
4.3. Effet des traitements sur la composition biochimique	21
4.3.1. Effet du traitement sur les protéines.....	22
4.4. Effet du traitement sur les biomarqueurs physiologiques.....	23
4.5. Effet du traitement sur les biomarqueurs enzymatiques.....	24
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	28
VI. RESUME.....	30
VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du Camphre.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques d'Eucalyptol.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 3. Concentrations des combinaisons des molécules bioactives appliquées sur les adultes de *Rhyzopertha dominica*.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4. Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald *et al.* (1970)..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 5. Dosage de protéines totales chez les adultes de *R. dominica* : réalisation de la gamme d'étalonnage.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 6. Dosage des glucides totaux chez les adultes *R. dominica* : réalisation de la gamme d'étalonnage.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 7. Dosage des lipides totaux chez les adultes de *R. dominica* : réalisation de la gamme d'étalonnage.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 8. Effet de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène ($\mu\text{l/L}$ d'air) sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey. 7

Tableau 9. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits. 8

Tableau 10. Effet de la combinaison, Eucalyptol et Camphre ($\mu\text{l/L}$ d'air) sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey. 9

Tableau 11. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits. 9

Tableau 12. Effet de la combinaison, Camphre et β -pinène ($\mu\text{l/L}$ d'air) sur les adultes de <i>R. dominica</i> à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	10
Tableau 13. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée sur les adultes de <i>R. dominica</i> : analyse des probits.	11
Tableau 14. Effet de la combinaison, Eucalyptol, β -pinène et Camphre ($\mu\text{l/L}$ d'air) sur les adultes de <i>R. dominica</i> à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.	12
Tableau 15. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliquée sur les adultes de <i>R. dominica</i> : analyse des probits.	12
Tableau 16. Pourcentages (PR) et classes (CR) de répulsion des traitements testés sur les adultes de <i>R. dominica</i>	14

Liste des Figures

Liste des Figures

- Figure 1.** Dégâts causés par *Rhyzopertha dominica*(Photos personnelles).**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 2.** Adulte de *R. dominica* (Photos personnelles).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 3.** Camphre (Photo personnelle).**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 4.** Eucalyptol (Photo personnelle).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 5.** β -Pinène (Photo personnelle).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 6.** Essais toxicologiques par Fumigation(Photos personnelles)....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 7.** Test de répulsion (Photos personnelles).**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 8.** Extraction des protéines, glucides, et lipides totaux selon Shibko *et al.* (1967)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 9.** Kit de la Phosphatase Alcaline (photo personnelle).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 10.** Kit de TGO (AST) (Photo personnelle).**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 11.** Kit de TGP (ALT) (Photo personnelle).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 12.** Kit Triglycéride (GPO POD) (Photo personnelle).....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 13.** Effet de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses. 8
- Figure 14.** Effet de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses. 9
- Figure 15.** Effet de la combinaison, Camphre et β -pinène appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses. 11

Figure 16. Effet de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliquée par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.	12
Figure 17. Effets combinés (CL ₂₅ et CL ₅₀) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur le contenu en protéines (A), glucides (B) et lipides (C) (μ g/individu) chez les adultes de <i>R. dominica</i> ($m \pm SEM$, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.	16
Figure 18. Effets combinés (CL ₂₅ et CL ₅₀) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur les biomarqueurs physiologiques : PAL (A), TGP (B), TGO (C) et Triglycérides (D) chez les adultes de <i>R. dominica</i> ($m \pm SEM$, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.....	17
Figure 19. Effets combinés (CL ₂₅ et CL ₅₀) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur l'activité des biomarqueurs enzymatiques : α -Estérase (A), β -Estérase (B) (U/mg de protéines), et Acetylcholinestérase (C) (μ M/min/mg de protéines) chez les adultes de <i>R. dominica</i> ($m \pm SEM$, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.	18

Liste des

Abréviations

Abréviations	
OMS	Organisation mondiale de la Santé
CL₂₅	CL25 : Concentration létale 25
CL₅₀	CL50 : Concentration létale 50
TGP	Glutamate-Pyruvate Transaminase
TGO	Glutamate-Oxaloacétate Transaminase
AChE	Acetyl Choline Esterase
mm	Millimetre
°C	Degré Celsius
%	Pourcentage
min	Minute
OAIC	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
g/mol	Gramme par mole
µl /l	Microlitre par litre
cm	Centimètre
ml	Millilitre.
g	Gramme
H	Heure
µl/ml	Microlitre par millilitre
PR	Pourcentage de repulsion
BCC	Bleu brillant de coomasie.
nm	Nanomètre
BSA	Albumine de sérum de boeuf
Mg/ml	Miligramme par millilitre
S	Seconde
Trs/min	Tours/minute.
PAL	Phosphatase Alcaline
ALT	Alanine amino transférase
AST	Aspartate amino transférase
GOP	Glycérol-3-phosphate-oxydase
POD	Peroxydase
H₂O₂	Peroxyde d'hydrogène.
O₂	Dioxygene
ATP	Adénosine triphosphate
ADP	Adénosine diphosphate
NADH	Hydrure de nicotinamide adénine dinucléotide
NAD	Nicotinamide adénine dinucléotide
H₂O	Monoxyde de dihydrogène
(1V/1V)	deux solutions avec le même volume
β-NA	Acétate de β-naphtyle
α-NA	Acétate de α-naphtyle
DTNB	5,5-dithio-bis-(acide 2-nitrobenzoïque
DO	Densité optique
PH	Potentiel hydrogène.
Ach	Acetylcholine
P	Coefficient de signification
n	Nombre de répétitions
R²	R-Square
TG	Tryglyceride
HSL	Lipase hormono-sensible
EST	Esterase
HE	Huile Essentielle

I ntroduction

I. INTRODUCTION

Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système agricole mondial et plus particulièrement dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slamaet *al.*, 2005).

Pour cela, le stockage est une technique indispensable pour assurer un équilibre entre la récolte une fois dans l'année et la consommation qui est permanente (Waongoet *al.*, 2013).

Malheureusement ; durant cette période, les céréales subissent des agressions d'origine abiotiques (température, humidité) et biotiques (insectes, micro-organismes) entraînant une altération de leurs qualités agronomiques et organoleptiques (Ndiaye, 1999).

Les dégâts les plus importants sont infligés par différentes espèces d'insectes et d'acariens (Fleurat-Lessard *et al.*, 1994). Le petit capucine des grains de blé, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) est parmi les insectes les plus redoutables qui affectent les stocks, c'est un ravageur primaire originaire des régions tropicales. Les larves et les adultes de ce Coléoptère peuvent causer des pertes importantes des grains en réduisant leur qualité et/ou leur quantité (Balachowsky, 1962).

Différentes méthodes de lutte ont été mises en évidence pour éliminer ces insectes, il s'agit entre autres de la lutte physique, mécanique, biologique, et de la lutte chimique (Dauguet *et al.*, 2006).

Cette dernière consiste à utiliser des insecticides de contact tels que les organochlorés, les organophosphorés et les pyréthriinoïdes ou des fumigants comme le bromure de méthyle et le tétrachlorure de carbone (Appert, 1985). Cependant, l'application mal conduite de ces derniers a provoqué de sérieux inconvénients, notamment l'apparition d'insectes résistants, l'intoxication des consommateurs et un impact négatif sur l'environnement (Pretty & Hine, 2005).

Face à cette situation, la recherche de méthodes alternatives de protection des denrées stockées, non polluantes, moins nocives et plus raisonnables s'avère nécessaire (Camara, 2009). Les huiles essentielles et leurs constituants ont fait l'objet de nombreuses études au niveau de notre laboratoire (Guettal, 2021 ; Sayada *et al.*, 2020, 2021 ; Tine-Djebbare *et al.*, 2023 ; Tine *et al.*, 2023). Leur toxicité s'exprime de différentes manières : activités ovicide, larvicide (Kéïta *et al.*, 2000

; Regnault-Roger, 2002), perturbation de la croissance (Pavela,2004b) et diminution de la fécondité et de la fertilité (Pavela, 2005).

Dans ce contexte, notre étude a été consacrée dans **une première partie** à l'évaluation de la toxicité par fumigation et du potentiel de répulsion des combinaisons des molécules bioactives ; l'Eucalyptol, le Camphre et le β -Pinène sur les adultes de *Rhyzopertha dominica*.

La deuxième partie examine les effets létaux (CL_{25} et CL_{50}) des molécules bioactives sur les réserves énergétiques (protéines, glucides et lipides) chez cette espèce.

La troisième partie vise à déterminer l'effet de ces molécules sur les biomarqueurs physiologiques tels que la Glutamate-Pyruvate Transaminase (TGP), la Glutamate-Oxaloacétate Transaminase (TGO), triglycéride et phosphatase alcaline chez les adultes de *R. dominica*.

La quatrième partie examine les effets létaux (CL_{25} et CL_{50}) de ces molécules bioactives sur un biomarqueur de neurotoxicité, l'acétylcholinestérase (AChE) et un biomarqueur de détoxication, les estérases.

***Matériel et
Méthodes***

Résultats

III. RESULTATS

3.1. Essais toxicologiques à l'égard de *R. dominica*

3.1.1. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène

Différentes concentrations de la combinaison (Eucalyptol et β -pinène) ont été appliquées sur les adultes de *R. dominica* par fumigation (3,33 ; 6,66 ; 10 et 13,33 μ L/d'air)

Les mortalités corrigées enregistrées au cours des tests de toxicité par fumigation varient de 22,85% à 24h jusqu'à 42,85% à 72h pour la dose la plus faible (3,33 μ L) et de 72,85% à 24h jusqu'à 98,57% à 72h pour la dose la plus forte (13,33 μ L) (**Tableau 8**).

Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *R. dominica* traité par fumigation à 24h ($F_{3, 24} = 82,97$; $P < 0,0001$), à 48h ($F_{3, 24} = 176,3$; $P < 0,0001$), et à 72h ($F_{3, 24} = 207,9$; $P < 0,0001$).

Les résultats montrent que la combinaison (Eucalyptol + β -Pinène) appliquée par fumigation exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *R. dominica*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 24, 48 et 72h pour les mortalités obtenues par fumigation.

La courbe dose-réponse exprimant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (**Fig. 13**) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le Hill Slope (**Tableau 9**).

Tableau 8. Effet de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène (μ L d'air) sur les adultes de *R.*

dominica à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm SEM$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Combinaison	Temps	3,33 μ L	6,66 μ L	10 μ L	13,33 μ L
E + B	24h	22,85 \pm 4,08 a	35,71 \pm 6,53 b	57,14 \pm 6,12 c	72,85 \pm 4,08 d
	48h	25,71 \pm 4,89 a	44,28 \pm 4,89 b	67,14 \pm 6,12 c	91,42 \pm 2,44 d
	72h	42,85 \pm 4,08 a	58,57 \pm 4,89 b	75,71 \pm 4,89 c	98,57 \pm 2,44 d

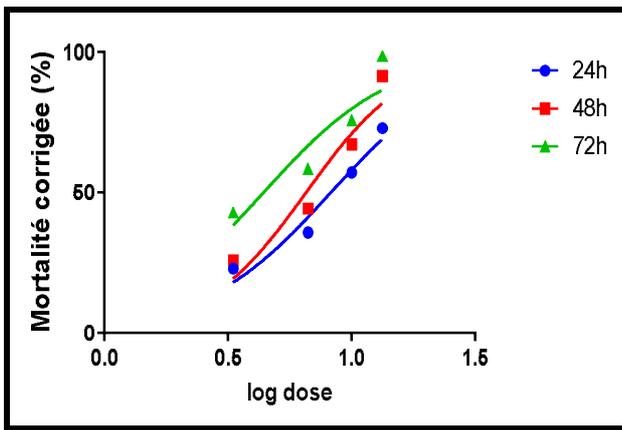


Figure 13. Effet de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 9. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et β -Pinène appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits.

