



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بو عريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

## Intitulé

Etude de l'impact de plusieurs huiles essentielles sur le  
*Tribolium castaneum* (Herbest, 1797) en explorant divers  
modes d'action

### Présenté par :

BELDJOUDI NESRINE & ZOUAGHI RABAH

Soutenu le \_\_\_/ 06/ 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M <sup>r</sup> . ZAAFOUR A.	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. B.B.A.
Encadrant :	M <sup>me</sup> . ZIOUCHE S.	MCA	Faculté SNV-STU, Univ. B.B.A.
Examineur :	M <sup>r</sup> . BOULAOUED B. A.	MCA	Faculté SNV-STU, Univ. B.B.A.
Invité :	M <sup>r</sup> . SAOUDI A.		CCLS B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024



## **Remerciement**

*Nous remercions Dieu le tout puissant pour le souffle de vie qu'il nous a accordé, de nous avoir donné la force et le courage pour dépasser toutes les difficultés afin de réaliser ce travail.*

*Nos chaleureux remerciements à **M<sup>me</sup>. ZIOUCHE SIHEM** pour l'admission et l'attention qu'elle nous a donnée, d'avoir suivi et guidé ce travail, sa disponibilité, ses nombreux conseils, sa confiance en nous ont été des encouragements, repères pour nous tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Nos sincères remerciements à toute l'équipe de la coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS) de la wilaya de Bordj Bou Arreridj pour leurs précieuses aides en particulier **Mr. SAOUDI AMINE** et **M<sup>lle</sup> ALLOUCHE SIHEM**.*

*Sans oublier de remercier l'ingénieur de laboratoire **M<sup>me</sup>. SABRINA**, pour ses conseils, son aide et son encouragement tout au long de la préparation de ce travail.*

*Nos remerciements aux membres de jury **Mr. ZAAFOUR ABDELJALIL** et **Mr. BOULAOUED BELKACEM AYMEN**.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce travail à mes très chers parents (ALI et YASMINA)  
Qui ont consenti d'énormes sacrifices pour mon éducation et ma réussite  
scolaire.*

*A celui qui m'a fait une femme forte, ma source de vie, d'amour, de tendresse  
et d'inspiration, à mon soutien qui était toujours à mes côtés pour me  
soutenir et m'encourager, à '**Mon Père**' mon héros.*

*A mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et de ma  
réussite, le fil d'espoir qui allume mon chemin dans les moments sombres et  
me donne de la force, ma moitié '**Ma Mère**'.*

*A mon frère '**NABIL**' et ma chère sœur '**KAOUTER**' pour l'amour qu'ils  
me réservent.*

*A mon petit frère Doudou "**MOHAMMED**" qui remplit ma vie de tant de  
bonheur, de joie et d'amour.*

*A mon grand-père "**MOHAMMED**", qui je souhaite une bonne santé.*

*A mon encadrante '**Dr. ZIOUCHE SIHEM**', pour sa patience, sa diligence  
et sa réactivité lors de la préparation de ce mémoire. Pour son encouragement  
et son dévouement.*

*Sans oublier mon binôme '**RABAH**', pour sa patience et sa compréhension  
tout au long de ce projet,*

*A mon ami '**ZAKARIA**', pour son soutien et son encouragement.*

*A mon amie proche '**SANAE**' pour son soutien et son encouragement.*

*A tous mes amis qui m'aiment.*

***NESRINE...***

## *Dédicace*

*En guise de dédicace, je tiens à exprimer tous mes remerciements :*

*À Madame **Ziouche Sihem**, professeur exemplaire, pour sa bienveillance, ses conseils avisés et son accompagnement précieux tout au long de cette aventure académique. Votre disponibilité et votre expertise ont été des guides inestimables.*

*A mon binôme dans ce travail, ma sœur **Nesrine**, dont la collaboration sans faille a été un pilier essentiel. Merci pour ton dévouement et ta persévérance.*

*À ma mère **Zohra**, rayon de lumière dans ma vie, pour son amour inconditionnel, son soutien indéfectible et ses encouragements perpétuels qui m'ont porté jusqu'ici. Vous êtes ma source d'inspiration éternelle.*

*À mon père **Boudjema**, mentor et modèle, pour avoir cultivé en moi la soif d'apprendre, la persévérance et la détermination. Votre fierté est ma plus grande récompense.*

*À mon oncle **Mabrouk** et sa femme **Nawal**, mes seconds parents, pour leur affection et leur présence réconfortantes à chaque étape.*

*À mes sœurs **Atika, Wahiba, Amal, Hadjer, Meriem et Hanane**, complices de toujours, pour leur amour fraternel indéfectible.*

*À mes frères **Anwar, Abdennour, Djamal et Oussama**, fidèles alliés, pour leur confiance et leurs encouragements continus.*

*À mes amis **Rahim, Zaki et Anis**, pour les moments de rires partagés et leur capacité à me redonner espoir quand j'en avais besoin.*

*Ce mémoire est l'aboutissement d'un rêve que vous avez tous rendu possible par votre soutien inconditionnel. Puisse cette réussite n'être que la première d'une longue série.*

***RABAH...***

# Table des matières

<b>I.Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Matériel et Méthodes</b>	
<b>1. Matériel.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Matériel végétal et huiles essentielles .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Matériel animal.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Elevage de masse de <i>T. castaneum</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Méthodologie .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Méthode de séchage.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Extraction des huiles essentielles .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Estimation du rendement en huile essentielle .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Formulations des huiles essentielles étudiées.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Tests réalisés .....</b>	<b>10</b>
<b>3. La mortalité corrigée.....</b>	<b>14</b>
<b>4. Détermination des doses létales 50 .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Analyse statistique.....</b>	<b>14</b>
<b>III.Résultats et discussions</b>	
<b>1.Résultats :.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Le rendement en huile essentielle des plantes étudiées.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles étudiées à l'égard des populations de <i>T. castaneum</i>.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Analyse de la variance pour le test d'efficacité des huiles essentielles étudiées par différents modes d'action sur les populations <i>Tribolium castaneum</i>.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 Doses létales DL<sub>50</sub>.....</b>	<b>30</b>
<b>2.Discussions .....</b>	<b>32</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>40</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>41</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des tableaux

**Tableau 1** : Le classement de pourcentage de répulsion.

**Tableau 2** : Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle de lavande appliquée selon divers modes d'action sur les populations de *T. castaneum*.

**Tableau 3** : Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle du romarin sur les populations de *T. castaneum*.

**Tableau 4** : Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle du cyprès sur les populations de *T. castaneum*.

**Tableau 5** : Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle de l'origan sur les populations de *T. castaneum*.

**Tableau 6** : Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par contact des différentes huiles essentielles sur le taux de mortalité de *T. castaneum*.

**Tableau 7** : Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par ingestion des différentes huiles essentielles sur le taux de mortalité de *T. castaneum*.

**Tableau 8** : Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par inhalation des différentes huiles essentielles sur le taux de mortalité de *T. castaneum*.

**Tableau 9** : Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par répulsion des différentes huiles essentielles sur le taux de mortalité de *T. castaneum*.

**Tableau 10** :  $DL_{50}$  calculées à partir des courbes probit pour chaque mode d'action et temps d'exposition des huiles essentielles sur *T. castaneum*.

## Liste des figures

**Figure 1** : Localisation du lieu de la récolte du romarin

**Figure 2** : Localisation du lieu de la récolte du cyprès

**Figure 3** : Localisation du lieu de la récolte de l'origan

**Figure 4** : Localisation du lieu de la récolte de la lavande

**Figure 5** : Elevage de masse de *Tribolium castaneum*

**Figure 6** : Séchage de *Lavandula latifolia*

**Figure 7** : Séchage de *Rosmarinus officinalis*

**Figure 8** : Séchage de *Cupressus sempervirens*

**Figure 9** : Séchage de *Origanum vulgare*

**Figure 10** : Dispositif d'extraction par hydrodistillation

**Figure 11** : Dispositif des différents témoins de l'expérience

**Figure 12** : L'insecticide utilisé dans cette étude

**Figure 13** : Dispositif expérimental du traitement par contact

**Figure 14** : Dispositif expérimental du traitement par ingestion

**Figure 15** : Dispositif expérimental du traitement d'inhalation

**Figure 16** : Dispositif expérimental du test répulsif

**Figure 17** : Pourcentage du rendement en huiles essentielles de l'origan, du romarin, de la lavande et du cyprès

**Figure 18** : Evolution temporelles du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par Contact.

**Figure 19** : Evolution temporelles du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par Ingestion.

**Figure 20** : Evolution temporelles du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par Inhalation.

**Figure 21** : Evolution temporelles du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par Répulsivité.



**Figure 22** : Effet de l'huile essentielle de lavande sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action.

**Figure 23** : Effet de l'huile essentielle du romarin sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action.

**Figure 24** : Effet de l'huile essentielle du cyprès sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action.

**Figure 25** : Effet de l'huile essentielle de l'origan sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action.

**Figure 26** : Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par contact

**Figure 27** : Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par ingestion

**Figure 28** : Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par inhalation

**Figure 29** : Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par répulsion.

## Liste des abréviations

- **DL<sub>50</sub>** : Dose létale
- **ANOVA** : Analysis of Variance (Analyse de la variance)
- **GLM** : General Linear Model (Modèle linéaire généralisé)
- **HE**: Huile Essentielle
- **CCLS** : Coopérative de Céréales et de Légumes Secs
- **NS**: Non Significatif
- **MC**: Mortalité Corrigée
- **DH**: Dose Homologuée
- **Ppm**: Partie par million
- **PR**: Pourcentage de Répulsion
- **T-**: Témoin négatif
- **T+**: Témoin Positif

# Etude de l'impact de plusieurs huiles essentielles sur le *Tribolium castaneum* (Herbest, 1797) en explorant divers modes d'action

## Résumé

En Algérie, Les denrées stockées représentent la principale ressource alimentaire pour l'homme. Les populations de *T. castaneum* sont parmi les principaux ravageurs responsable de la détérioration de ces ressources dans les endroits de stockage qui nécessite l'utilisation des insecticides chimiques. Notre étude a pour objectif, l'étude de l'effet insecticide des huiles essentielles de *R. officinalis*, *L. latifolia*, *C. sempervirens* et *O. vulgare* sur les adultes de *Tribolium* par différents modes d'action à savoir : contact, ingestion, inhalation et répulsion. Les résultats obtenus montrent une efficacité bio-insecticide et une activité répulsive avec des variation selon le type d'huile, la dose appliquée (0.5%,0.7% et 1%), le mode d'action et le temps d'exposition (24H,48H et 72H). L'huile essentielle d'origan s'avère le plus efficace notamment par ingestion dont le taux de mortalité dépasse 70% à la dose maximale ; suivi d'huile essentielle de la lavande qui montre une efficacité élevée par contact (54%). Par contre, les huiles essentielles de romarin et de cyprès montrent une efficacité faible et variable par rapport aux deux huiles précédentes, le romarin met en évidence son potentiel insecticide principalement par ingestion et le cyprès montre une mortalité acceptable par ingestion et inhalation, mais il révèle une toxicité faible par contact (inférieure à 40%). Les quatre huiles essentielles appliquées ont une activité répulsive sur les populations de *T. castaneum*. La DL<sub>50</sub> des huiles indique leur ordre de toxicité, l'origan (par contact : DL<sub>50</sub> = 0,56 µL/Lair ; par ingestion : DL<sub>50</sub> = 1,25 µg/g ; par inhalation : DL<sub>50</sub> = 0,07 µL/L), suivi par la lavande (par contact : DL<sub>50</sub> = 4,13 µL/L air ; par ingestion : DL<sub>50</sub> = 4,60 µg/g ; par inhalation : DL<sub>50</sub> = 3,80 µL/L air), ensuite le romarin (par contact DL<sub>50</sub>=22 µg/g ; par ingestion : DL<sub>50</sub>=21,1 µg/g par inhalation : DL<sub>50</sub>=25,8 µl/L air) ; enfin le cyprès (par contact : DL<sub>50</sub>=9,50 µg/g ; inhalation : DL<sub>50</sub>=40 µL/L air ; par ingestion : DL<sub>50</sub>=43,50 µg/g) Cette recherche a identifié la toxicité bio-insecticide de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* et *Lavandula latifolia* sur le *Tribolium castaneum* mettant en lumière des variations dans l'efficacité insecticide en fonction du mode et temps d'exposition ainsi que le facteur dose.