Traitement	Temps	R ²	HillSlope	CL ₂₅ IC (95%)	CL ₅₀ IC (95%)	CL ₉₀ IC (95%)
Fumigation E + B	24h	0,95	1,66	4,26 (0,87 - 7,20)	8,24 (5,33 - 13,44)	30,83 (14,57 - 84,43)
	48	0,92	2,10	3,88 (0,00 - 8,01)	6,54 (1,04 - 11,81)	18,57 (8,46 - 23,08)
	72	0,85	1,67	2,28 (1,12 - 6,30)	4,40 (2,35 - 8,96)	16,36 (9,15 - 18,66)

3.1.2. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre

Différentes concentrations de la combinaison, Eucalyptol et Camphre ont été appliquées sur les adultes de *R. dominica* par fumigation (8,33, 16,66, 25 et 33,33 μ l/l d'air).

Les mortalités corrigées varient de 17,14 % à 24h jusqu'à 41,43 % à 72h pour la dose la plus faible (8,33 μ l/l) et de 97,14 % à 24h jusqu'à 100,00 % à 72h pour la dose la plus forte (33,33 μ l/l) (**Tableau 10**).

Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *R. dominica* à 24h ($F_{3, 24} = 207,9$; $P < 0,0001$), à 48h ($F_{3, 24} = 138,6$; $P < 0,0001$), et à 72h ($F_{3, 24} = 157,5$; $P < 0,0001$).

Les résultats montrent que la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée par fumigation exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *R. dominica*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 24h et 3 groupes à 48 et 72h.

La courbe dose-réponse exprimant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (**Fig.14**) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le HillSlope(**Tableau 11**).

Tableau 10. Effet de la combinaison, Eucalyptol et Camphre (μL d'air) sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Combinaison	Temps	8,33 μL	16,66 μL	25 μL	33,33 μL
E + C	24h	17,14 \pm 6,12a	45,71 \pm 4,90 b	77,14 \pm 6,12 c	97,14 \pm 4,08 d
	48h	30,00 \pm 5,71 a	68,57 \pm 7,76 b	95,71 \pm 4,90 c	100,00 \pm 0,00 c
	72h	12,11 \pm 7,35 a	72,86 \pm 6,12 b	100 \pm 0,00 c	100,00 \pm 0,00 c

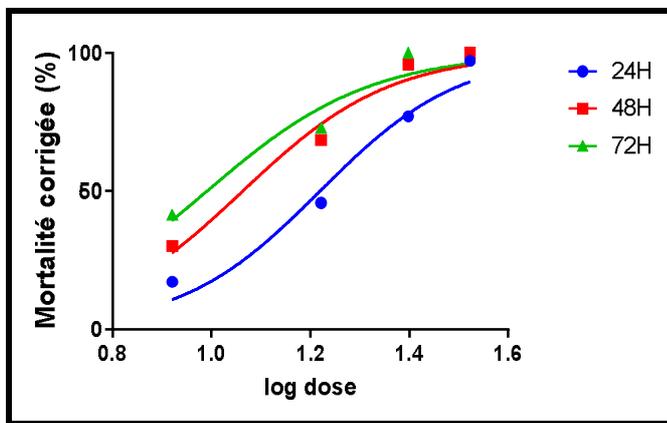


Figure 14. Effet de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 11. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits.

Traitement	Temps	R ²	HillSlope	CL ₂₅ IC (95%)	CL ₅₀ IC (95%)	CL ₉₀ IC (95%)
E + C	24h	0,96	3,08	11,61 (4,31 - 18,28)	16,58 (10,26 - 22,56)	33,81 (20,15- 112,40)
	48h	0,97	2,91	7,93 (3,32 - 13,45)	11,57 (7,293 - 16,01)	24,60 (13,06 - 55,15)
	72h	0,94	2,63	6,45 (0,40 - 11,74)	9,79 (2,25 - 15,10)	22,54 (15,26- 120,20)

3.1.3. Toxicité de la combinaison, Camphre et β -pinène

Différentes concentrations (50, 100, 166,66 et 200 $\mu\text{l/L}$ d'air) de la combinaison, Camphre et β -pinène ont été appliquées sur les adultes de *R. dominica* par fumigation.

Les mortalités corrigées varient de 15,71 % à 24h jusqu'à 32,85 % à 72h pour la dose la plus faible (50 $\mu\text{l/l}$) et de 100 % à 24h, 48h et 72h pour la dose la plus forte (200 $\mu\text{l/L}$) (**Tableau 12**).

Ces mortalités augmentent de façon significative en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *R.dominica* à 24h ($F_{3, 24} = 314,0$; $P < 0,0001$), à 48h ($F_{3, 24} = 233,3$; $P < 0,0001$), et à 72h ($F_{3, 24} = 97,11$; $P < 0,0001$).

Les résultats montrent que la combinaison, Camphre et β -pinène appliquée par fumigation exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *R.dominica*. Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 24, 48 et 72h.

La courbe dose-réponse exprimant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (**Fig.15**) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le HillSlope (**Tableau 13**).

Tableau 12. Effet de la combinaison, Camphre et β -pinène ($\mu\text{l/L}$ d'air) sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm \text{SEM}$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Combinaison	Temps	50 $\mu\text{l/L}$	100 $\mu\text{l/L}$	166,66 $\mu\text{l/L}$	200 $\mu\text{l/L}$
C + B	24h	15,71 \pm 4,89a	35,71 \pm 4,89b	70,00 \pm 5,71 c	100,00 \pm 0,00 d
	48h	28,57 \pm 4,89a	45,71 \pm 4,89b	78,57 \pm 4,89 c	100,00 \pm 0,00 d
	72h	32,85 \pm 8,97a	60,00 \pm 5,71b	85,71 \pm 6,53 c	100,00 \pm 0,00 d

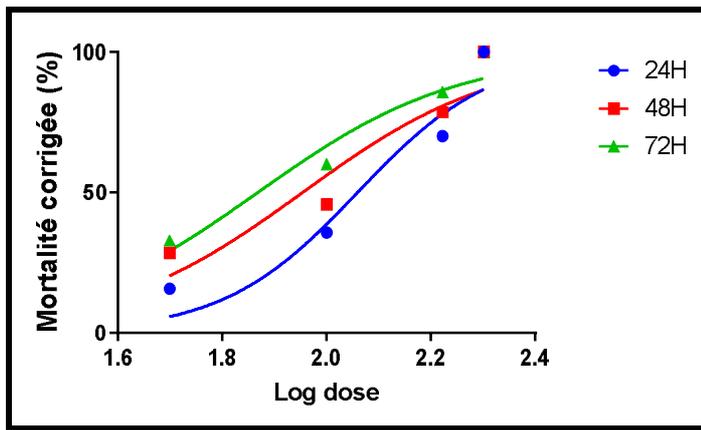


Figure 15. Effet de la combinaison, Camphret β -pinène appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 13. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol et Camphre appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits.

Traitement	Temps	R ²	HillSlope	CL ₂₅ IC (95%)	CL ₅₀ IC (95%)	CL ₉₀ IC (95%)
C + B	24h	0,91	3,35	82,60 (0,10- 166,70)	114,60 (17,67 - 237,70)	220,40 (105,20- 408,79)
	48h	0,88	2,32	56,02 (27,26 -77,50)	89,90 (35,22- 164,20)	231,60 (95,23 - 305,67)
	72h	0,94	2,26	45,46 (3,324 -65,35)	73,78 (21,84 - 116,50)	194,3 (83,70 -283,90)

3.1.4. Toxicité de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène

Différentes concentrations de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène ont été appliquées sur les adultes de *R. dominica* par fumigation (5, 10, 15 et 20 μ l/l d'air).

Les mortalités corrigées varient de 17,14% à 12h jusqu'à 41,42 % à 48h pour la dose la plus faible (5 μ l/L) et de 54,28 % à 12h jusqu'à 95,71 % à 48h pour la dose la plus forte (20 μ l/L) (**Tableau 14**).

Ces mortalités augmentent significativement en fonction des doses appliquées et du temps après traitement chez *R. dominica* à 12h ($F_{3, 24} = 72,84$; $P < 0,0001$), à 24h ($F_{3, 24} = 33,76$; $P < 0,0001$), et à 48h ($F_{3, 24} = 82,54$; $P < 0,0001$).

Les résultats montrent que la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliquée par fumigation exerce une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de *R. dominica*.

Le classement des doses par le test HSD de Tukey révèle l'existence de 4 groupes de moyennes à 12h, 24h et 48h.

La courbe dose-réponse exprimant les pourcentages de mortalité en fonction du logarithme des doses appliquées (**Fig.16**) a permis l'estimation des concentrations létales (CL) ainsi que leurs intervalles de confiance et le HillSlope(**Tableau 15**).

Tableau 14. Effet de la combinaison, Eucalyptol, β -pinène et Camphre (μ /L d'air) sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Mortalité corrigée (%) ($m \pm SEM$, $n=7$ répétitions de 10 individus chacune) : test HSD de Tukey.

Combinaison	Temps	5 μ /L	10 μ /L	15 μ /L	20 μ /L
E + B + C	12h	17,14 \pm 4,08a	32,85 \pm 4,08b	38,57 \pm 2,44b	54,28 \pm 4,89 c
	24h	28,57 \pm 4,90a	42,86 \pm 4,08b	48,57 \pm 5,31b	64,29 \pm 4,90 c
	48h	41,42 \pm 4,89a	71,42 \pm 7,34b	84,28 \pm 4,89c	95,71 \pm 4,89 d

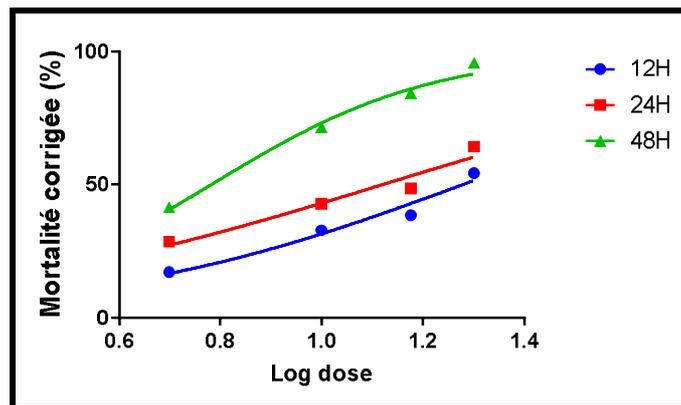


Figure 16. Effet de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliquée par fumigation sur les adultes de *R. dominica* à différentes périodes : Courbe dose-réponse exprimant le pourcentage de mortalité corrigée en fonction du logarithme des doses.

Tableau 15. Efficacité de la combinaison, Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliquée sur les adultes de *R. dominica* : analyse des probits.