**Mot clés :** Activité bio-insecticide, denrées stockées, huiles essentielles, toxicité, *Tribolium castaneum*.

# **Introduction**

## I. Introduction

L'agriculture joue un rôle essentiel dans le système alimentaire en Algérie, étant considérée comme son pilier central. Les produits céréaliers et leurs dérivés constituent la base du système alimentaire du pays, et la production de céréales est l'une des principales filières de l'économie nationale (Djermoun, 2009).

Les céréales jouent un rôle vital tant dans l'alimentation humaine que dans celle des animaux. Selon les données de l'Office national des céréales, la superficie dédiée à la production céréalière a atteint 3,8 millions d'hectares en 2023, enregistrant une augmentation de 5 % par rapport à la saison précédente (2022-2023). La culture du blé dur a particulièrement progressé, avec une augmentation de 59 %, passant de 2,1 millions à 2,25 millions d'hectares, tandis que celle du blé tendre a atteint 850 000 hectares, soit une hausse de 22 %. Parallèlement, la superficie consacrée à l'orge a également augmenté de 6 %, passant de 1,2 million à 1,27 million d'hectares (Office national des céréales).

D'après la FAO (2019), le stockage des denrées alimentaires est crucial pour établir des réserves stratégiques permettant de répondre aux périodes de pénurie ou de récoltes médiocres, contribuant ainsi à assurer la sécurité alimentaire mondiale. Il est donc impératif de comprendre les mécanismes impliqués dans leur conservation et de maîtriser les techniques de stockage afin d'assurer la subsistance de millions de personnes.

Toutefois, pendant leur conservation, les céréales sont sujettes à divers types d'altérations, qu'elles soient d'origine abiotique, biotique ou biologique (Caid *et al.*, 2008), notamment causées par des ravageurs et des maladies. Ces défis peuvent entraîner d'importantes pertes tant en quantité qu'en qualité des denrées alimentaires stockées, ayant ainsi des répercussions économiques et sanitaires considérables (Mossa, 2016).

D'après Cissokho *et al.*, (2015), les pertes les plus significatives dans les stocks de céréales sont souvent causées par les coléoptères et les lépidoptères. Actuellement, on répertorie plus de 1663 espèces d'insectes ravageurs des produits entreposés (Hagstrum *et Subramanyam*, 2016). Les coléoptères représentent les principaux groupes d'insectes nuisibles aux stocks, parmi lesquels environ 200 espèces sont associées à des problèmes

de conservation (Bell, 2011). Parmi ces coléoptères, le charançon des grains, *Sitophilus*

*granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), est l'un des plus destructeurs des réserves alimentaires dans le monde. Ce ravageur est capable d'engendrer d'importantes pertes économiques (Keskina et Ozkaya, 2015 ; Vélez et al., 2017 ; Plata-Rueda et al., 2018 ;Renoz et al., 2022). Il impacte à la fois la quantité et la qualité des céréales stockées, tout en altérant leur capacité de germination en raison de sa grande capacité biotique à pénétrer dans les grains (Benelli et al., 2012 ; Plata-Rueda et al., 2018). De plus, il ouvre la voie à un ensemble d'autres espèces détritivores, parmi lesquelles le Tribolium de la farine, *Tribolium castaneum* (Herbst), est le plus fréquent.

La résistance des insectes de stockage aux différents insecticides a été signalée dans le monde entier. Cette résistance dépend principalement de l'utilisation d'insecticides et de fumigant organophosphorés et pyréthroïdes (Dauguet et al., 2006 ; Benhalima et al., 2004), et parmi les effets négatifs de l'utilisation des insecticides : sélection de souches résistantes, pollution de l'environnement, intoxications, donc la recherche de moyens alternatives est très importante (Nadjla et al.,2013).

En raison de leurs effets néfastes, il est impératif de rechercher des alternatives efficaces et économiques. Les biopesticides, notamment les insecticides botaniques, ont été étudiés comme des moyens de lutte contre les parasites (Spit et al., 2012 ; Ziaee et al., 2014). Récemment, le développement d'insecticides biologiques est devenu une stratégie durable dans la lutte contre les insectes ravageurs (Isman et al., 2011 ; Marsin et al., 2020). Les substances d'origine naturelle, en particulier les huiles essentielles, sont désormais considérées comme une alternative pour la protection des produits alimentaires entreposés (Nadjla et al.,2013 ; Renoz et al., 2022).

L'objectif principal de cette étude est de tester l'activité insecticide et répulsive des huiles essentielles d'origan (*Origanum vulgare*), de romarin (*Rosmarinus officinalis*), de lavande (*Lavandula latifolia*) et de cyprès (*Cupressus sempervirens*) à différentes doses sur les adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst), en utilisant différents modes d'action.

Ce document est organisé en trois sections principales : une introduction générale qui traite de l'importance économique des denrées stockées, des ravageurs et des maladies associées, ainsi que des principales stratégies de lutte contre ces ravageurs. Un chapitre qui décrit le matériel et la méthodologie adoptée. L'autre chapitre présente les résultats obtenus et la discussion. Enfin, nous terminons cette étude par une conclusion globale et des perspectives de recherche.

## II. Matériel et méthode

Le chapitre relatif aux matériaux et méthodes de cette étude vise à détailler les procédures utilisées pour évaluer l'effet insecticide de quelques huiles essentielles sur un ravageur des denrées stockées. Ce chapitre fournira un aperçu de la méthode d'extraction des huiles essentielles et les conditions de différents tests réalisés.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet insecticide de quatre formulations biologiques à base de l'huile essentielle d'origan (*Origanum vulgare*), de romarin (*Rosmarinus officinalis*), de lavande (*Lavandula latifolia*) et de cyprès (*Cupressus sempervirens*), appliquées à différentes doses. Ces traitements seront testés sur les adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst), un ravageur commun des denrées stockées, en exposant les spécimens à différents modes d'action.

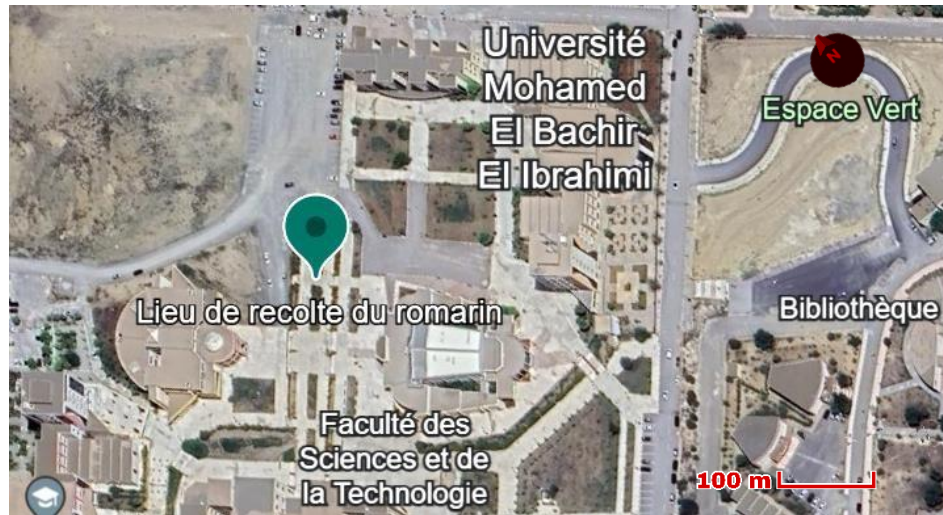
### 1. Matériel

#### 1.1 Matériel végétal et huiles essentielles

Les feuilles de *Rosmarinus officinalis* (Figure 1, Annexe A) et *Cupressus sempervirens* (Figure 2, Annexe B), les feuilles et tiges de *Origanum vulgare* (Figure 3, Annexe C) et les parties aériennes de *Lavandula latifolia* (Figure 4, Annexe D) ont été récoltées de différents sites de la région de Bordj Bou Arreridj (le romarin : 36°02'56"N 4°48'00"E, le cyprès : 36°03'43"N 4°58'07"E, l'origan : 35°55'20"N 5°01'18"E, la lavande : 36°02'46"N 4°48'44"E). L'ensemble des récoltes des plantes ont été effectuées au mois de Février 2024. Toutes les plantes ont été débarrassées de tous éléments étrangers, placées dans des sacs et transportées au laboratoire dans les 24 heures qui ont suivi la récolte.

Les huiles essentielles ont été par la suite extraites et ce sont servi à réaliser la suite de l'étude (Caractéristiques organoleptiques et physicochimiques des huiles essentielles, activité insecticide). Leur solubilisation a été réalisé dans du Tween 20%.





**Figure 1 :** Localisation du lieu de la récolte du romarin (Google earth, 2024)



**Figure 2 :** Localisation du lieu de la récolte du cyprès (Google earth, 2024)



**Figure 3 :** Localisation du lieu de la récolte de l'origan (Google earth, 2024)



**Figure 4 :** Localisation du lieu de la récolte de la lavande (Google earth, 2024)

## **1.2. Matériel animal**

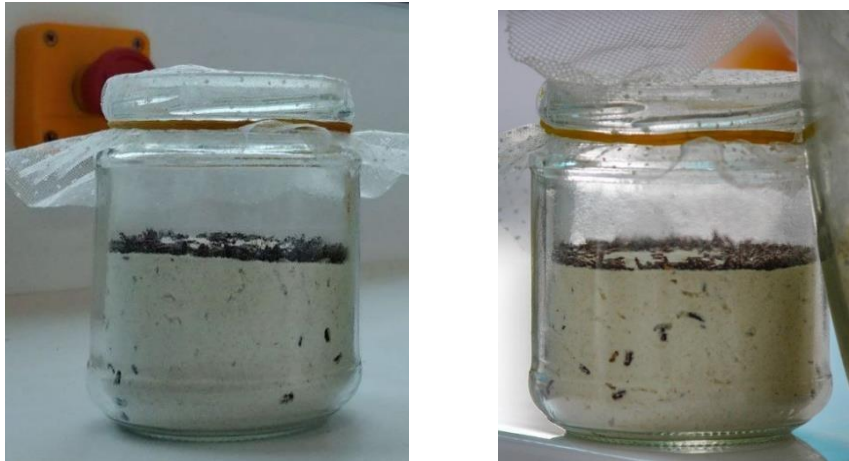
Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi d'utiliser des individus adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst) (Annexe E), Le chapitre relatif aux matériaux et méthodes de cette étude vise à détailler les procédures utilisées pour évaluer l'effet insecticide de quelques huiles essentielles sur un ravageur des denrées stockée. Ce chapitre fournira un aperçu de la méthode d'extraction des huiles essentielles et les conditions des différents tests réalisés. Ces individus ont été collectés à la coopérative de céréales et de légumes secs (CCLS) de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. La détermination de l'espèce a été faites par les ingénieurs du CCLS.