Traitement	Temps	R ²	HillSlope	CL ₂₅ IC (95%)	CL ₅₀ IC (95%)	CL ₉₀ IC (95%)
E + C + B	12	0,95	1,20	7,65 2,78 - 11,37	19,02 13,99 - 49,27	117,30 42,03 - 306,6
	24	0,94	1,01	4,45 0,15 - 8,24	13,20 8,288 - 32,03	115,90 37,09 - 361,65
	48	0,98	1,99	3,49 1,82 - 4,86	6,05 4,347 - 7,539	18,23 12,27 - 32,14

3.2. Effet répulsif des molécules bioactives

Les résultats du pouvoir répulsif des combinaisons, Eucalyptol, β -pinène et Camphre en mixture binaire et tertiaire à l'égard des adultes de *R. dominica* sont présentés dans le **Tableau 16**. Le pourcentage de répulsion marque une augmentation en fonction des concentrations appliquées. Les forts taux de répulsion sont observés à 24 h avec la plus forte concentration (12 μ l/ml), 95% pour la combinaison, Eucalyptol + Camphre et 90 % pour la combinaison, Eucalyptol + β -pinène et 85% pour la combinaison, β -pinène + Camphre. Par ailleurs, la combinaison, Eucalyptol + β -pinène + Camphre, induit un fort taux de répulsion (95%) à 24 h avec la plus forte concentration (8 μ l/ml). Ces pourcentages augmentent avec le temps d'exposition et avec les concentrations appliquées.

De plus, on note que cette activité varie selon le traitement appliqué, les fortes valeurs sont constatées avec la combinaison, Eucalyptol + Camphre et la combinaison, Eucalyptol + Camphre + β -pinène.

Concentrations	Temps	Eucalyptol + Camphre		Eucalyptol + β -pinène		Camphre + β -pinène		Concentrations	Temps	Eucalyptol + β -pinène + Camphre	
		PR%	CR	PR%	CR	PR%	CR			PR%	CR
4 μ l/ml	30min	10	I	10	I	15	I	2 μ l/ml	30min	20	I
	1h	20	I	15	I	25	II		1h	25	II
	3h	25	II	20	I	30	II		3h	30	II
	6h	30	II	30	II	35	II		6h	35	II
	12h	35	II	35	II	40	II		12h	50	III
	24h	40	II	40	II	45	III		24h	60	III
6 μ l/ml	30min	30	II	25	II	25	II	4 μ l/ml	30min	35	II
	1h	35	II	35	II	45	III		1h	40	II
	3h	45	III	40	II	50	III		3h	50	III
	6h	55	III	55	III	55	III		6h	60	III
	12h	65	IV	60	III	60	III		12h	65	IV
	24h	70	IV	65	IV	70	IV		24h	75	IV
12 μ l/ml	30min	65	IV	55	III	45	III	8 μ l/ml	30min	50	III
	1h	70	II	60	III	60	III		1h	65	IV
	3h	75	IV	75	IV	65	IV		3h	70	IV
	6h	85	V	80	V	70	IV		6h	75	IV
	12h	90	V	85	V	75	IV		12h	80	V
	24h	95	V	90	V	85	V		24h	95	V

Tableau 16. Pourcentages (PR) et classes (CR) de répulsion des traitements testés sur les adultes de *R. dominica*.

3.3.Effet du traitement sur la composition biochimique

L'effet des combinaisons des molécules bioactives a été évalué sur la composition biochimique (glucides, lipides et protéines) chez les adultes de *R. dominica*. Les résultats sont représentés dans les Figures 17A, B et C.

L'application des combinaisons a induit une augmentation significative ($F_{6, 14} = 4,64$; $P=0,0085$) du contenu en protéines. Le test HSD de Tukey révèle 3 groupes de moyennes, un premier groupe constitué des témoins et des traités avec les deux concentrations de la combinaison, E+C et avec la CL₂₅ de la combinaison, E+B, un second groupe formé des traités à la CL₅₀ de la combinaison, E+B et de la CL₂₅ de la combinaison C+B et un dernier groupe composé des traités à la CL₅₀ de la combinaison C+B (**Fig.17 A**).

En ce qui concerne le contenu en glucides, l'application des combinaisons a provoqué une diminution significative ($F_{6, 14} = 320,6$; $P<0,0001$) de ce composé par rapport aux témoins. Le test HSD de Tukey révèle 6 groupes de moyennes, chacun étant composé d'une série, sauf les traités avec les deux concentrations de la combinaison, E+B sont classés dans le même groupe de moyenne (**Fig.17 B**).

Par ailleurs, les résultats du contenu en lipides ont mis en évidence une diminution significative chez les traités par les combinaisons des molécules bioactives par rapport aux témoins ($F_{6, 14} = 403,4$; $P<0,0001$). Le classement des moyennes par le test HSD de Tukey met en évidence 6 groupes de moyennes, chacun étant constitué d'une série, sauf le troisième groupe qui est formé des traités avec la CL₅₀ de la combinaison E+C et la CL₂₅ de la combinaison E+B (Fig.17 C)

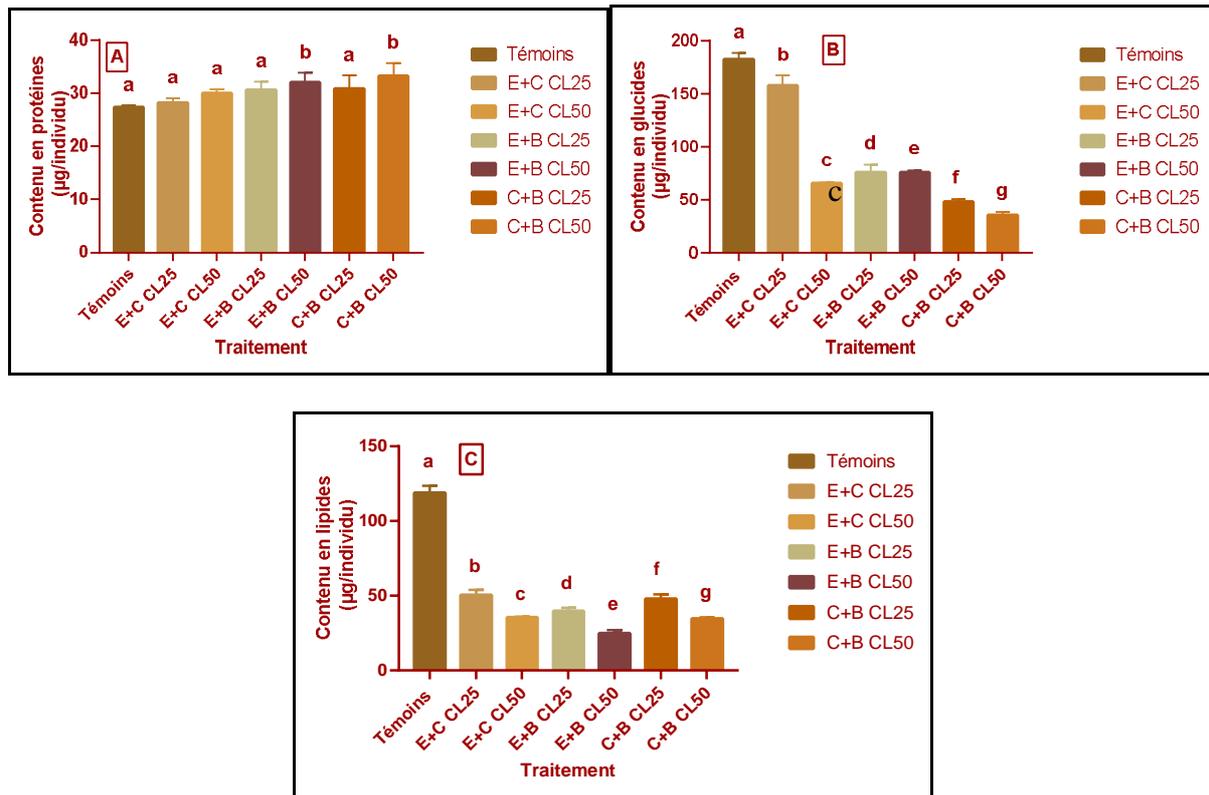


Figure 17. Effets combinés (CL₂₅ et CL₅₀) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur le contenu en protéines (A), glucides (B) et lipides (C) (µg/individu) chez les adultes de *R. dominica* (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.

3.4. Effet du traitement sur les biomarqueurs physiologiques

L'effet combiné des molécules bioactives a été évalué sur l'activité spécifique de quatre biomarqueurs physiologiques à savoir la Phosphatase alcaline (PAL), Alanine aminotransférase (TGP), Aspartate aminotransférase (TGO) et Triglycérides (Tg). Les résultats sont représentés dans les Figures 18 A, B, C et D.

Les résultats obtenus ont révélé une augmentation significative ($F_{6, 14} = 32,84 : P < 0,0001$) de la phosphatase alcaline (PAL) suite au traitement par la combinaison binaire et tertiaire des trois molécules. Le test HSD de Tukey a signalé deux groupes de moyennes. En outre, on remarque que toutes les combinaisons ont presque des effets comparables sur ce biomarqueur (**Fig. 18 A**).

Concernant l'activité de la TGP, nous avons remarqué une augmentation significative ($F_{6, 14} = 4,238 ; P = 0,0122$) au cours du traitement par la combinaison binaire et tertiaire des trois molécules. Le classement des moyennes par le test HSD de Tukey, a mis en évidence 2 groupes. On remarque que les combinaisons, E+B et E+C sont les traitements qui ont plus d'effet sur ce biomarqueur (**Fig. 18 B**).

L'application des molécules bioactives a induit une augmentation significative de l'activité de la TGO ($F_{6, 14} = 62,68 : P < 0,0001$). Le classement des moyennes par le test HSD de Tukey, a mis en

évidence trois groupes. On remarque que les combinaisons C+B et E+B sont les traitements qui ont plus d'effet sur ce biomarqueur (**Fig.18 C**).

Enfin, les résultats de la quantité des triglycérides, révèlent une diminution significative de ce paramètre ($F_{6, 14} = 407,9 : P < 0,0001$) chez les traités par les combinaisons des molécules bioactives. Les moyennes ont été classées par le test HSD de Tukey, et on a constaté 4 groupes. En outre, on remarque que les combinaisons, E+C et C+B sont les traitements qui ont plus d'effet sur ce biomarqueur (**Fig.18 D**).