### **1.2.1. Elevage de masse de *T. castaneum***

Des individus adultes de *Tribolium castaneum* ont été élevés en grand nombre dans de la farine saine, maintenue à une température de 32,8°C et à une humidité de 60 %, pendant une période de 21 jours. Cet élevage de masse a été réalisé au sein du laboratoire de biologie végétale de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, ils ont



été conduits dans des bocaux en verre recouverts d'un tissu en tulle afin de permettre une respiration aisée des individus. Ces contenants étaient remplis aux trois quarts de farine propre dans laquelle étaient introduits plusieurs centaines d'individus dont l'âge était indéterminé. Tout au long de l'expérience de nouvelles infestations sont réalisées afin de pouvoir disposer régulièrement d'individus pour la réalisation des différents tests de cette étude (Figure 5).



**Figure 5** : Elevage de masse de *Tribolium castaneum* (Photo originale,2024)

## 2. Méthodologie

### 2.1. Méthode de séchage

Les plantes fraîchement récoltées ont été séchées dans un laboratoire à l'air libre, protégées de la lumière et de l'humidité, à une température ambiante pendant 15 jours (Figure 6,7,8,9). Une fois les plantes séchées, les échantillons ont été conservés dans des sacs en papier, à l'abri de la lumière et à température ambiante.



**Figure 6** : Séchage de *Lavandula latifolia* (Photo originale, 2024)



**Figure 7** : Séchage de *Rosmarinus officinalis* (Photo originale, 2024)



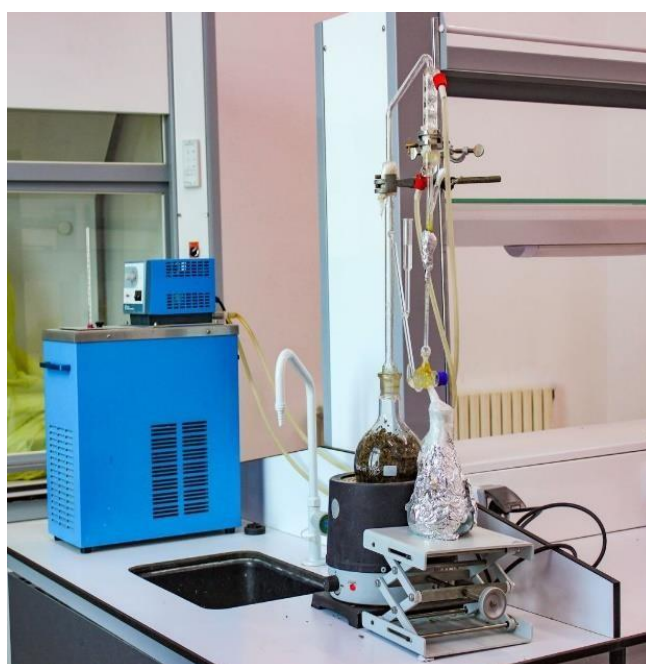
**Figure 8** : Séchage de *Cupressus sempervirens* (Photo originale, 2024)



**Figure 9** : Séchage de *Origanum vulgare* (Photo originale, 2024)

## 2.2. Extraction des huiles essentielles

L'extraction est réalisée au niveau du laboratoire à la Faculté des Sciences de l'Université Bordj Bou Arreridj par hydrodistillation sur appareil de type Clevenger (Figure 10). La technique consiste à introduire 100 gr de matériel végétal sec avec 500 ml d'eau distillée dans un ballon de 1L. Faire bouillir le tout pendant 3 heures à l'aide d'un chauffe-ballon. La vapeur chargée d'huiles essentielles traverse un refroidisseur et se condense ainsi avant de tomber dans une ampoule à décanter, après quoi l'huile est séparée de l'eau par une différence de densité. L'huile essentielle est récupérée dans un flacon en verre opaque fermé hermétiquement et conservée au réfrigérateur à 4°C jusqu'à son utilisation (formulation).



**Figure 10** : Dispositif d'extraction par hydrodistillation (Photo originale, 2024)

## 2.3. Estimation du rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre le volume d'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal à traiter (Belyagoubi, 2006). Le rendement en huile essentielle (exprimé en pourcentage par rapport au 100 gr de matière sèche) a été calculé par la relation suivante :

$$R = \frac{M(HE)}{M(P)} \times 100$$

**R** : Rendement de l'huile, **M(HE)** : Masse de l'huile en gr, **M(P)** : Masse de plante en gr.



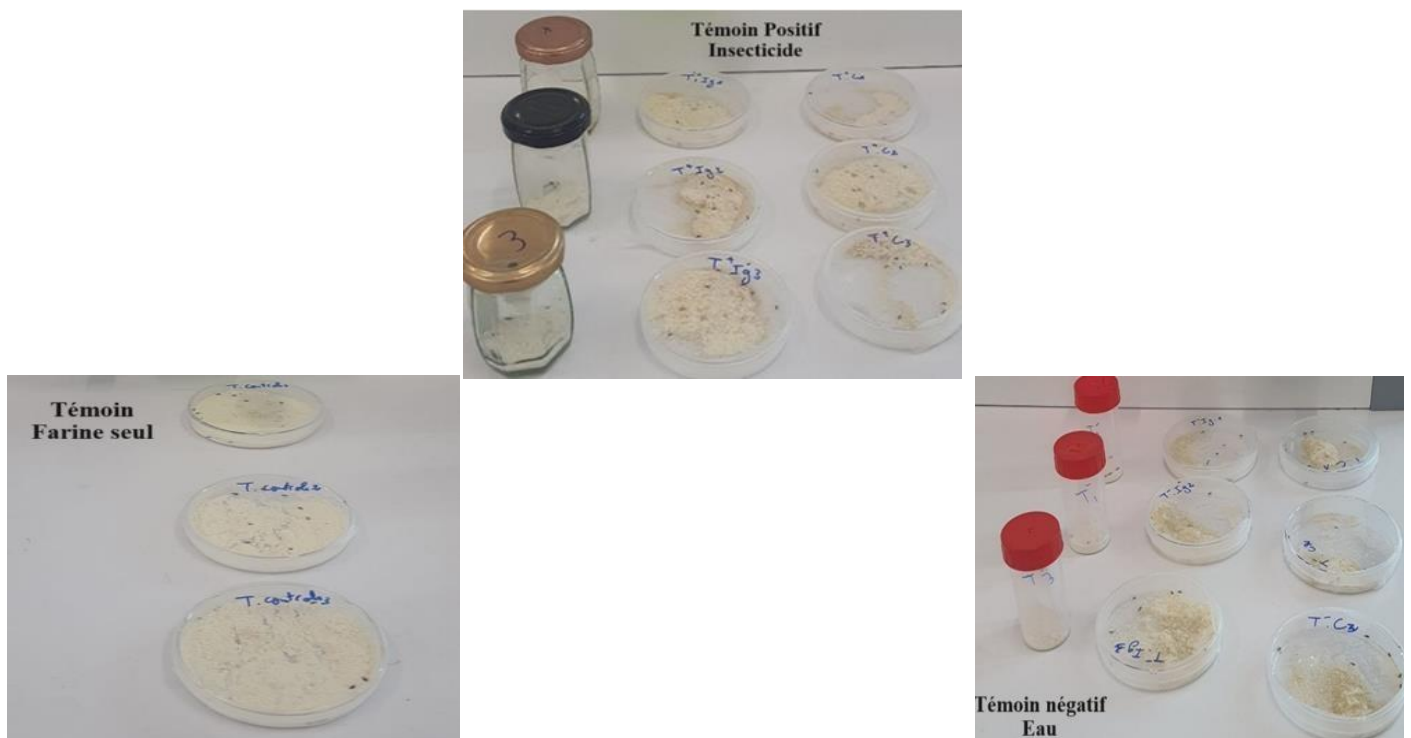
## 2.4. Formulations des huiles essentielles étudiées

La préparation des dilutions des huiles essentielles a été faite par le Tween 20% à des concentrations croissantes : 0,5% ;0,7% et 1%.

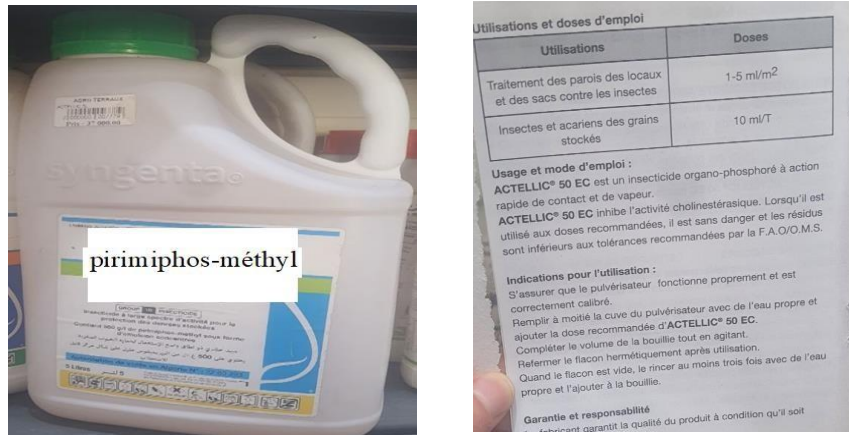
Pour obtenir la concentration de 1%, nous avons pris à l'aide d'une micropipette 1ml d'huile essentielle ajoutée dans 3ml de Tween 20% et les mettre dans un tube à essai stérilisé en agitant pour bien homogénéiser le mélange.

Pour préparer les autres concentrations, nous avons suivi la même procédure, la quantité d'huile essentielle et de Tween 20% se changent selon la concentration que nous avons voulu obtenir.

Nous avons mis en place trois types de témoins pour notre expérience (Figure 11). Le premier est un témoin positif, où nous avons appliqué un insecticide chimique homologué contenant du pirimiphos-méthyl (Figure12), utilisé selon trois modes d'action différents (contact, ingestion et inhalation), avec trois répétitions. Le deuxième type de témoin est négatif, a suivi la même méthodologie, mais au lieu de l'insecticide chimique, nous avons utilisé une solution de Tween à 20% et de l'eau distillée. Le troisième type de témoin est témoin contrôle où nous avons mis que les adultes de *Tribolium* avec la farine pour évaluer l'effet de manque d'oxygène sur ces insectes.



**Figure11** : Dispositif des différents témoins de l'expérience (Photo originale,2024)



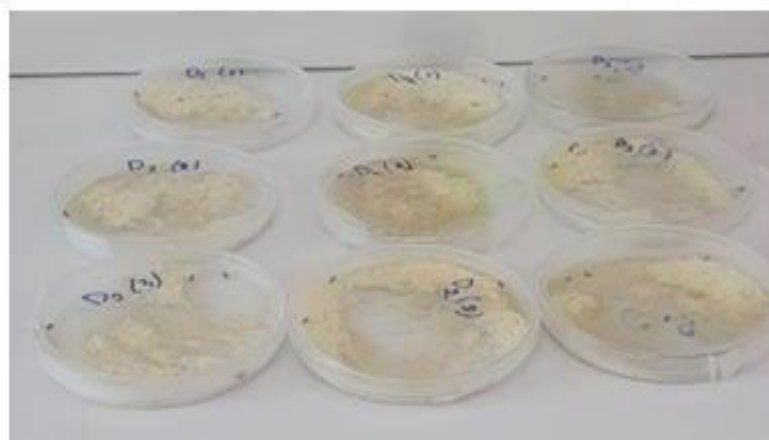
**Figure 12 :** L'insecticide utilisé dans cette étude (Photo originale,2024)

## 2.5. Tests réalisés

### 2.5.1. Test par Contact

Consiste à tester trois doses différentes des huiles essentielles étudiées, les traitements ont été administrés par contact direct sur les adultes de *Tribolium castaneum*. Le principe consiste à faire repartir d'une façon égale et homogène un volume de 1µL prélevé par micropipette. Ce test a été réalisé en utilisant différentes doses d'huile essentielle formulées au Tween 20% avec les doses suivantes : D1 : 0,5% ; D2 :0,7% et D3 :1%. Pour chaque dose, le test est répété trois fois, plus les témoins négatif et positif. L'évaluation de la mortalité a été réalisée après 24h, 48h et 72h. Il s'agit de dénombrer les individus morts. Les adultes ont été considéré comme morts lorsque, poussés avec une brosse fine. Ils ne montrent aucun mouvement d'appendice.