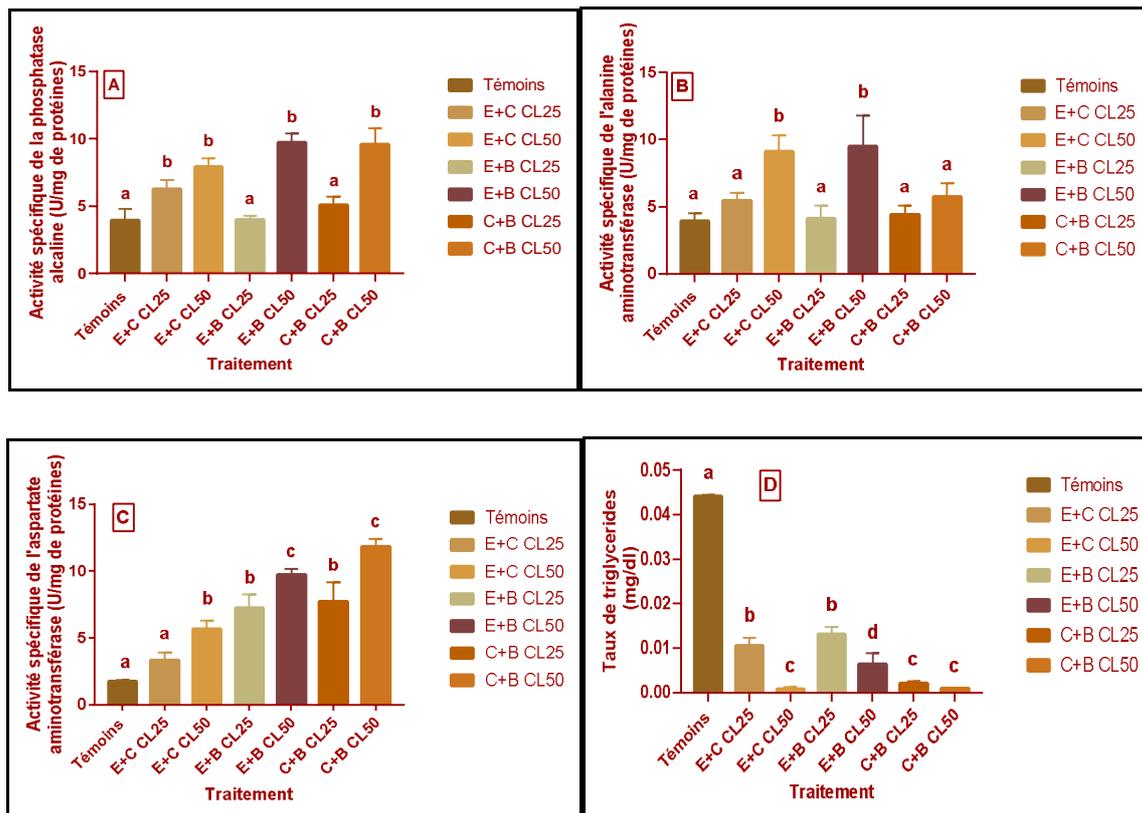


Figure 18. Effets combinés (CL₂₅ et CL₅₀) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur les biomarqueurs physiologiques : PAL (A), TGP (B), TGO (C) et Triglycérides (D) chez les adultes de *R. dominica* ($m \pm SEM$, $n = 3$ répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.

3.5. Effet du traitement sur les biomarqueurs enzymatiques

Les adultes de *R. dominica* ont été traités avec les deux concentrations létales (CL₂₅ et CL₅₀) des molécules bioactives en combinaison binaire et tertiaire. Leurs effets ont été évalués sur l'activité spécifique de trois biomarqueurs enzymatiques à savoir : α -Estérase, β -Estérase, et l'Acétylcholinestérase (AChE) à 72h après traitement. Les résultats sont représentés dans la Figure 19.

Les résultats révèlent une augmentation significative de l'activité α -Estérase ($F_{6,14} = 59,14 : P < 0,0001$) suite au traitement par la combinaison de trois molécules. Le test HSD de Tukey a signalé

4 groupes de moyennes (**Fig.19 A**). La combinaison E+B est le traitement le plus efficace par rapport aux autres traitements.

Concernant l'activité de β -Estérase, on note une augmentation significative de ce biomarqueur de détoxification ($F_{6, 14} = 282,5 : P < 0,0001$) suite au traitement par les combinaisons des molécules bioactives. Aucun effet ($P > 0,05$) n'a été constaté après traitement avec la CL_{25} des combinaisons, E+C et E+B. Le test HSD de Tukey a signalé 4 groupes de moyennes (**Fig.19 B**). De plus, la CL_{50} de la combinaison, E+B est le traitement qui affecte le plus ce biomarqueur.

Enfin, les résultats du biomarqueur de neurotoxicité (Acétylcholinestérase) révèlent une diminution significative ($F_{6, 14} = 73,27 : P < 0,0001$) après traitement avec les combinaisons des molécules bioactives. Le test HSD de Tukey a signalé 3 groupes de moyennes (**Fig.19 C**). La combinaison C+B est le traitement qui a plus d'effet sur ce biomarqueur.

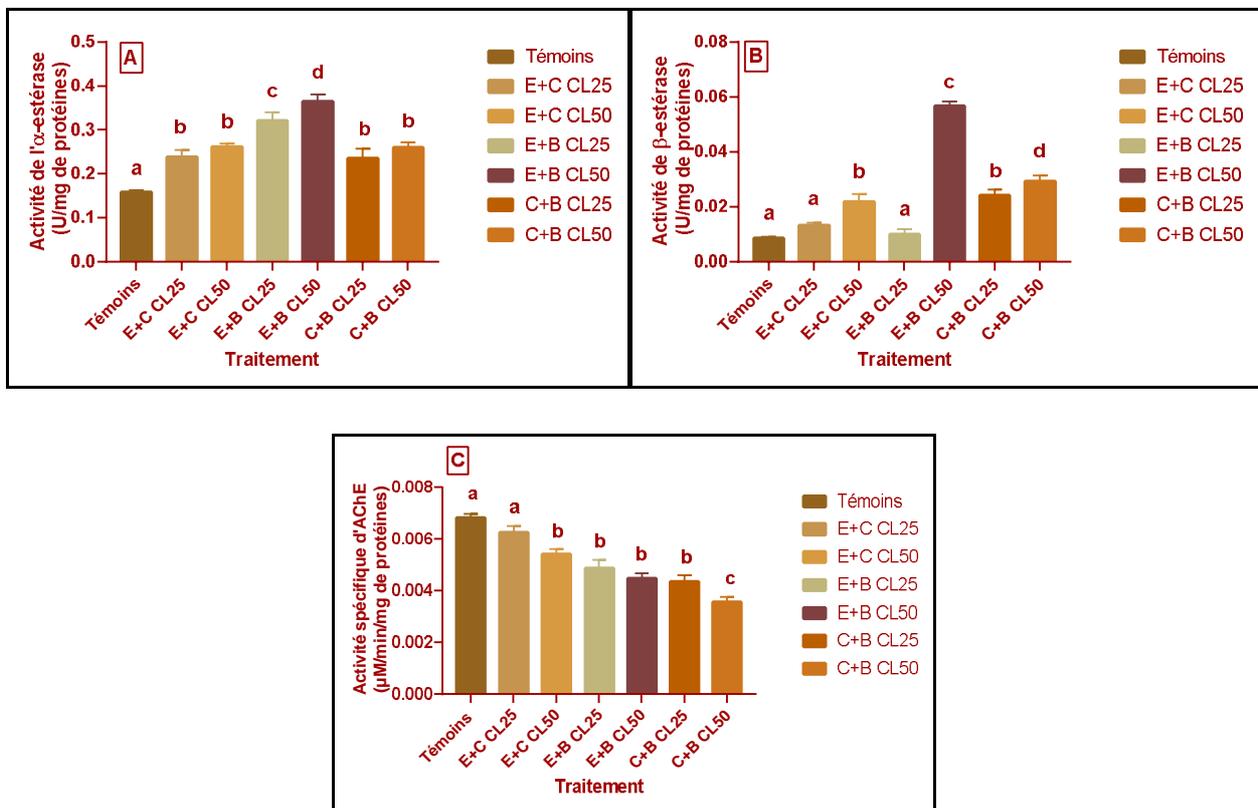


Figure 19. Effets combinés (CL_{25} et CL_{50}) des molécules bioactives appliquées par fumigation sur l'activité des biomarqueurs enzymatiques : α -Estérase (A), β -Estérase (B) (U/mg de protéines), et Acétylcholinestérase (C) (μ M/min/mg de protéines) chez les adultes de *R. dominica* ($m \pm SEM$, $n = 3$ répétitions comportant chacune 10 individus) : test HSD de Tukey.

Discussion

IV. DISCUSSION

4.1. Toxicité des molécules bioactives

La toxicologie est l'étude des effets nocifs des produits chimiques naturels ou synthétiques sur les organismes vivants. Les tests toxicologiques sont utilisés pour tester la sensibilité des organismes vivants aux traitements appliqués dans les activités de contrôle (OMS, 1963) et ils sont nécessaires pour l'évaluation des concentrations létales (CL_{25} et CL_{50}).

L'activité insecticide des huiles essentielles et de leurs composés est bien documentée dans la littérature (Pavela *et al.*, 2009). Ce sont des métabolites secondaires présents dans toutes les parties des plantes et présentent des composés complexes contenant de nombreux éléments qui déterminent les propriétés des huiles essentielles. Parmi ces composants, on trouve des terpènes, des composés aromatiques et aliphatiques. Les principaux terpènes sont les monoterpènes et les sesquiterpènes (Bakkaliet *al.*, 2008 ; Koulet *al.*, 2008).

La plupart des huiles essentielles perturbent la structure de la membrane cellulaire, mais pour certaines, des effets neurotoxiques ont pu être mis en évidence, dus à des interactions avec des neurotransmetteurs tels que le GABA et l'octopamine, ou par inhibition de l'AChE (Huignard, 2013 ; Tirakmetal., 2015). Certaines d'autres peuvent potentialiser l'action d'autres molécules en inhibant les cytochromes P450 qui sont normalement des détoxifiants (Boukhalfa & Rouabah, 2020).

Notre étude a pour le but de tester l'effet combiné de trois molécules bioactives (Eucalyptol, Camphre et β -Pinène) par fumigation à l'égard des adultes de *R. dominica*. Les résultats montrent que les combinaisons binaires et tertiaires de l'Eucalyptol, β -Pinène et Camphre révèlent une activité insecticide avec une relation dose-réponse à l'égard de cette espèce.

Le 1,8-Cinéole ou l'Eucalyptol est reconnu comme le composant majeur et le plus toxique des huiles de nombreuses espèces d'*Eucalyptus* (Batishet *al.*, 2008 ; Elaissiet *al.*, 2011; Kumaret *al.*, 2012; Palacios *et al.*, 2009). C'est un monoterpénoïde volatile et lipophile, et qui peut rapidement pénétrer dans les insectes et interférer avec leurs fonctions physiologiques (Yang *et al.*, 2004). Ce monoterpène a montré une toxicité potentielle par fumigation contre *S. oryzae*, *T. castaneum* et *R. dominica* (Lee *et al.*, 2003). Il a été classé comme le plus toxique ($CL_{50} = 7,4 \mu\text{l/l}$ d'air) suivi de menthone ($CL_{50} = 8,5 \mu\text{l/l}$ d'air) et p-Cymène ($CL_{50} = 11,4 \mu\text{l/l}$ d'air) contre *T. castaneum* (Shaaya *et al.*, 1997). Ajayiet *al.* (2014) ont signalé que le 1,8-Cinéole, le Carvacrol et l'Eugénol peuvent causer une mortalité totale des adultes de *C. maculatus* avec une concentration de $10 \mu\text{l/l}$ d'air après 24 h de fumigation. Les études de Cao *et al.* (2018) ont montré l'effet fumigant du Linalool, du β -Pinène, du 3-Carène, du β -caryophyllène contre *T. castaneum*, *L. serricornis* et *L. bostrychophila*. Rozman *et al.* (2006) ont signalé également l'activité insecticide du 1,8-Cinéole, Camphre et Carvacrol contre *Cryptolestes ferrugineus*.

4.2. Effet répulsif des traitements

La répulsion est un mécanisme de défense adopté par les plantes contre les insectes (Jayakumaret al., 2017). Cette activité physiologique est liée aux principes actifs et aux constituants chimiques (Damalas&Eleftherohorinos, 2011). Les substances répulsives agissent localement ou à distance empêchant un insecte de voler, d'atterrir ou de piquer un animal ou l'Homme (Blackwellet al., 2003; Nerioet al., 2009 ; Ebadollahiet al., 2013). L'efficacité et la durée du pouvoir répulsif des produits chimiques dépendent du type de répulsif (ingrédient actif et formulation), du mode d'application et des conditions locales (température, humidité et vent) (Barnard, 2000).

Nos résultats révèlent le pouvoir répulsif des molécules combinées (Eucalyptol, Camphre et β -Pinène) à l'égard de *R. dominica*. Des résultats similaires ont été constatés chez *R. dominica* (Tine et al., 2017), et chez *Tribolium castaneum* (77,66%) traités avec l'azadirachtine (Hanif et al., 2016), chez *R. dominica* traité avec le Menthol (93,33%) (Tine & Trad, 2022), chez *C. maculatus*, *R. dominica* et *S. oriza* traités avec le 1,8-Cinéole (Aggarwalet al., 2001), chez *T. confusum* traité avec l'HE d'*E. globulus* et l'Eucalyptol (Debab&Mesloub, 2022) et chez *T. granarium* traité avec le Limonène, le Linalool et le Carvone (Moutaz, 2023), chez *R. dominica* traité par le Linalool (Bouchagra&Farhi, 2022), et chez *T. confusum* traité au β -Pinène (Djebaili&Boudjil, 2022). Les monoterpénoïdes ont été considérés parmi les agents qui ont un potentiel de lutte antiparasitaire, car ils sont extrêmement toxiques contre les insectes des denrées stockées et possèdent des propriétés répulsives (Watanabeet al., 1993).

4.3. Effet des traitements sur la composition biochimique

Les huiles essentielles et leurs composants interfèrent avec plusieurs fonctions métaboliques, biochimiques, physiologiques et comportementales des insectes (Mann & Kaufman, 2012). Elles peuvent entraîner des perturbations biochimiques exprimées par une augmentation ou une diminution des différents métabolites (Gnanamani&Dhanasekaran, 2017).

Les composés toxiques à des concentrations sublétales peuvent provoquer des effets sublétaux directement, y compris des changements dans le développement, la croissance, la reproduction, la morphologie et la génétique (Takada et al. 2001 ; Willrich et Boethel, 2001), et indirectement par des effets biochimiques et physiologiques (Croft, 1990 ; Sak et al. 2006 ; Saleem et al. 2013 ; Ali et al. 2014).

Les glucides, Les protéines et les lipides sont des composants majeurs du corps qui peuvent jouer un rôle crucial dans la construction du corps et le métabolisme énergétique chez les insectes. Un certain nombre de facteurs externes, comme les pesticides, peuvent avoir un impact sur la façon dont les protéines, les lipides et les glucides sont utilisés comme sources d'énergie. (1988 ; Jabakumar et Jayaraman).

4.3.1. Effet du traitement sur les protéines

Les protéines sont des composants biochimiques majeurs pour le développement des organismes, la croissance et l'exécution de leur activité vitale (Desoky et al. 2020; El-Saadony et al. 2021a; El-Saadony et al. 2021b; Saad et al. 2021c). Elles jouent un rôle majeur dans la structure de la cellule et, grâce au catabolisme, fournissent une source d'énergie supplémentaire lors de périodes de stress prolongées (Padmaja& Rao, 1994 ; Moussard, 1999).

Nos résultats montrent que le traitement appliqué (Eucalyptol + β -Pinène), (Eucalyptol et Camphre) et (Camphre et β -pinène) sur des adultes de *R. dominica* par fumigation induit, une perturbation du contenu en protéines en l'augmentant. On peut expliquer cette augmentation des niveaux de protéines par une perturbation des fonctions biologiques et physiologiques qui a entraîné la combinaison de divers régulateurs à base de protéines qui agissent sur les mécanismes de défense et de régulation de l'organisme, tels que les enzymes, les hormones et autres (Soltani et Abes 2021). 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). Cela concorde avec des résultats ont été observés chez les adultes *R. dominica* (Bouchagra&Farhi, 2022) et *T. confusum* (Lahmar&Benhadda, 2022) traités par le Linalool. Par contre les résultats de (Tine &Trad, 2022) qui ont révélé une réduction de la teneur en protéines totales chez les adultes de *R. dominica* traités avec le menthol, et chez *T. granarium* traité par le Limonène (Abdesmad&Moumou, 2022) mais chez *T. confusum* traité par l'Eucalyptol montrent aucun effet (Debab&Mesloub, 2022).

Les glucides jouent un rôle métabolique majeur dans le cycle de développement (Steele 1981). Ils sont considérés comme des éléments énergétiques importants jouent un rôle crucial dans la physiologie des insectes, comme le processus de mue et la reproduction (Kaufmann and Brown 2008).

Nos résultats montrent une réduction significative des niveaux de glucides chez les adultes de *R. dominica* traités par nos molécules combinées (Eucalyptol + β -Pinène), (Eucalyptol et Camphre) et (Camphre et β -pinène) par fumigation. 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) et chez les larves de *Rhizotrogini* traitées aux extraits hydroalcooliques des feuilles de *Nerium oleander* (Madaci et al. 2008). Par contre, une augmentation de ce composé a été observée chez les adultes de *R. dominica* traités par le Menthol, et chez *R. dominica* (Bouchagra&Farhi, 2022) et *T. confusum* (Lahmar&Benhadda, 2022) traités par le Linalool. L'épuisement du glucose peut être dû aux conditions de stress imposées à ces insectes qui nécessitent plus d'énergie pour couvrir les dépenses énergétiques via induction par les neuropeptides (Mojarab-Mahboubkar et al. 2015). Elle peut aussi être due à une accélération du

glycogèneolyse dans le corps adipeux, le transport du glycogène du corps adipeux à l'hémolymphe en réponse à l'épuisement de l'énergie lorsque les individus sont exposés à des toxines (Zibae 2011).

Les lipides sont également des composants importants constitués d'acides gras, de phospholipides et de stérols, qui font partie des glandes salivaires des insectes et contribuent à diverses fonctions. (Chapman 1998). En effet, les lipides sont le carburant énergétique privilégié offert aux tissus lorsqu'ils en ont besoin après les glucides. En période de stress chronique, ils constituent également une autre source d'énergie (Moussard, 1999) Le métabolisme des lipides est essentiel à la croissance et à la reproduction et fournit l'énergie nécessaire pendant les périodes prolongées de non-alimentation (Arrese & Soulages, 2010).

Nos résultats montrent une réduction significative des niveaux de lipides chez les adultes de *R. dominica* traités par les combinaisons (Eucalyptol + β -Pinène), (Eucalyptol et Camphre) et (Camphre et β -pinène) par fumigation. Les mêmes observations ont été faites chez *S. granarius* traité par le citron et l'azadirachtine (Guettal, 2021), chez *R. dominica* (Bouchagra & Farhi, 2022) et *T. confusum* (Lahmar & Benhadda, 2022) traités par le Linalool et chez *T. granarium* traité par l'huile de *Citrus limonum* et le limonène (Abdesmad & Moumou, 2022). Par contre, une augmentation de ce composé a été observée chez *T. confusum* traité par l'huile d'*Eucalyptus globulus* et l'Eucalyptol (Debab & Mesloub, 2022). L'épuisement de ce composant biochimique après traitement 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 leur synthèse (Klowden, 2007), à un dysfonctionnement hormonal qui contrôle le métabolisme lipidique (Steele, 1981).

4.4. Effet du traitement sur les biomarqueurs physiologiques

Les biomarqueurs sont des éléments essentiels de l'évaluation des risques environnementaux qui peuvent mesurer l'interaction entre un agent environnemental et un système biologique. Selon Who (1993), L'acquisition de cette résistance signifie la capacité de l'espèce à la tolérer. Elles ingèrent généralement des doses létales de substances toxiques pour survivre (Ishaaya, 2001) se reproduire (Magnin et al. 1985). Ce phénomène est assuré par un nombre de mécanismes qui sont capables de détoxifier les xénobiotiques en métabolites moins toxiques (Soderlund, 1997).

De nombreuses espèces utilisent fréquemment une variété d'enzymes comme biomarqueurs (Barata et al. 2007; Heylen et al. 2011), PAL, ASAT, et ALAT, entre autres (Pratt & Kaplan, 2000).

La phosphatase alcaline (ALP) est une enzyme hydrolytique qui élimine les groupes phosphates de nombreux types de molécules, y compris les nucléotides, les protéines et les alcaloïdes, dans des conditions acides, connues sous le nom de déphosphorylation (Zibae et al. 2011). Elle est également utilisée pour évaluer les troubles hépatiques (Achliya et al. 2004).

La transamination est le processus physiologique le plus important dans le corps des insectes, pour la formation de protéines nécessaires à diverses fonctions (Chapman et al. 2013).

L'alanine aminotransférase (ALT) et l'aspartate aminotransférase (AST) sont deux enzymes impliquées dans la transamination et sont présentes dans les fluides et les corps gras des insectes. Ils jouent un rôle clé dans la conversion de l'aspartate et de l' α -cétoglutarate en oxalate et glutamate, respectivement, au cours du cycle de Krebs, permettant aux insectes de s'adapter au stress oxydatif (Hakkak et al. 2018).

Dans ce concept, les résultats obtenus au cours de notre étude révèlent une augmentation significative de la phosphatase alcaline (PAL), L'alanine aminotransférase (ALT) et l'aspartate aminotransférase (AST) suite au traitement par les combinaisons binaire des trois molécules avec une diminution significative de taux de triglycérides.

Des résultats similaires ont été faits sur l'activité de la phosphatase alcaline et signalé une augmentation sous l'effet de menthol chez *R.dominica* (Tine &Trad, 2022) avec des autres études qui ont été constatés chez *T. confusum* traité par l'huile d'*E. globulus* et l'Eucalyptol (Debab&Mesloub, 2022).

De plus, Ender et al. (2005) ont montré une augmentation de l'activité de l'ALT chez les larves de *Galleriamellonella* après traitement au méthyle parathion. (Tine &Trad, 2022) ont montré également une augmentation de l'activité de l'ALT et l'AST chez les adultes *R.dominica* après un traitement de menthol, Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés après application de l'huile d'*E. Globulus* et l'Eucalyptol chez *T. confusum* (Debab&Mesloub, 2022). Les mêmes observations ont été constatées chez *Eurygasterintegriceps* traité par le pyriproxifène (Zibae et al., 2011).

D'autre part, *Citrulluscolocynthis* (Cucurbitaceae) agglutinine a diminué la quantité de glycogène et taux de triglycérides chez *E. ceratoniae* (Ramzi et coll., 2014). Les réductions réalisées par Tp EO et α - le pinène chez *E. kuehniella* pourrait être dû à l'accélération dans la glycogénolyse au niveau des corps adipeux larvaires, transport glycogène du corps adipeux à l'hémolymphe en tant que réponse à l'épuisement de l'énergie lorsque les larves étaient exposés à des toxines (Zibae et coll., 2011).