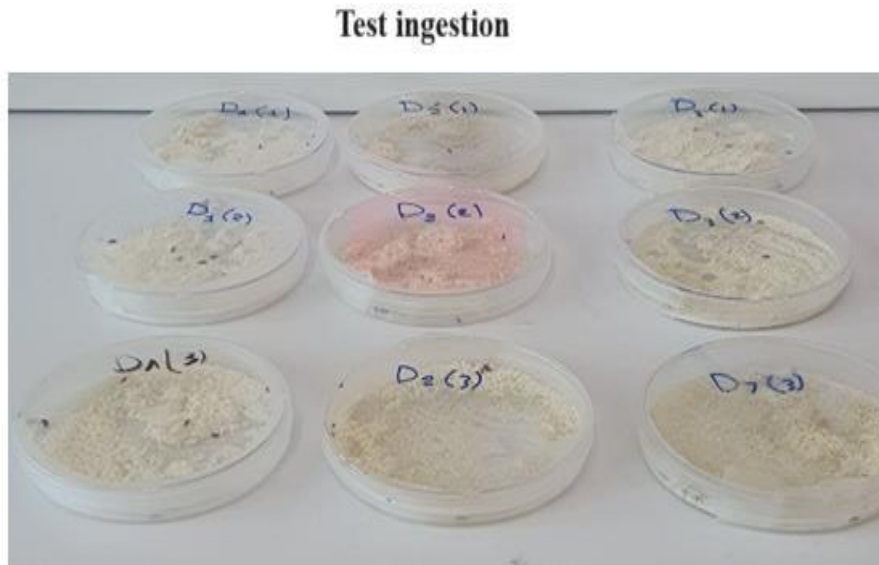
### Test contact



**Figure 13 :** Dispositif expérimental du traitement par contact (Photo originale, 2024)

### 2.5.2. Test par ingestion

Ce test consiste à ajouter une dose d'huile essentielle formulée d'*Origanum vulgare*, de *Rosmarinus officinalis*, de *Lavandula latifolia* et de *Cupressus sempervirens* à 10g de farine contenue dans une boîte de Pétri, l'ensemble est convenablement mélangé. Puis on dépose dans les boîtes 10 insectes adultes de *Tribolium castaneum* et on réalise un suivi pendant trois jours.



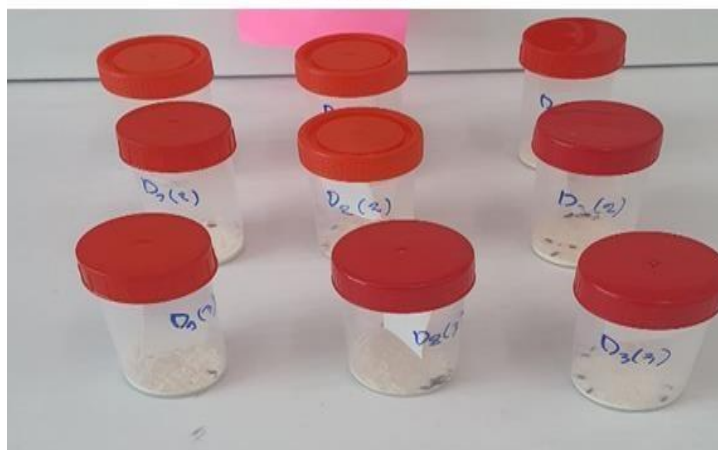
**Figure 14 :** Dispositif expérimental du traitement par ingestion (Photo originale,2024)

### 2.5.3. Test par inhalation

Dans des boîtes en plastique nous avons fixées sur le couvercle de chaque boîte du papier filtre sur lequel nous avons injecté une dose d'huile essentielle d'origan, de romarin, de lavande et de cyprès. Ensuite, les boîtes sont maintenues fermées pendant 10 min avant le dépôt des insectes pour saturer le milieu. Après, 10 individus adultes de *Tribolium castaneum* sont placés à l'intérieur des boîtes qui contiennent 10 gr de farine. La durée d'exposition des adultes aux vapeurs d'huiles essentielles varie de 24h à 72h. Pour chaque test et les témoins, le nombre de répétitions est de trois. Le comptage de mortalité est déterminé pour chaque dose, chaque répétition et pour chaque temps d'exposition et pour chaque huile essentielle (Figure15).



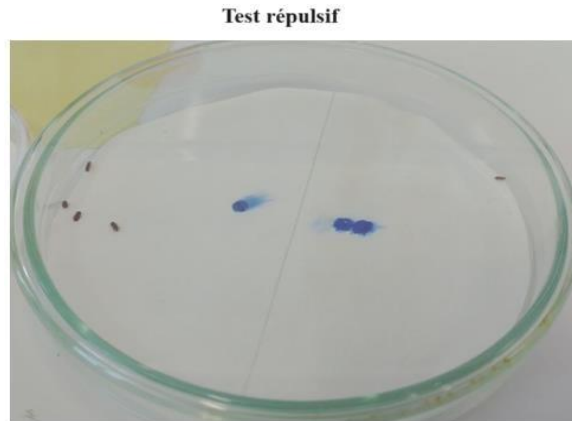
### Test inhalation



**Figure15** : Dispositif expérimental du traitement d'inhalation (Photo originale,2024)

#### 2.5.4. Test répulsif

Ce test est réalisé en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre (papier buvard), décrite par Mc Donald et *al.*, (1970). Le principe de ce test consiste à placer les disques du papier filtre ou Wattman de 8,5 cm dans chaque boîte de Pétri en verre après avoir été découpés en deux parties égales, 4,25 cm de diamètre de chacune. Une moitié de chaque disque est imprégnée dans de l'huile formulée à l'aide d'une micropipette, tandis que l'autre moitié, seul le tween a été utilisé. Une fois le solvant évaporé, les deux moitiés des disques ont été ressoudées au moyen d'une bande adhésive. Le disque de papier filtre ainsi reconstitué est placé dans une boîte de pétri et un lot de 10 insectes adultes a été placé au centre de chaque disque. Le nombre d'insectes présents sur la partie de papier filtre traitée par l'huile essentielle et le nombre de ceux présents sur la partie traitée uniquement au tween ont été relevés au bout d'une, deux heures et après quatre heures (Figure 16).



**Figure16 :** Dispositif expérimental du test répulsif (Photo originale,2024)

Le pourcentage de répulsion (PR) a été calculé en utilisant la formule suivante (Mc Donald et *al.*, 1970) : Pourcentage de répulsion

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

**NC :** le nombre d'insectes présents sur la partie du papier non traitée.

**NT :** le nombre d'insectes présents sur la partie du papier traitée avec les différentes doses.

Le pourcentage de répulsion moyen pour chaque dose est calculé et l'huile sera attribuée à l'une des différentes classes répulsives selon le classement de (Mc Donald et *al.* 1970) (Tableau1)

**Tableau1 :** Le classement de pourcentage de répulsion de Mc Donald et *al.* 1970.

<b>Classes</b>	<b>Intervalle de répulsion</b>	<b>Propriétés</b>
<b>Classes 0</b>	$PR \leq 0,1\%$	Pas de repulsion
<b>Classes I</b>	$0,1\% < PR \leq 20\%$	Très faiblement répulsif
<b>Classes II</b>	$20 \% < PR \leq 40\%$	Faiblement répulsif
<b>Classes III</b>	$40\% < PR \leq 60\%$	Modérément répulsif
<b>Classes IV</b>	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
<b>Classes V</b>	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif

### **3. La mortalité corrigée**

Les mortalités sont exprimées en pourcentage par rapport à la population initiale après les avoir corrigées préalablement selon la formule d'Abbot (1925) :

$$M = (P-T/S) \times 100$$

**M** : Mortalité corrigée exprimée en pourcentage de la population initiale

**P** : Mortalité induite sous l'action de la substance active.

**T** : Mortalité des témoins

**S** : Nombre de survivants pour les témoins.

### **4. Détermination des doses létales 50**

L'efficacité d'un toxique se mesure par sa DL<sub>50</sub> qui représente les quantités de substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus d'un même lot respectivement. Elles sont déduites à partir du tracé de régression des mortalités corrigées (Benazzeddine, 2010).

### **5. Analyse statistique**

Afin de vérifier une éventuelle efficacité des extraits vis-à-vis des populations de *Tribolium castaneum* testées et la comparaison entre les quatre huiles essentielles tout en considérant les dilutions et le temps d'exposition, nous avons utilisé le logiciel SYSTAT, ver. 12, SPSS 2009, en déterminant la variance à l'aide de l'ANOVA (Analysis of Variance) et le GLM (General Linear Model), les différences ont été considérées significatives à P < 0.05.

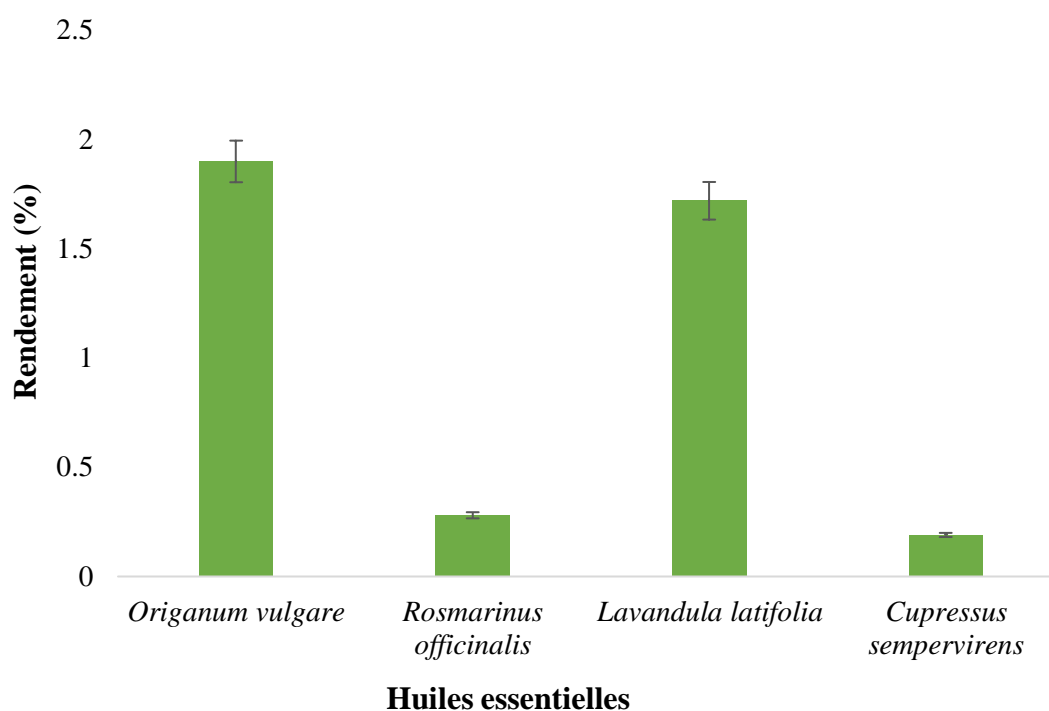
### III. Résultats et discussions

#### 1. Résultats

Les résultats correspondants à l'étude de l'effet insecticide de l'huile essentielle d'origan (*Origanum vulgare*), de romarin (*Rosmarinus officinalis*), de lavande (*Lavandula latifolia*) et de cyprès (*Cupressus sempervirens*), appliquées à différentes doses sur les populations de *Tribolium castaneum* (Herbst), par quatre voies d'exposition à savoir : contact, ingestion, inhalation et répulsivité, sont présentés dans cette partie.