4.5. Effet du traitement sur les biomarqueurs enzymatiques

Pour assurer une transmission brève et efficace au niveau du système cholinergique, l'organisme a besoin d'un contrôle très précis et efficace assurant l'élimination rapide de l'ACh. Cette action est réalisée par une enzyme, l'acétylcholinestérase (Massoulié et al. 1993).

L'AChE est une enzyme clé du système nerveux des insectes, Biomarqueurs de neurotoxicité couramment utilisés pour identifier l'exposition à Insecticides anticholinestérasiques (Fulton & Key, 2001; Matozzo et al. 2005; Coppage & Matthews, 1975). Cette enzyme est essentielle au bon fonctionnement des synapses cholinergiques (Haubruge & Amichot, 1998).

L'analyse des résultats obtenus au cours de notre expérimentation révèle une diminution de l'activité de l'ACHé chez les adultes de *R. dominica* traités par nos combinaisons des molécules bioactives.

Les mêmes observations ont été signalées chez *trogodermagranarium* traitées avec l'HE d'*Eucalyptus globulus* (Brahmi & Yousfi, 2021). Plusieurs travaux ont montré une inhibition de l'activité de l'ACHé après traitement aux huiles essentielles. Cette inhibition a été également démontrée chez les moustiques suite à un traitement par ces huiles (Dris, 2018 ; Bouguerra, 2019 ; Guenez, 2020). Des résultats similaires ont été signalés par Chaubey (2011; 2017), qui ont observé une diminution de l'activité de l'ACHé chez deux ravageurs, *Sitophiluszeamais* et *Sitophilusoryzae* après traitement avec les HEs extraites de deux plantes, *Cuminumcyminum* et *Piper nigrum*.

De plus, Picollo et coll. (2008) ont rapporté que le monoterpénoïde, 1,8-cinéole était un puissant inhibiteur de l'ACHé. L'action de l'anis et huiles de basilic comme fumigants sur *S. granarius* pourraient être neurotoxique. De toute évidence, *S. granarius* peut être candidat approprié comme insecte indicateur de toxicité en utilisant l'inhibition de l'ACHé comme paramètre de toxicité.

Si la fonction de cette enzyme est inhibée, la membrane post-synaptique reste excitable (Haubruge & Amichot, 1998). L'augmentation des concentrations d'acétylcholine dans les synapses et l'excitabilité excessive du système nerveux entraînent une liaison prolongée de l'acétylcholine (ACh) à son récepteur postsynaptique, ce qui provoque une intoxication, notamment une agitation, une hyperexcitabilité, des tremblements, des convulsions et une paralysie, conduisant finalement à la mort. (Mandaca et collaborateurs, 1998 ; Samuel et Laurent, 2005 ; Braquenier, 2009 ; Rajashekar et collaborateurs, 2014).

Les estérases (EST) ont la capacité d'hydrolyser et de rendre les toxines inefficaces. Les antidotes et divers produits chimiques contenus dans les huiles essentielles fournissent de multiples sites d'action aux huiles essentielles, bloquant à la fois les estérases courantes et les glutathion-S-transférases. (Park and Tak 2016).

Les résultats obtenus dans notre étude mentionnent une augmentation significative des α - β estérases chez les adultes *R. dominica* traitées avec les combinaisons des molécules bioactives.

Dans ce contexte, selon Hemingway 2000, Wu et al. 2011, L'induction dans l'activité EST peut être due à la capacité de l'insecte à hydrolyser les esters insecticides ou à séquestrer l'insecticide.

Maryam Goharrostami et al. 2022 ont été signalé que le thymol (DL50) a bloqué de manière significative les estérases et les glutathion-S-transférases d'une manière dose-dépendante.

Toutes Les huiles essentielles ont provoqué une réduction de l'estérase activité des larves de *T. castaneum* après 24 h temps d'exposition. Dans les deux faibles concentrations (10 % et 15 %), l'huile essentielle a stimulé l'expression de l'EST pour augmenter la capacité de désintoxication. De

plus, à 5%, 10%, et 15 %, effet toxique L'activité des EST a été supprimée, Plusieurs études ont capacité déclarée des produits végétaux à inhiber activité de l'estérase (Mukangayama et coll., 2003; Caballero et coll., 2008; Nathan et coll., 2008; Malahat et coll., 2015).

Conclusion et

Perspectives

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé, nous a permis d'estimer chez un ravageur des denrées, *Rhyzopertha dominica*, l'effet de trois principes actifs combinés : Eucalyptol, Camphre et β -pinène appliqués par fumigation, sur le taux de mortalités, la répulsion, la composition biochimique, les biomarqueurs physiologiques (TGO, TGP, Phosphatase alcaline et la quantité de triglycérides), un biomarqueur de neurotoxicité (AChE) et des biomarqueurs de détoxification (α et β - esterase).

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer les concentrations létales de la combinaison des molécules bioactives : Eucalyptol + Camphre, Eucalyptol + β -pinène, β -pinène+ Camphre et Eucalyptol + Camphre + β -pinène, par fumigation à l'égard de *R.dominica*. Les combinaisons appliquées présentent un effet insecticide avec une relation dose-réponse. De plus, on note que la combinaison eucalyptol et camphre est le traitement le plus efficace.

Le test de répulsion a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif des traitements à l'égard de *R.dominica* avec un effet plus marqué de la combinaison, Eucalyptol + Camphre, par rapport aux autres combinaisons.

L'étude biochimique montre que les combinaisons binaires appliquées par fumigation, induisent une augmentation du contenu en protéines et une diminution des réserves énergétiques (glucides et lipides) chez les adultes *R.dominica*. De plus, les traitements appliqués provoquent une augmentation significative des biomarqueurs physiologiques tels que PAL, TGO et TGP avec une diminution significative de la quantité des triglycérides.

Enfin, une induction des biomarqueurs enzymatiques (α - esterase et β -esterase) et une diminution du biomarqueur de neurotoxicité (AChE) ont été constatées.

En guise de perspectives, nous recommandons de :

- Evaluer l'effet de ces molécules bioactives sur le potentiel reproducteur et le développement de *R. dominica*.
- Comparer l'effet de la combinaison de ces molécules avec les huiles essentielles.
- En dernier lieu, nous suggérons des essais pilotes dans les entrepôts de stockage afin de mieux évaluer l'efficacité de ces traitements in situ.

Resumés

VI. RESUME

Cette présente étude a pour but d'évaluer l'activité insecticide et répulsive de trois molécules en combinaison binaire et tertiaire : (Eucalyptol + Camphre), (Eucalyptol + β -pinène), (β -pinène+ Camphre) et (Eucalyptol + Camphre + β -pinène) à l'égard de *Rhyzopertha dominica*. Les effets ont été examinés sur la composition biochimique, les biomarqueurs physiologiques (TGO, TGP, Phosphatase alcaline et Tryglicérides), un biomarqueur de neurotoxicité (AChE) et les biomarqueurs de détoxification (α et β - esterases).

Les essais toxicologiques réalisés par fumigation ont révélé l'activité insecticide des combinaisons des molécules bioactives avec une relation dose-réponse. La combinaison Eucalyptol + Camphre est classée comme la plus toxique par rapport aux autres combinaisons. Le test de répulsion a permis de mettre en évidence le pouvoir répulsif de ces traitements à l'égard de *R. dominica*.

Par ailleurs, l'étude biochimique montre que le traitement provoque une augmentation du contenu en protéines et un épuisement des réserves énergétiques. De plus, il perturbe l'activité des enzymes du métabolisme intermédiaire (PAL, TGO et TGP) et la quantité des triglycérides chez les adultes de *R. dominica*. Enfin, une activation des biomarqueurs de détoxification (α - esterase et β -esterase) et une inhibition de l'activité d'AChE ont été constatées.

Mots clés : Camphre, Eucalyptol, β -pinène, Fumigation, Répulsion, Réserves énergétiques, Biomarqueurs, *Rhyzopertha dominica*.

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate the insecticidal and repellent activities of three combined molecules (Eucalyptol + Camphor), (Eucalyptol + β -pinene), (β -pinene+ Camphor) and (Eucalyptol + Camphor + β -pinene) against *Rhyzopertha dominica*. Their effects were examined on biochemical composition, physiological biomarkers (TGO, TGP, alkaline phosphatase and triglyceride amount), neurotoxicity biomarker (AChE) and detoxification biomarkers (α - and β -esterases).

Bioassay revealed the insecticidal activity of the bioactive combinations with a dose-response relationship. The Eucalyptol + Camphor combination was classified as the most toxic compared to the other combinations. The repellency test demonstrated the repellent activity of these treatments against *R. dominica*.

The biochemical study also showed that the treatment increased protein content and depleted energy reserves. Furthermore, it disrupted the activity of enzymatic biomarkers (PAL, TGO and TGP) and the amount of triglycerides in *R. dominica* adults. Finally, an activation of enzymatic biomarkers (α -esterase and β -esterase) and a decrease in AChE activity were reported.

Keywords: Camphor, Eucalyptol, β -pinene, Fumigation, Repulsion, Energy reserves, Biomarkers, *Rhyzopertha dominica*.

ملخص

تهدف الدراسة الحالية الي تقييم نشاط مبيد الحشرات النشطة بيولوجيا الكافور والأوكالبتول وبيتا بينين ضد *Rhyzopertha*

dominica

تأثير هذه الجزيئاتم فحصه على الاحتياطات الغذائية (البروتينات والدهون والكربوهيدرات) ، والمؤشرات الحيوية الفسيولوجية **TGP** و**TGO** ، و**PAL** وكمية الدهون الثلاثية ، ونشاط المؤشرات الحيوية للإنزيم **α - β** استراز ، ونشاط الأسيتيل

كوليناستراز**AChE**

كشفت اختبار السمية الذي أجراه التبخير عن نشاط المبيدات الحشرية لهذه الجزيئات النشطة بيولوجيا مع علاقة الجرعة والاستجابة. التركيبة الأكثر سمية هيالأوكالبتول وبيتا بينين (مزيج الأوكالبتول والكافور < مزيج الكافور وبيتا بينين < مزيج الأوكالبتول وبيتا بينين < مزيج الأوكالبتول وبيتا بينين والكافور)

أظهر اختبار التنافر القوة الطاردة لهذه الجزيئات ضد *R. dominica*

بالإضافة لذلك، أظهرت الدراسة البيوكيميائية أن الجزيئات تؤدي إلى استنفاد احتياطات الطاقة (الكربوهيدرات والدهون) وزيادة مستويات البروتينات وبتينعلاوة على ذلك، فإنها تنشيط المؤشرات الحيوية الفسيولوجية عن طريق زيادة كمية الفوسفاتيز القلوية و**TGP** وانخفاض كمية الدهون الثلاثية ونشاط استراز.

الكلمات المفتاحية: الكافور، الأوكالبتول، بيتا بينين، السمية، التنافر، احتياطات الطاقة، المؤشرات الحيوية الفسيولوجية، العلامات

الحيوية للإنزيم *Rhyzopertha dominica*

References
Bibliographiques

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- **Abbott, W. S. (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of economic Entomology*. 18(2) : 265-26
- **Abdesmad, O. & Moumou, W. (2022).** Activité insecticide et répulsive d'une molécule bioactive contre les larves d'un insecte à intérêt économique. Mémoire de Master en ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa.
- **Achliya, G. S., Wadodkar, S. G., & Dorle, A. K. (2004).** Evaluation of hepatoprotective effect of Amalkadi Ghrita against carbon tetrachloride-induced hepatic damage in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 90(2-3), 229-232
- **Aggarwal, K. K., Tripathi, A. K., Prajapati, V., & Kumar, S. (2001).** Toxicity of 1, 8-cineole towards three species of stored product coleopterans. *International Journal of Tropical Insect Science*. 21(2) : 155-160
- **Ajayi, O.E., Appel, A.G. and Fadamiro, H.Y. (2014).** Fumigation toxicity of essential oil monoterpenes to *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Journal of Insects*, 2014: 1-7.
- **Ali, NS., Ali, SS., Shakoori, AR. 2013.** Effects of sublethal doses of malathion on biochemical components of malathion-resistant and susceptible adults of *Rhyzopertha dominica*. *Pakistan J. Zool.*, 45(1): 203-212.
- **Almas, I., Innocent, E., Machumi, F., & Kisinza, W. (2021).** Chemical composition of essential oils from *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus maculata* grown in Tanzania. *Scientific African*. 12 : 2-7.
- **Appert, J. (1985).** Le stockage des produits vivriers et semenciers. v. 1: Degats, pertes et moyens de stockage.-v. 2: Lutte contre les ravageurs, hygiène du stockage.
- **Arrese, E. L., & Soulages, J. L. (2010).** Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology*. 55: 207-225.
- **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.

B

- **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- **Balachowsky, A.S. (1962).** *Traité d'entomologie appliquée à l'agriculture*. T. 1, Vol. 1, Ed. Masson ET Cie, Paris, 392p.
- **Barnard, D.R. (2000).** Repellents and toxicants for personal protection. In: World Health Organization, Department of Control, Prevention and Eradication, Programme on Communicable Diseases, WHO Pesticide Evaluation Scheme. Geneva, Switzerland.
- **Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Kaur, S. (2008).** Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*. 256 (12) : 2166-2174.
- **Benelli G., Flamini G., Canale A., Molfetta I., Cioni P.L., Conti B. (2012):** Repellence of *Hyptissuaveolens* whole essential oil and major constituents against adults of the granary weevil *Sitophilus granarius*. *Bulletin of Insectology*, 65: 177–183.
- **Blackwell, A., Stuart, A.E. & Estambale, B.A. (2003).** The repellent and antifeedant activity of oil of *Myrica gale* against *Aedes aegypti* mosquitoes and its enhancement by the addition of salicylic acid. *Proceedings of the Royal College of Physicians of Edinburgh*. 33: 209-214
- **Bouchagra, D., & Farhi, F. (2022).** Effets des extraits d'une plante aromatique, la Lavande sur le comportement et la biochimie d'un ravageur des stocks. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa. 50p.
- **Bouguerra, N. (2019).** Efficacité comparée des extraits de deux plantes, *Thymus vulgaris* et *Origanum vulgare* à l'égard d'une espèce de moustique, *Culex pipiens*: Composition chimique, Toxicité, Biochimie et Biomarqueurs. Thèse de Doctorat en Sciences. Spécialité : Biologie Animale. Université Larbi Tébessi, Tébessa, 137p.
- **Boukhalfa, H., & Rouabah, I. (2020).** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées, Master. Sciences Agronomiques. Protection des végétaux. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. 45p.
- **Bradford, M. M. (1976).** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72(1-2): 248-254

- **Brahmi, A., & Yousfi, R. (2021).** Impact d'une huile essentielle d'Eucalyptus globulus sur les larves de *Trogodermagranarium* : Toxicité, Répulsion, Biochimie et Indices nutritionnels, Master. Ecophysiologie Animale. Université Larbi Tébessi Tébessa. 83p.

C

- **Caballero, C., Lopez-Olguin, J., Ruiz, M., Ortego, F. and Castanera, P. 2008.** Antifeedant activity and effect of terpinoids on detoxification enzymes of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner). Spanyol Journal of Agricultural Research, 6: 177-84.
- **Camara, A. (2009).** Lutte contre *Sitophilusoryzae L.* (Coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) dans les stocks de Riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales.
- **Cao, J.Q., Guo, S.S., Wang, Y., Pang, X., Geng, Z.F. and Du, S.S. (2018).** Toxicity and repellency of essential oil from *Evodia lenticellata* Huang fruits and its major monoterpenes against three stored-product insects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 160:342-348.
- **Chapman, RF., Stephen, J., Simpson, A., Douglas, E. (2013).** The Insects Structure and Function. Cambridge Uni. Press, Cambridge.
- **Chaubey, M.K. 2011.** Fumigant toxicity of essential oils against rice weevil *Sitophilusoryzae L.* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Biological Sciences* 11:411-416.
- **Chaubey, M.K. 2017.** Study of insecticidal properties of garlic, *Allium sativum* (Alliaceae) and Bel, *Aegle marmelos* (Rutaceae) essential oils against *Sitophilus zeamais L.* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Entomology*. 14 (5): 191-198
- **Croft, BA. 1990.** Arthropod biological control agents and pesticides. Wiley, New York.

D

- **Damalas, C.A. & Eleftherohorinos, I.G. (2011).** Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8(5):1402-19
- **Dauguet S., Lacoste F., Ticot B., Loison J-P., Evrard J., Bouchtane B., Soulet B., (2006).** La filière oléagineuse se mobilise autour de la problématique des résidus d'insecticides. *Qualité et sécurité sanitaire des aliments*. 13(6), 373-377.

- **Debab, A. & Mesloub, A. (2022).** Efficacité comparée d'une molécule bioactive et d'une huile essentielle vis-à-vis d'un ravageur des denrées stockées. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa. 93p.
- **Delobel, A. & Tran, M. (1993).** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Ed. Orstom. Paris. 424 p.
- **Desoky, E.S., Saad, A.M., El-Saadony, M.T., Merwad, A.-R., Rady, M.M., 2020.** Plantgrowth-promoting rhizobacteria: Potential improvement in antioxidant defense system and suppression of oxidative stress for alleviating salinity stress in *Triticum aestivum* (L.) plants. Biocatal. Agric. Biotechnol. 30, 101878
- **Djeballi, M. & Boudjil, S. (2022).** Effet d'une molécule bioactive sur un insecte ravageur des stocks. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa. 32p
- **Djermoun, A., (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques, Revue Nature et Technologie, 1 : 45-53.
- **Dris, D. (2018).** Etude de l'activité larvicide des extraits de trois plantes *Mentha piperita*, *Lavandula dentata* et *Ocimum basilicum* sur les larves de deux espèces de moustiques *Culex pipiens* (Linné) et *Culiseta longiareolata*. (Aitken). Thèse de Doctorat en Sciences. Spécialité : Biologie Animale. Université Badji Mokhtar, Annaba, 140 p.
- **Duchateau, G. & Florkin, M. (1959).** Sur la tréhalosémie des insectes et sa signification. Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie. 67(2) : 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 & Review in Biology. 649-658
- **Elaissi, A., Salah, KH, Mabrouk, S., Larbi, KM, Chemli, R., & Harzallah-Skhiri, F. (2011).** Activité antibactérienne et composition chimique de 20 *Eucalyptus* huiles essentielles des espèces. Chimie alimentaire. 129 : 1427-1434.
- **Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V. & Featherstone, R.M. (1961).** A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. Biochem. Pharmacol. 7:88-95.

F

- **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.
- **Fulton, M. H., & Key, P. B. (2001)**. Acetyl cholinesterase inhibition in estuarine fish and invertebrates as an indicator of organophosphorus insecticide exposure and, effects. *Environ ToxicolChem* 20, 37-45.

G

- **Gnanamani, R., &Dhanasekaran, S. (2017)**. Efficacy of Azadirachtaindica leaf extract on the biochemical estimation of a lepidopteran pest Pericalliaricini (Lepidoptera: Arctiidae). *World Applied Sciences Journal*. 35(2) : 177-181.
- **Goldsworthy, G. J., Mordue, W. &Guthkelch, J. (1972)**. Studies on insect adipokinetic hormones. *General and Comparative Endocrinology*. 18(3): 545-551
- **Guenez, R. (2020)**. Contribution à l'étude de l'activité larvicide des extraits de certaines plantes sur les larves de trois espèces de moustiques *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas) et *Culiseta longiareolata* (Aitken). Thèse de Doctorat en Sciences. Spécialité : Biologie Animale. Université Badji Mokhtar, Annaba, 113p.
- **Guettal, S., Tine, S., Tine-Djebbar, F., Soltani, N. (2021)**. Effect of Citrus limonum essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and its chemical composition, biological activities and energy reserves. *International Journal of Tropical Insect Science*. 41:1531-41.
- **Guo SS, You CX, Liang JY, Zhang WJ, Geng ZF, Wang CF, Lei N.** Composition chimique et bioactivités de L'huile essentielle De *Etilingerayunnanensis* contre deux insectes produits entreposés. *Molécules*. 2015; 20(9) :15735-15747.

H

- **Hakkak, R., Gauss, C., Bell, A., Korourian, S. (2018)** Short-term soy protein isolate feeding prevents liversteatosis and reduces serum alt and ast levels in obese female zucker rats. *Biomedicines* 6: 55–66
- **Han, Q., Zhuang, P., Tang, Zh. (1995)** the mechanism of resistance to fenitrothion in *Chilosuppressalis* Walker. *Acta Entomologica Sinica* 38: 266–272
- **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.
- **Hemingway, J. (2000).** The molecular basis of two contrasting metabolic mechanisms of insecticide resistance. *Insect Biochemistry and Insect Molecular Biology*, 30, 1009–1015
- **Huignard, J. (2013).** Les plantes et les insectes : une lutte permanente. *Bulletin Trimestriel de la Société des Amis du Muséum National d'histoire Naturelle*. 251 : 1-8.

I

- **Ishaaya, I. (1990).** Benzoylphenyl-ureas and other selective control agent, mechanism and application In: Cassida, J.E (Ed) *Pesticides and alternatives*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 365-376.

J

- **Jabakumar, SRD., & Jayaraman, FAZ. (1988).** Changes in protein, lipid and carbohydrate content in fresh water fish, *Lepidocephalichthys thermalis* during short-term sublethal exposure of malathion. *Ann. Zool.*, 26(1): 82–89.
- **Jayakumar, Manickam, 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.

K

- **Kaufmann, C., & Brown, M. R. (2008).** Regulation of carbohydrate metabolism and flight performance by a hypertrehalosaemic hormone in the mosquito *Anopheles gambiae*. *Journal of Insect Physiology*. 54(2) : 367-377
- **Keita, S.M., Vincent, C., Schkit, J.P., Rramaswamy, S. & Belanger, A. (2000).** Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: *Bruchidae*). *Journal of stored products research*. 36(4) : pp: 355 – 364.
- **Klowden, M.J. (2007).** *Physiological systems in insects*. Amsterdam: Elsevier. Academic Press. 688 p.
- **Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008).** Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4, 63–84.

- **Koziol, N. (2015).** Huiles essentielles d'Eucalyptus globulus, d'Eucalyptus radiata et de Corymbiacitriodora : qualité, efficacité et toxicité. Thèse de doctorat, université de lorraine
- **Kumar, D., &Kalita, P. (2017).** Reducing postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8.