##### 1.1 Le rendement en huile essentielle des plantes étudiées

L'hydrodistillation de la partie aérienne sèche de la plante *O. vulgare*, *R. officinalis*, *L. latifolia* et *C. sempervirens* a permis d'obtenir un rendement en huile essentielle de 0,19 à 1,9%. La plante *O. vulgare* est celle dont nous avons obtenu le rendement le plus élevé en huile essentielle (1,9%), suivi par le rendement de *L. latifolia* (1,72%). Le rendement le plus faible est celui de *R. officinalis* et *C. sempervirens* avec respectivement 0,28% et 0,19% (Figure 17).

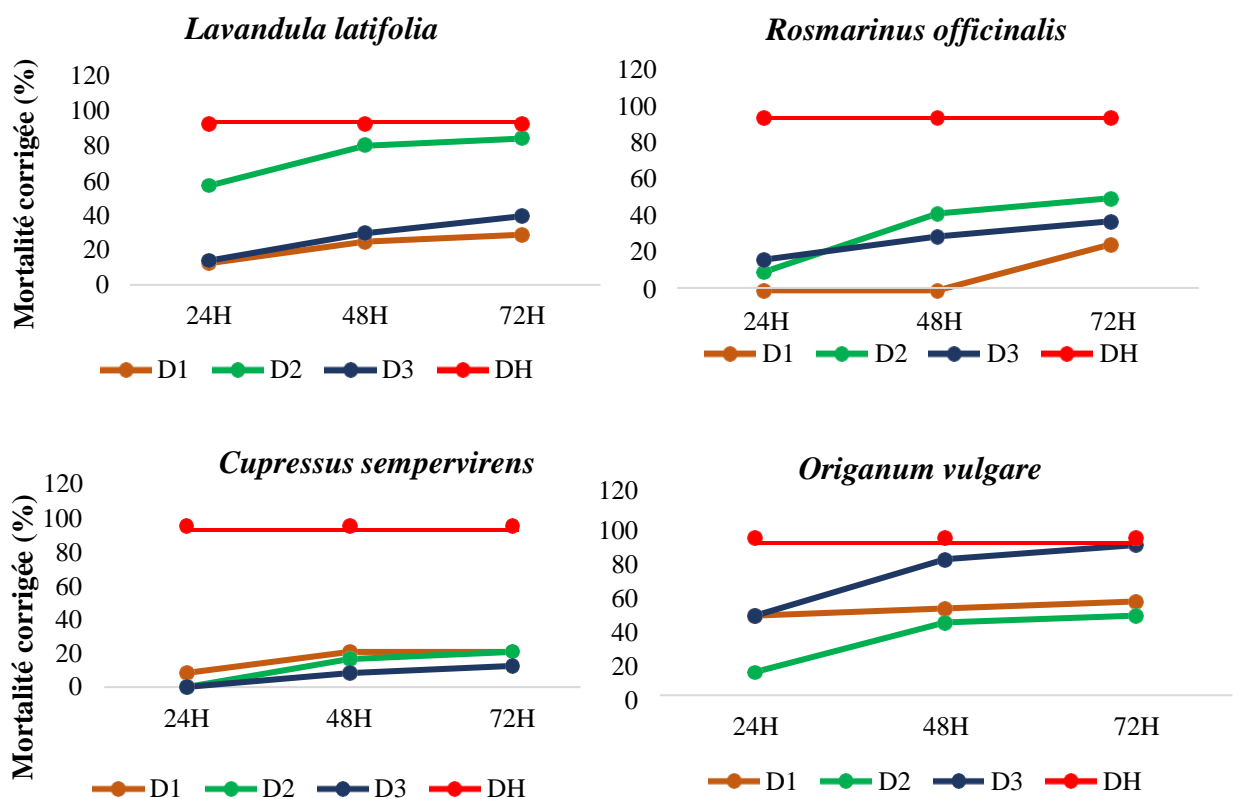


**Figure 17** : Pourcentage du rendement en huiles essentielles de l'origan, du romarin, de la lavande et du cyprès

## 1.2 Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles étudiées à l'égard des populations de *T. castaneum*

### 1.2.1. Fluctuation des taux de mortalité des adultes *T. castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par contact

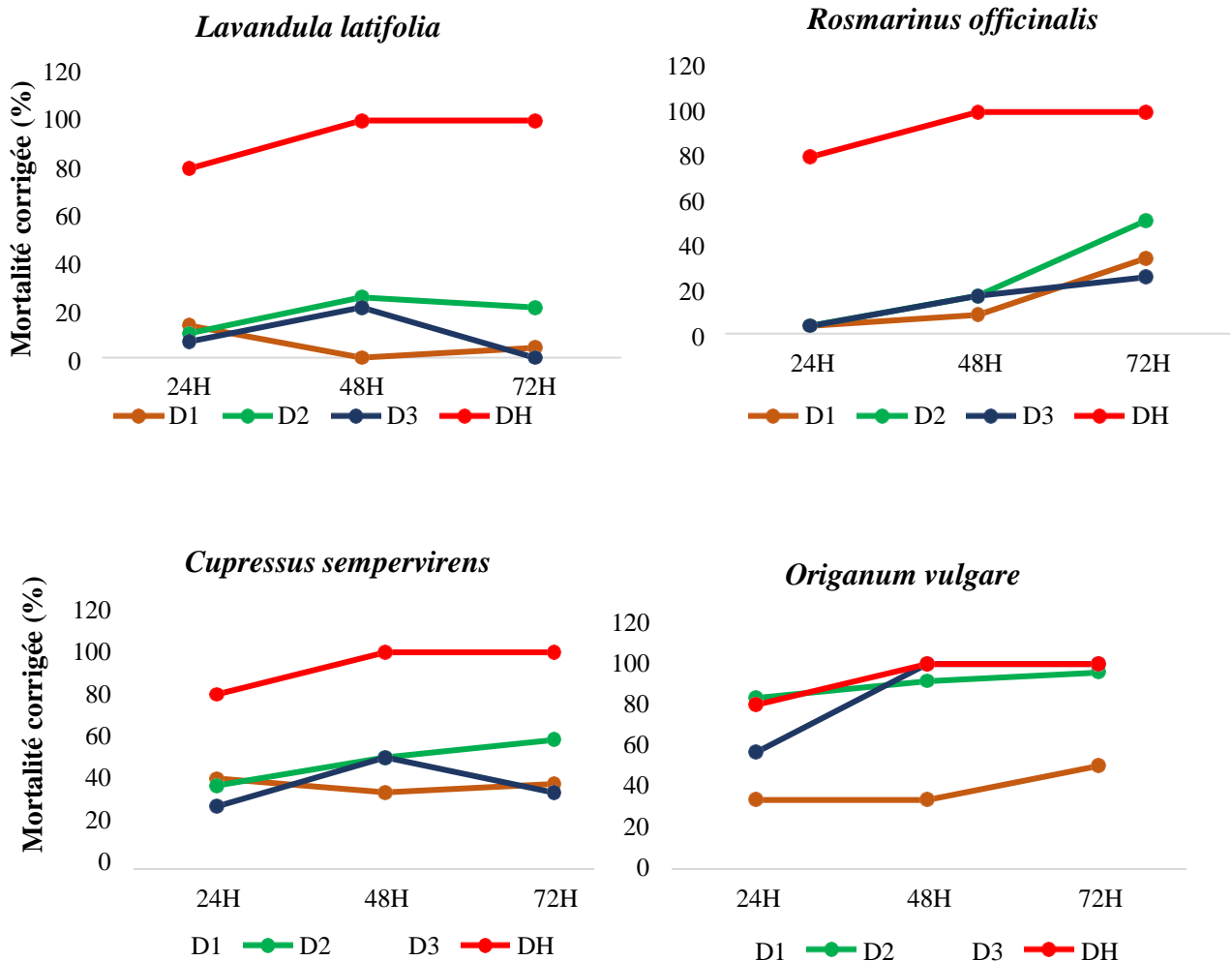
Les résultats obtenus après application des huiles essentielles d'*O. vulgare*, *R. officinalis*, *L. latifolia* et *C. sempervirens* par contact révèlent que ces huiles ont provoqué une mortalité qui varie de 0 à 92 % 100% sur la population du ravageur expérimenté. Les résultats de l'huile essentielle d'*O. vulgare*, testée par contact à l'égard des individus de *T. castaneum* montre un effet toxique proportionnel à la dose employée et du temps d'exposition, mais affiche un taux de mortalité qui dépasse les 50% dès 24h après traitement à la dose (D1) et un taux de mortalité corrigée de 92% à la plus forte dose (D3) (Figure18).



**Figure 18 :** Evolution temporelle du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par **Contact**.

### 1.2.2. Fluctuation des taux de mortalité des adultes *T. castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par ingestion

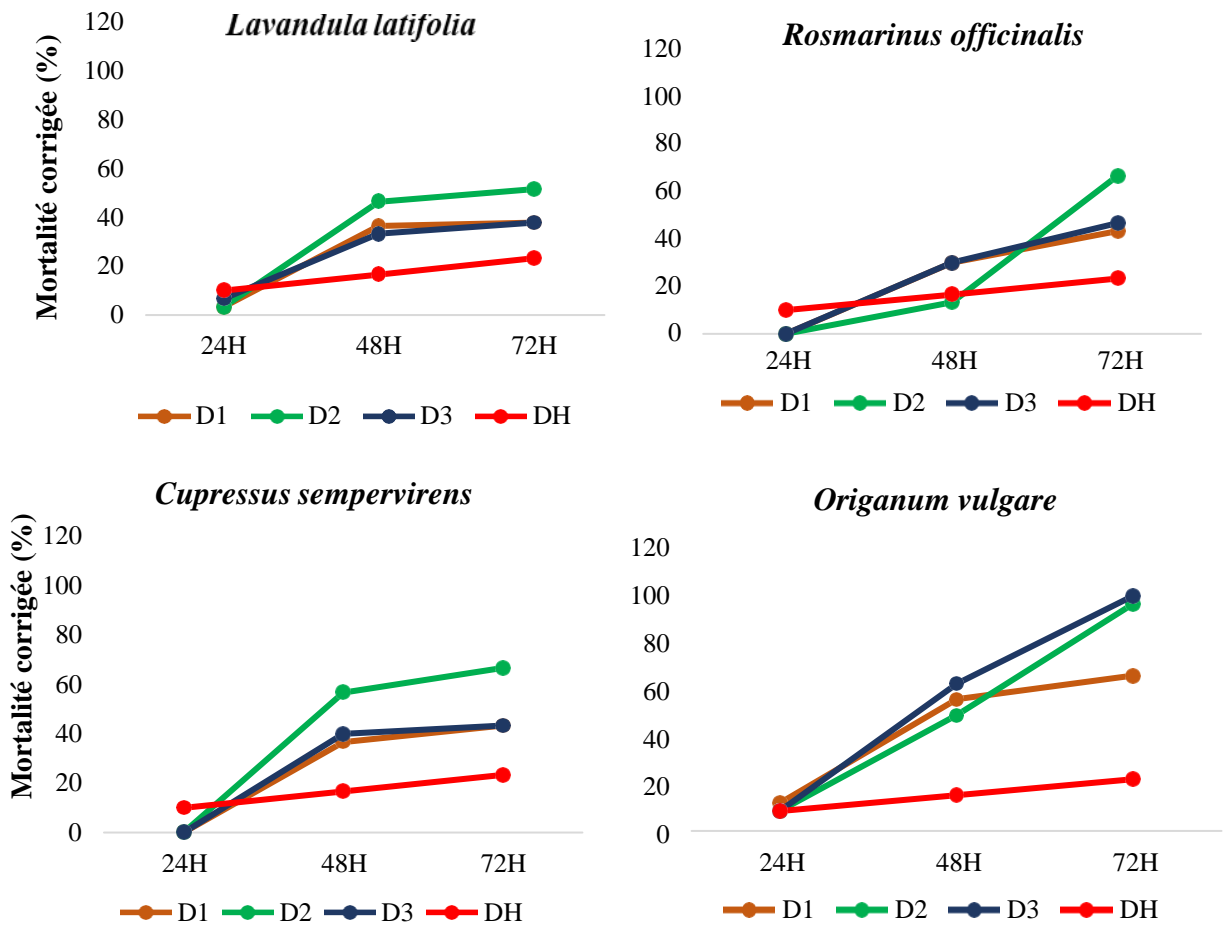
Pour l'huile essentielle d'*Origanum vulgare*, le taux de mortalité corrigé augmente avec la dose et le temps d'exposition. A la dose la plus élevée (D3), Le taux de mortalité atteint près de 100% après 72h d'exposition. Pour le romarin (*Rosmarinus officinalis*), l'effet insecticide par ingestion semble plus faible que pour l'origan. Le taux de mortalité maximum observé est d'environ 55% à la dose D3 après 72h. L'huile essentielle de *Cupressus sempervirens* a un effet intermédiaire, avec un taux de mortalité corrigé d'environ 70% à la dose maximale après 72h. *Lavandula latifolia* montre un effet insecticide plus faible par rapport aux autres huiles testées, avec un taux de mortalité maximal inférieur à 40% à la dose D3 après 72h. (Figure 19).



**Figure 19 :** Evolution temporelle du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par **Ingestion**.

### 1.2.3. Fluctuation des taux de mortalité des adultes *T. castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par inhalation

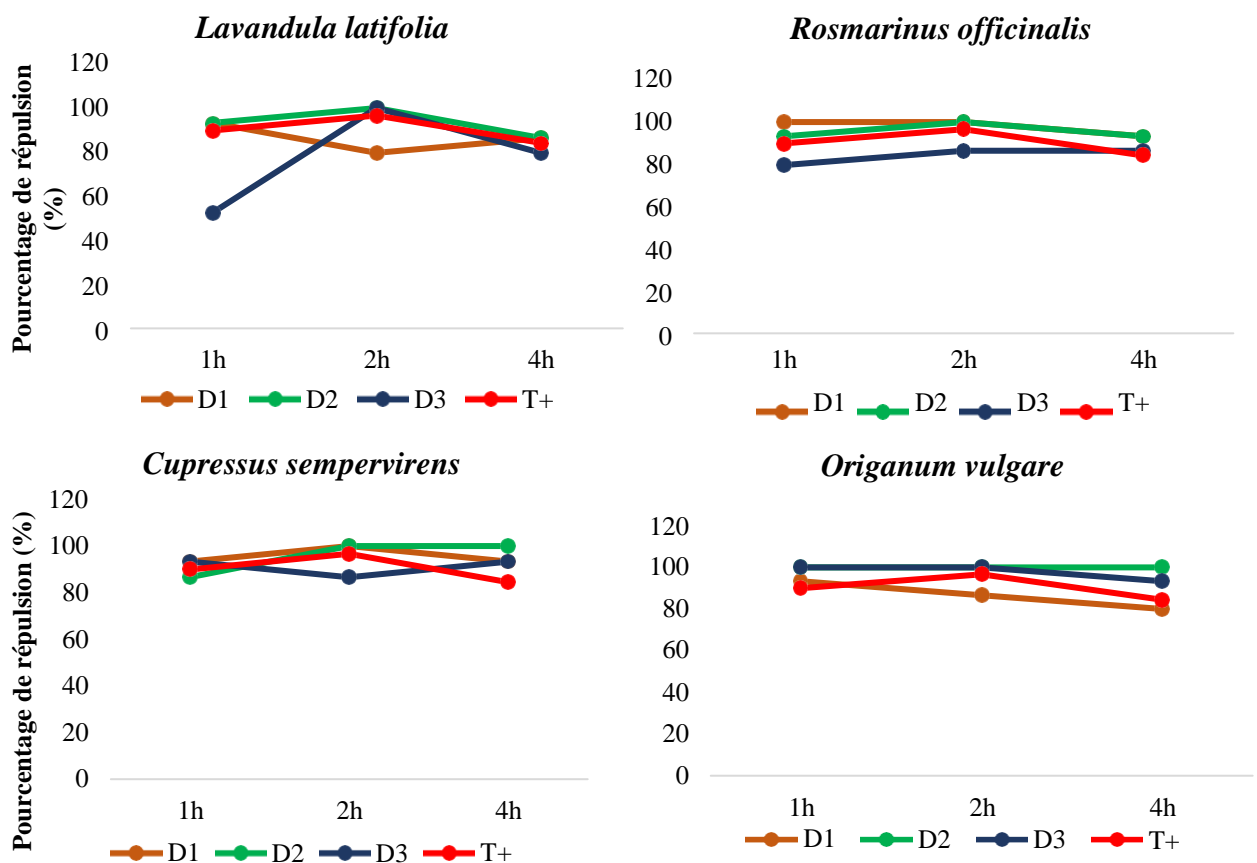
Les résultats de l'expérimentation avec les huiles essentielles *d'Origanum vulgare*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* et *Cupressus sempervirens* administrées par inhalation ont révélées des taux de mortalité variant de 0 à 100% au sein de la population de *Tribolium castaneum*. Plus spécifiquement, l'huile essentielle d'Origan a montré un effet toxique qui a été proportionnel à la dose appliquée et à la durée d'exposition. À la dose la plus faible (D1), un taux de mortalité dépassant les 50% a été observé dès 24 heures après le traitement, tandis qu'à la dose la plus élevée (D3), un taux de mortalité corrigée de 92% a été enregistré (Figure 20).



**Figure 20** Evolution temporelle du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par **Inhalation**.

### 1.2.4. Fluctuation des taux de mortalité des adultes *T. castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par répulsivité

Nous constatons un effet répulsif très marqué pour l'*Origanum vulgare*, avec un taux de de répulsion proche de 100% dès 1h d'exposition, quelle que soit la dose appliquée. Cet effet se maintient jusqu'à 4h d'exposition. Le romarin montre également un effet répulsif important, avec des taux de répulsion de 60 à 80% selon la dose après 4h d'exposition. L'effet répulsif de lavande est plus modéré, avec un maximum d'environ 50% de mortalité corrigée à la dose D3 après 4h. Le cyprès à l'effet répulsif le plus faible des 4 huiles testées, avec un taux de mortalité corrigée maximal d'environ 35% à D3 après 4h d'exposition. Donc l'exposition par répulsivité aux huiles essentielles ; l'origan, induit un effet insecticide très rapide et puissant chez *T. castaneum*, probablement lié à la toxicité des composés volatils répulsifs. L'effet dépend de la dose appliquée mais se manifeste quasiment dès la première heure d'exposition pour les doses les plus élevées (Figure 21).



**Figure 21 :** Evolution temporelle du taux de mortalité corrigée des huiles essentielles appliquées sur les populations de *T. castaneum* par **Répulsivité**.



### 1.3 Analyse de la variance pour le test d'efficacité des huiles essentielles étudiées par différents modes d'action sur les populations *Tribolium castaneum*

#### 1.3.1 Analyse de la variance du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet de l'huile essentielle de *Lavandula latifolia* appliquée par différents modes d'action

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) pour examiner l'évolution temporelle des taux de mortalité corrigée en fonction des doses et du temps d'exposition des populations de *Tribolium castaneum* soumises au traitement à base d'huile essentielle de lavande selon divers modes d'action, et nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus avec un insecticide conventionnel. Ce modèle nous a permis d'analyser l'effet spécifique des différents facteurs sans prendre en compte les interactions entre eux. Tous les résultats d'analyse sont présentés dans le Tableau 2 et la Figure 22.

**Tableau 2 :** Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle de lavande appliquée selon divers modes d'action sur les populations de *T. castaneum*.

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
<b>Doses</b>	14854.449	4	3713.612	6.738	0.001**
<b>Temps d'exposition</b>	2250.838	2	1125.419	2.042	0.149 <sup>NS</sup>
<b>Modes d'action</b>	6133.167	2	3066.583	5.564	0.009 **
<b>Error</b>	14880.218	27	551.119		

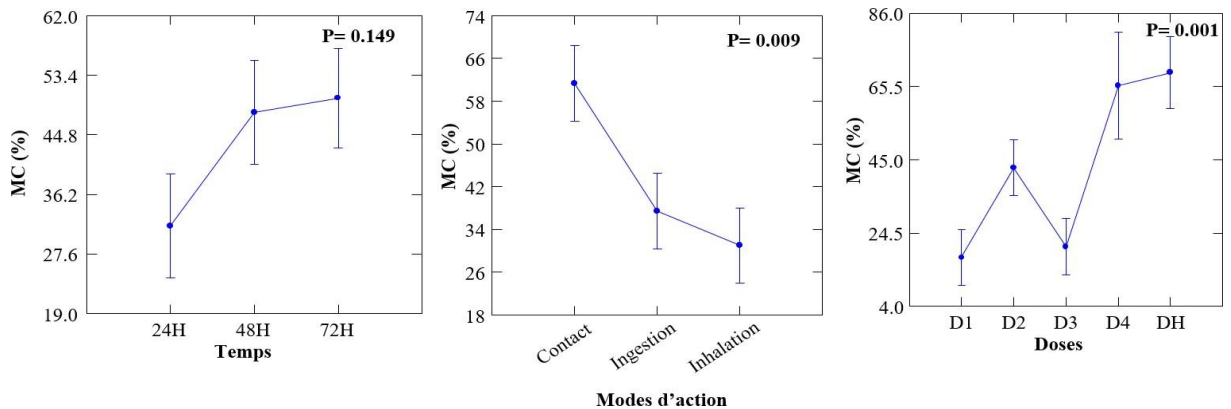
\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ;

\*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau ci-dessus désigne que les facteurs dose et modes d'action révèlent l'existence d'une différence hautement significative des taux de mortalité des populations de *Tribolium castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=6.738 ; p=0,001 ; F-ratio=5.564 ; p=0,009), par contre le facteur temps d'exposition désigne une différence non significative (F-ratio=2.042 ; p=0,149).

L'huile essentielle de la lavande testée à différentes doses présentent un effet toxique variable, cependant le mode d'action contact s'avère le plus efficace par rapport au mode d'action ingestion et inhalation. Le mode d'action par ingestion est légèrement plus efficace que l'inhalation.

Concernant l'effet du facteur temps d'exposition, la toxicité augmente progressivement avec le temps pour atteindre 50% après 72h d'exposition (Figure22).