L

- **Lahmar, C., & Benhadda, M. (2022).** Activité biologique d'une molécule bioactive à l'égard d'un ravageur des denrées stockées. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa. 39p.
- **Lee, B.H., Lee, S.E., Annis, P.C., Pratt, S.J., Park, B.S. and Tumaalii, F. (2002).** Fumigant toxicity of essential oils and monoterpenes against the red flour beetle, *Tribolium castaneum*Herbst. Journal of Asia-Pacific Entomology, 5(2): 237-240.
- **Lee, B.H., Annis, P.C., Tumaalii, F. and Lee, S. (2003).** The potential of 1, 8-cineole as a fumigant for stored wheat. Proceedings of the Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, Pp 25-27

M

- **Madaci, B., Merghem, R., Doumandji, B. & Soltani, N. (2008).** Effet du Nerium oleander, laurier-rose, (Apocynaceae) sur le taux des protéines, l'activité de l'AChE et les mouvements des vers blancs Rhizotrogini, (Coleoptera Scarabaeidae). Sciences and Technologie. 27: 73-78.
- **Magnin, M., Fournier, D., & Pasteur, N. (1985).** Mécanismes physiologiques de la résistance des insectes aux insecticides. Entomol. Medica et Parasitol., 4 :273-280.
- **Malahat, M., Jalal, J. S., and Alireza, A. (2015).** Effect of *Artemisia annua* L. essential oil on toxicity, enzyme activities, and energy reserves of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Plant Protection Research, 55 (4):371-377.
- **Mann, S. R., & Kaufman, E. P. (2012).** Natural product pesticides: Their development, delivery and use against insect vectors. Mini-Reviews in Organic Chemistry, 9(2), 185–202.
- **Maryam Goharrostamia, Jalal Jalali Sendia, Reza Hosseinia, Nosrat O Allah Mahmoodib. (2022).** Possible control measures of devastating mulberry pest *Glyphodespyloalis* Walker using some natural products.
- **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
- **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

Helicoverpaarmigera (Hübner) (Lepidoptera :*Noctuidae*). Journal of Plant Protection Research. 55(4): 371-377

- **Moussard, C. (1999)**. La biochimie, Biochimie structurale et métabolique, Médecine, Pharmacie. Sciences. De Boek&Larciers. a. Bruxelles.
- **Mukanganyama, S., Figueroa, C. C., Hasler, J. A. and Niemeyer, H. M. (2003)**. Effects of DIMBOA on detoxification enzymes of the aphid, *Rhopalosiphumpadi* (Homoptera: *Aphididae*). Journal of Insect Physiology, 49: 223-29.

N

- **Nathan, S. S., Choi, M. Y., Seo, H. Y., Paik, C. H., Kalaivani, K., and Kim, J. D. (2008)**. Effect of azadirachtin on acetylcholineesterase activity and histology of brown planthopper *Nilaparvatalugens* (Stal). Ecotoxicology Environmental Safety, 70: 244-50.
- **Ndiaye, DecoleSidy Baba., (1999)** : Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux. Cellule Centrale d'Appui Technique PADER II. Fonds Belge de Survie.
- **Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J. & Stashenko, E. E. (2009)**. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *SitophiluszeamaisMotschulsky* (*Coleoptera*). Journal of Stored Products Research. 45(3): 212-214.

P

- **PadmajaRambabu, J., & BalaparameswaraRao, M. (1994)**. Effect of an organochlorine and three organophosphate pesticides on glucose, glycogen, lipid, and protein contents I tissues of the freshwater snail *Bellamyadissimilis* (Müller). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 53(1): 142-148.
- **Palacios, S. M., Bertoni, A., Rossi, Y., Santander, R., & Urzúa, A. (2009)**. Efficacy of essential oils from edible plants as insecticides against the house fly, *Muscadomestica L.* Molecules. 14(5): 1938-1947.
- **Papachristos, D. P., & Stamopoulos, D. C. (2004)**. Fumigant toxicity of three essential oils on the eggs of *Acanthoscelidesobtectus* (Say) (*Coleoptera: Bruchidae*). Journal of Stored Products Research. 40(5) : 517-525.
- **Park, Y., Tak, JH. (2016)** Essential oils for arthropod pest management in agricultural production systems. In: Preedy VR (Ed.), Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety. Elsevier: Amsterdam, Netherlands, pp 61–70
- **Pavela, R. (2004)**. Insecticidal activity of certain medicinal plants. *Fitoterapia*, 75(78), 745-749.

- **Piccolo A, Toloza C, MougabureCueto G, Zygadlo J, Zerba E. 2008.** Anticholinesterase and pediculicidal activities of monoterpenoids, *Fitoterapia*, 79(4): 271–278.
- **Pratt, D.S. & Kaplan, M.M. (2000).** Evaluation of abnormal liver-enzyme results in asymptomatic patients. *New England Journal of Medicine*. 342: 66-71.
- **Pretty, J., Hine, R. (2005).** Pesticide use and the environment in the pesticide detox - Towards a More Sustainable Agriculture. *EARTHSCAN: London, Sterling, VA*; 293 p

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 *Bellamyadissimilis* (Müller). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 53(1): 142-148.
- **Ramzi, S., Sahragard, A., Zibae, A. (2014).** Effects of *Citrulluscolocynthis* agglutinin on Intermediary Metabolism of *Ectomyeloisceratoniae Zeller* (Lepidoptera: *Pyralidae*). *J. AsiaPac. Entomol.* 17: 273-279.
- **Regnault-Roger, C., Ribodeau, M., Hamraoui, A., Bateau, I., Blanchard, P., Gil-Munoz, M.I., & Barberan, F. T. (2002).** Polyphenolic compounds of Mediterranean Lamiaceae and investigation of orientational effects on *Acanthoscelidesobtectus* (Say). *Journal of Stored Products Research*. 40(4): 395-408.
- **Rozman, V., Kalinovic, I., & Liska, A. (2006).** Bioactivity of 1, 8-cineole, camphor and carvacrol against rusty grain beetle (*Cryptolestes ferrugineus Steph.*) on stored wheat. In *Proceedings of the 9th international working conference on stored product protection* (pp.15-18).

S

- **Saad, A.M., Sitohy, M.Z., Ahmed, A.I., Rabie, N.A., Amin, S.A., Aboelenin, S.M., El-Saadony, M.T., 2021c.** Biochemical and functional characterization of kidneybean protein alcalase-hydrolysates and their preservative action on stored chicken meat. *Molecules* 26 (15), 4690.
- **Sak, O., Uckan, F., Ergin, E. (2006).** Effects of cypermethrin on total body weight glycogen, protein and lipid contents of *Pimplaturionellae* (L.). *Belg. J. Zool.*, 136(1): 53-58.
- **Saleem M, Hussain D, Rashid RH, Saleem H, Ghouse G, Abbas M. 2013.** Insecticidal activities of two citrus oils against *Tribolium castaneum* (herbst). *Am. J. Res. Commun.*, 1(6): 67-74.

- **Samuel, O., & St-Laurent, L. (2005).** Profil toxicologique des insecticides retenus pour le contrôle des insectes adultes impliqués dans la transmission du virus du Nil occidental au Québec.
- **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.
- **Sayada N, Tine S, Soltani N (2021)** Toxicity and physiological effects of essential oil from *Lavandula angustifolia* (M.) against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: *Bostrichidae*) adults. *J Entomol Res* 45(suppl):929–936.
- **Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur., (2005).** Les céréales en Tunisie : production, solid surfaces : a combined QCM-D and AFM study. *Biophysical journal*. 85(5): 3035-3047 ,2003.
- **SHAAYA, E., KOSTJUKOVSKI, M., EILERG, J., & SUKPRAKARN, C. (1997).** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. *Journal of Stored Products Research* 33: 7–17.
- **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. *Analytical Biochemistry*. 19: 415-528.
- **Soderlund, D.M. (1997).** Molecular mechanisms of insecticide resistance. In situ V (Ed). *Molecular mechanisms of resistance to agrochemicals, Chemistry of plant protection*. Springer, Berlin Heidelberg New York. 13: 21-56.
- **Soltani, M., & Abes, I.F.Z. (2021).** Effets des extraits d'une plante aromatique, *schinus molle* L. sur le comportement et la biochimie d'un ravageur des stocks. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa.
- **Steele, J.E. (1981).** The role of carbohydrate metabolism in physiological function. *Energy Metabolism in Insects*. Springer. 101- 133

T

- **Takada, Y., Kawamura, S., Tanaka, T., (2001).** Effects of various insecticides on the development of the egg parasitoid *Trichogramma dendrolimi*. *J. Econ. Entomol*. 94: 1340-1343.
- **Tietz, N. W. (1999).** Text book of clinical chemistry, CA Burtis, ER Ashwood. WB Saunders. 652 : 1431.

- **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.
- **Tine, A., & Trad, M. (2022).** Evaluation de l'effet d'une molécule bioactive sur les paramètres biochimiques et physiologiques d'un ravageur des stocks, *Rhyzopertha dominica*. Mémoire de Master en Ecophysiologie Animale, Université Larbi Tébessi, Tébessa.
- **Tirakmet, S. (2015).** Étude comparative entre l'activité insecticide des huiles essentielles Extraites à partir de deux espèces de la famille des Astéracées récoltées dans la région de Makouda et l'activité insecticide d'un pesticide organique de synthèse sur le ravageur secondaire du blé tendre stocké *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidea) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri). 76p

V

- **Vespermann, K.A., Paulino, B.N., Barcelos, M.C., Pessoa, M.G., Pastore, G.M., Molina, G. (2017).** Biotransformation de l'alpha- et bêta-pinène en composés aromatiques. Appl. Microbiol. Biotechnol. 101, 1805-181.

W

- **Waongo A., Yamkoulga M., Dabir-Binso C.L., Ba M.N., Sanon A., (2013).** Conservation post-récolte des céréales en zone sud-saoudienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks, Int. J. Biol. Chem. Sci., 7(3) : 1157-1167.
- **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.
- **Willrich, MM., Boethel, DJ. (2001).** Effects of Diflubenzuron on *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: *Noctuidae*) and its parasitoid *Copidosoma floricolum* (Hymenoptera: Encyrtidae). Environ. Entomol., 30, 794–797.
- **Winnacker, M. (2018)** Pinènes: Blocs de construction abondants et renouvelables pour une variété de polymères durables. Angew. Chem. Int. Ed. 57, 14362-14371

Y

- **Yang, Y.C., Choi, H.C., Choi, W.S., Clark, J.M., &Ahn, Y.J. (2004).** Ovicidal and adulticidal activity of Eucalyptus globulus leaf oil terpenoids against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: Pediculidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 2507-2511.

Z

- **Zibae, A., Bandani, A. R., Talaei-Hassanlouei, R. &Malagoli, D. (2011).** Cellular immune reactions of the sunn pest, *Eurygaster integriceps*, to the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* and its secondary metabolites. *Journal of Insect Science*. 11 (1): 1-16.
- **Zibae A, Zibae I, Sendi JJ. (2011) .** A juvenile hormone analog, pyriproxifen, affects some biochemical components in the hemolymph and fat bodies of *Eurygaster integriceps* Puton (Hemiptera: *Scutelleridae*). *Pestic. Biochem. Physiol.* 100: 289-298