**Figure 22 :** Effet de l'huile essentielle de lavande sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action. <sup>MC :</sup>  
Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.3.1 Analyse de la variance du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* appliquée par différents modes d'action

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) pour examiner l'évolution temporelle des taux de mortalité corrigée en fonction des doses et du temps d'exposition des populations de *Tribolium castaneum* soumises au traitement à base d'huile essentielle de romarin selon divers modes d'action, et nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus avec un insecticide conventionnel (Tableau 3 et Figure23).

**Tableau 3 :** Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle du romarin appliquée selon divers modes d'action sur les populations de *T. castaneum*.

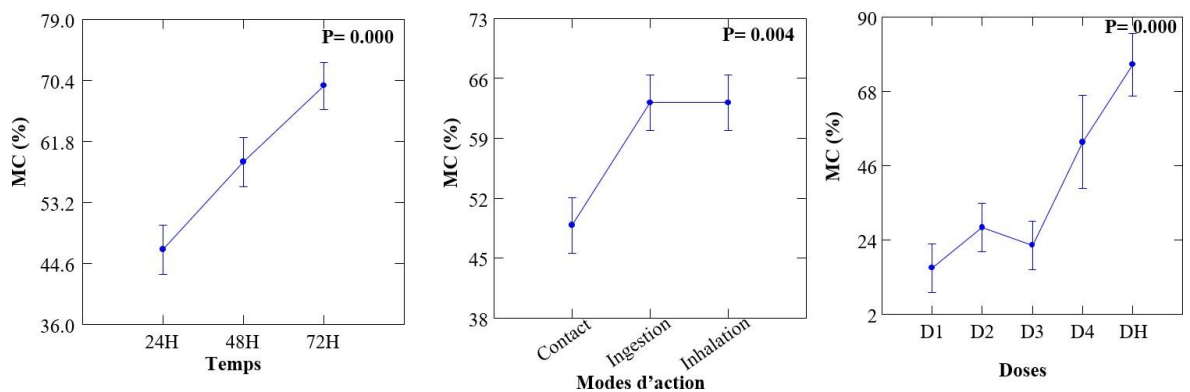
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
<b>Doses</b>	33990.380	4	8497.595	72.146	0.000***
<b>Temps d'exposition</b>	2624.074	2	1312.037	11.139	0.000***
<b>Modes d'action</b>	1643.556	2	821.778	6.977	0.004 **
<b>Error</b>	3180.148	27	117.783		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ;

\*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau ci-dessus mentionne d'une part, que les facteurs dose et temps d'exposition montrent une différence très hautement significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=72.146 ; P=0.000 / F-ratio=11.139 ; P=0.000) d'autre part, le facteur modes d'action désigne une différence hautement significative avec les valeurs suivantes : F-ratio=6.977 et p=0.004.

L'analyse montre que l'huile essentielle a un effet plus efficace par contact contre *T. castaneum*, avec un taux de mortalité maximal d'environ 55% à la dose maximale après 72h d'exposition. Le mode d'action par ingestion a également un effet insecticide notable, mais un peu inférieur au contact. En revanche, l'inhalation s'est révélée nettement moins efficace. L'augmentation des doses et du temps d'exposition permettent d'augmenter significativement les taux de mortalité obtenus. Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence le potentiel insecticide de l'huile essentielle de romarin, particulièrement par contact direct, mais aussi dans une moindre mesure par ingestion, sur les populations de *T. castaneum*. L'efficacité par inhalation reste toutefois limitée (Figure23).



**Figure23** : Effet de l'huile essentielle du romarin sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action. <sup>MC</sup> :

Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.3.2 Analyse de la variance du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet de l'huile essentielle de *Cupressus sempervirens* appliquée par différents modes d'action

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) pour examiner l'évolution temporelle des taux de mortalité corrigée en fonction des doses et du temps d'exposition des populations de *Tribolium castaneum* soumises au traitement à base d'huile

essentielle de cyprès selon divers modes d'action, et nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus avec un insecticide conventionnel (Tableau 4 et Figure 24).

**Tableau 4 :** Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle du cyprès appliquée selon divers modes d'action sur les populations de *T. castaneum*.

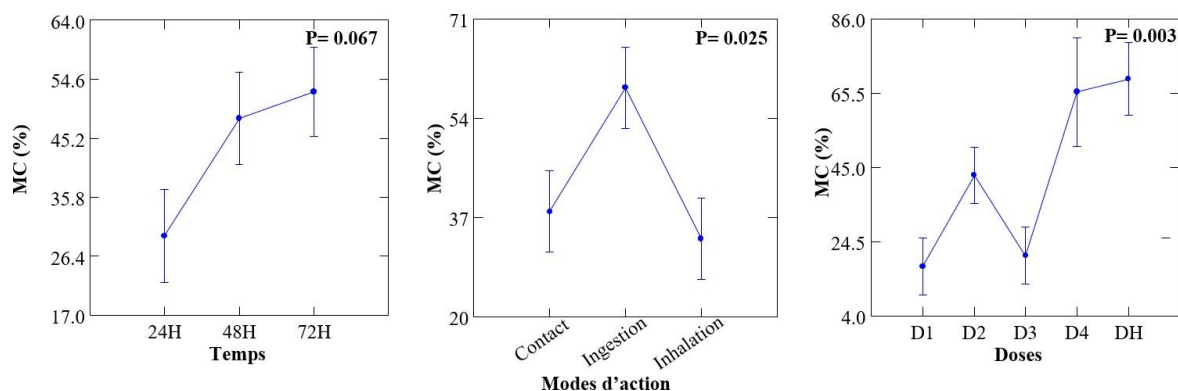
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
<b>Doses</b>	11573.088	4	2893.272	5.372	0.003**
<b>Temps d'exposition</b>	3220.949	2	1610.475	2.990	0.067*
<b>Modes d'action</b>	4548.667	2	2274.333	4.223	0.025*
<b>Error</b>	14541.495	27	538.574		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ;

\*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau précédent affiche que les facteurs temps d'exposition et modes d'action révèlent l'existence d'une différence significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=2.990 ; p=0.067 / F-ratio=4.223 ; p=0.025) et le facteur doses désigne existence d'une différence hautement significative avec les valeurs (F-ratio=5.372 et p=0.003).

Le mode par contact direct de l'huile essentielle de cyprès a un effet plus efficace que le mode ingestion contre *T. castaneum* avec un taux de mortalité pouvant atteindre environ 70% à la dose maximale après 72h d'exposition. L'inhalation s'est montrée peu efficace. L'augmentation des doses permet d'accroître la mortalité, tandis que le temps d'exposition a un impact plus limité. Donc, ces résultats montrent le potentiel insecticide modéré de l'huile essentielle de cyprès par contact et par ingestion et par inhalation moins efficace respectivement (figure 24).



**Figure 24 :** Effet de l'huile essentielle du cyprès sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action. <sup>MC :</sup>

Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.3.2 Analyse de la variance du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet de l'huile essentielle de *Origanum vulgare* appliquée par différents modes d'action

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) pour examiner l'évolution temporelle des taux de mortalité corrigée en fonction des doses et du temps d'exposition des populations de *Tribolium castaneum* soumises au traitement à base d'huile essentielle d'origan selon divers modes d'action, et nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus avec un insecticide conventionnel (Tableau 5 et Figure25).

**Tableau 5 :** Le modèle G.L.M. appliqué aux essais comparatifs évaluant l'effet de l'huile essentielle de l'origan appliquée selon divers modes d'action sur les populations de *T. castaneum*.

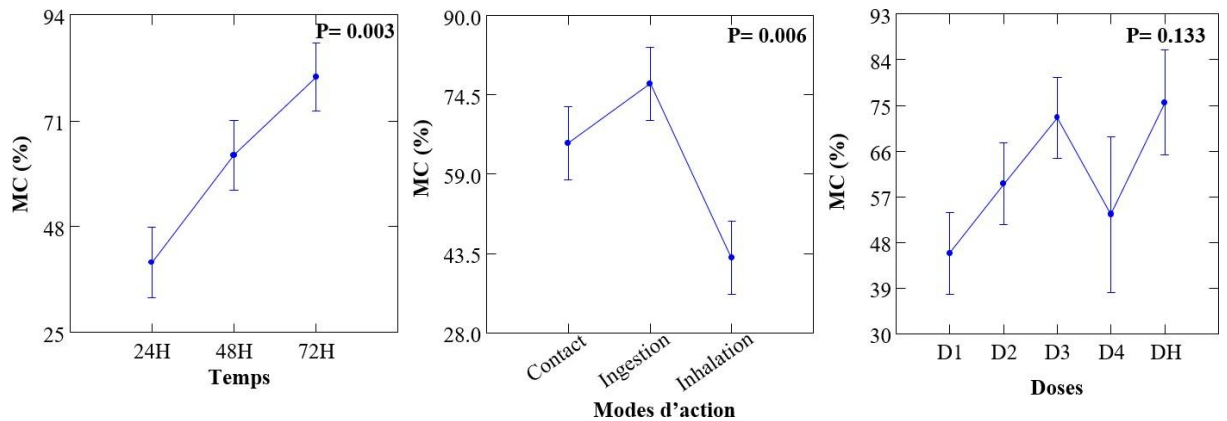
Source	Sum-of- quares	df	Mean-Square	F-ratio	P
<b>Doses</b>	4460.000	4	1115.000	1.936	0.133 <sup>NS</sup>
<b>Temps d'exposition</b>	8197.333	2	4098.667	7.118	0.003**
<b>Modes d'action</b>	7170.722	2	3585.361	6.226	0.006**
<b>Error</b>	15547.944	27	575.850		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ; \*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau précédent désigne que les facteurs temps d'exposition et modes d'action montrent qu'il existe une différence hautement significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=7.118 ; p=0.003 / F-

ratio=6.226 ; p=0.006). Par contre, le facteur doses désigne l'existence d'une différence non significative avec les valeurs suivantes :F-ratio=1.936 et p=0.133.

L'huile essentielle d'origan a montré un effet insecticide élevé contre *T. castaneum*, en particulier par contact et inhalation. Le taux de mortalité était élevé, dépassant 90% à la dose maximale. L'effet a été lié aux doses appliquées et au temps d'exposition. Ce dernier a un impact plus marqué que les doses sur le taux de mortalité (Figure25).



**Figure 25 :** Effet de l'huile essentielle de l'origan sur la mortalité corrigée de *T. castaneum* en fonction des doses, du temps d'exposition et des modes d'action.

MC : Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.2.1. Analyse comparative du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet de huiles essentielles appliquées par contact

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) afin de comparer la fluctuation des taux de mortalité corrigée en fonction du traitement, des doses appliquées et de la durée d'exposition des populations de *T. castaneum* par contact. Tous les résultats d'analyse sont résumés dans le tableau 6 et illustrés dans la figure 26.

**Tableau 6 :** Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par contact des différentes huiles essentielles étudiées sur le taux de mortalité corrigée de *Tribolium castaneum*.

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type de traitement	7671.563	3	2557.188	8.460	0.000***
Temps d'exposition	2635.792	2	1317.896	4.360	0.008**
Doses	35893.729	3	11964.576	39.581	0.117 <sup>NS</sup>
Error	11788.896	39	302.279		

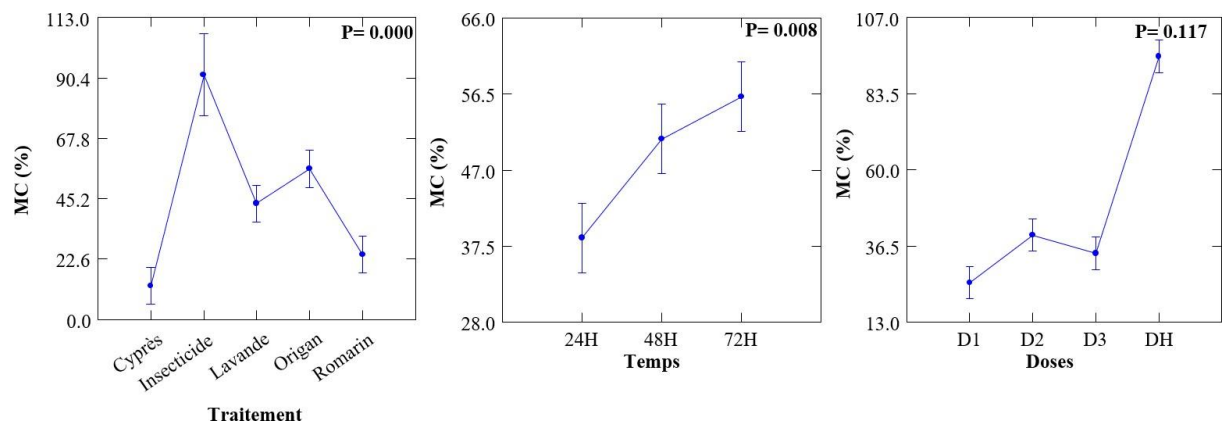
\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ;

\*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau ci-dessus désigne que les facteurs temps d'exposition et type de traitement révèlent l'existence d'une différence très hautement significative des taux de mortalité des populations de *Tribolium castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=4.360 ; p=0,008 ; F-ratio=8.460 ; p=0,000), par contre le facteur dose désigne une différence non significative (F-ratio=39.581 ; p=0,117).

Les quatre huiles essentielles testées présentent un effet toxique variable par contact sur les populations de *T. castaneum*. L'huile essentielle de l'origan est légèrement plus toxique (65%) que la lavande (54%), tandis que l'huile essentielle de romarin et du cyprès enregistrent le une toxicité moyenne à faible inférieure à 40%. Le facteur doses affiche un effet toxique variable sur les populations de *T. castaneum*.

Concernant l'effet du facteur temps d'exposition, la toxicité augmente progressivement avec le temps pour atteindre timidement les 56% après 72h d'exposition (Figure 26).



**Figure 26 :** Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par **contact**

MC : Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.2.2. Analyse comparative du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par ingestion

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) afin de comparer la fluctuation des taux de mortalité corrigée en fonction du traitement, des doses appliquées et de la durée d'exposition des populations de *T. castaneum* par ingestion. Tous les résultats d'analyse sont résumés dans le tableau 7 et illustrés dans la figure 27.

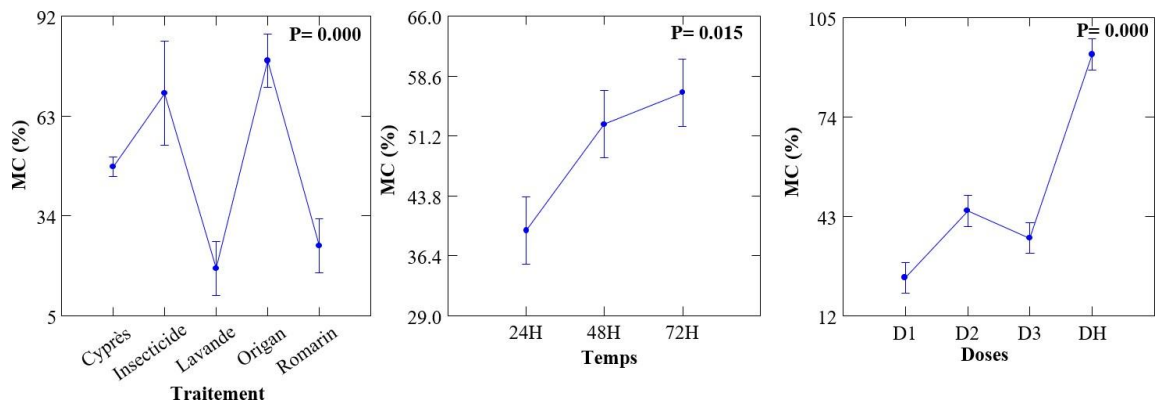
**Tableau 7 :** Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par ingestion des différentes huiles essentielles étudiées sur le taux de mortalité corrigée de *Tribolium castaneum*.

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type de traitement	15052.729	3	5017.576	18.033	0.000***
Temps d'exposition	2554.125	2	1277.062	4.590	0.015*
Doses	33287.729	3	11095.910	39.879	0.005**
Error	10851.229	39	278.237		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ; \*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau précédent affiche que le facteur type de traitement désigne l'existence d'une différence très hautement significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs :F-ratio=18.033 et P=0.000. Le facteur temps d'exposition révèle l'existence d'une différence significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs :F-ratio=4.590 et P=0.015. Enfin, le facteur doses montre qu'il existe une différence hautement significative avec les valeurs: F-ratio=39.879 et P=0.005.

Par ingestion, l'huile essentielle d'origan est la plus toxique, suivie de celles du cyprès, du romarin et de la lavande. Des différences significatives ont été observées en fonction des doses appliquées et du temps d'exposition. L'effet toxique était donc lié à la dose et à la durée d'exposition. Le type de traitement a également un impact très significatif sur les taux de mortalité obtenus par ingestion contre les populations de *T. castaneum* (Figure27).



**Figure 27 :** Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par **ingestion**

MC : Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée



### 1.2.3. Analyse comparative du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par inhalation

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.) afin de comparer la fluctuation des taux de mortalité corrigée en fonction du traitement, des doses appliquées et de la durée d'exposition des populations de *T. castaneum* par inhalation. Tous les résultats d'analyse sont résumés dans le tableau 8 et illustrés dans la figure 28.

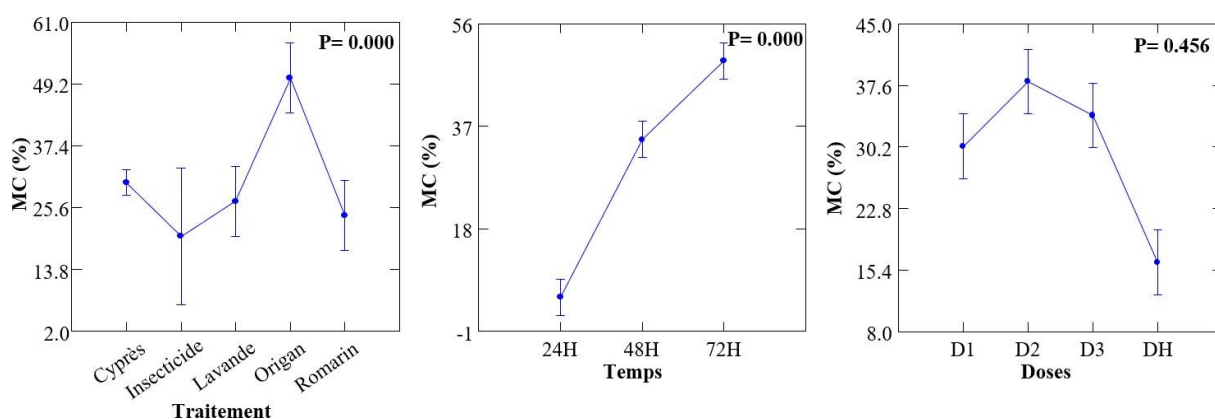
**Tableau 8** : Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par ingestion des différentes huiles essentielles étudiées sur le taux de mortalité corrigée de *Tribolium castaneum*.

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type de traitement	2870.333	3	956.778	5.259	0.000***
Temps d'exposition	15931.542	2	7965.771	43.781	0.000***
Doses	3212.833	3	1070.944	5.886	0.456 <sup>NS</sup>
Error	7095.958	39	181.948		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ; \*différence significative ; NS différence non significative

Le tableau ci-dessus mentionne que les facteurs type de traitement et temps d'exposition révèlent l'existence d'une différence très hautement significative des taux de mortalité des populations de *T. castaneum* avec les valeurs respectives (F-ratio=5.259 ; P=0.000- F-ratio=43.781 ; P=0.000), par contre, le facteur doses montre qu'il existe une différence non significative avec les valeurs suivantes : F-ratio=5.886 et P=0.456.

L'huile essentielle d'origan est de nouveau le plus toxique par inhalation, après celles du cyprès, du romarin et de la lavande. Le temps d'exposition a un impact plus modéré que les doses appliquées. Le type d'huile essentiel a aussi un effet très significatif sur la mortalité par inhalation chez *T. castaneum* (l'origan est le plus efficace) (figure28).



**Figure 28 :** Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par **inhalation**

MC : Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

#### 1.2.4. Analyse comparative du taux mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des huiles essentielles appliquées par répulsivité

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M.), de manière à étudier la variation temporelle du pourcentage de répulsivité en fonction des doses du et du temps d'exposition des populations du *T. castaneum*. Ce modèle permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre facteurs. L'ensemble des résultats d'analyses est consigné dans le tableau 9 et figure 29.

**Tableau 9 :** Modèle G.L.M. appliqué aux essais de traitements par répulsion des différentes huiles essentielles étudiées sur le taux de mortalité corrigée de *Tribolium castaneum*.

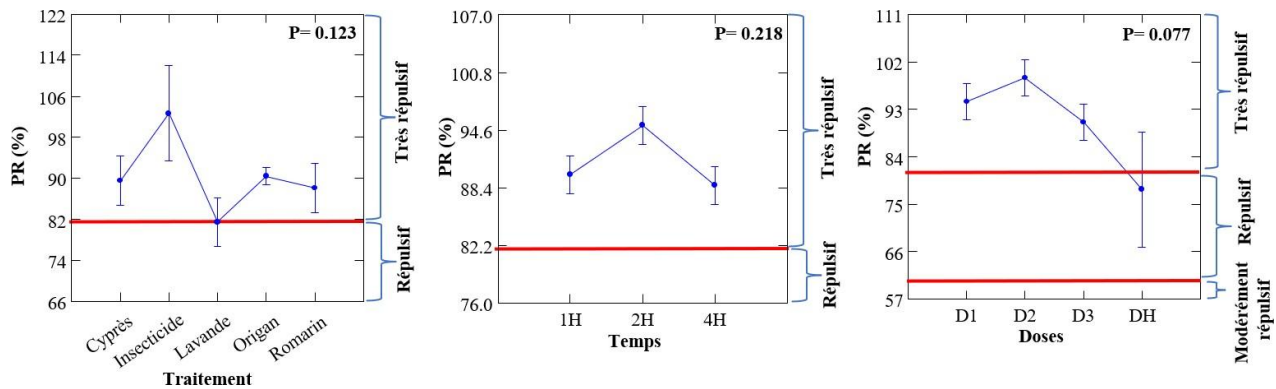
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
<b>Type de traitement</b>	449.000	3	149.667	2.085	0.123 <sup>NS</sup>
<b>Temps d'exposition</b>	230.205	2	115.103	1.603	0.218 <sup>NS</sup>
<b>Doses</b>	542.409	3	180.803	2.519	0.077*
<b>Error</b>	2153.628	30	71.788		

\*\*\* différence très hautement significative ; \*\*différence hautement significative ;

\*différence significative ; NS différence non significative

Les résultats du test ANOVA nous permettent d'avancer que les valeurs des pourcentages de répulsivité obtenues signalent la présence d'une différence

marginalement significative pour le facteur dose ( $p=0,077$  ;  $p>5\%$ ) et une différence non significative pour le facteur temps d'exposition ( $p=0,218$  ;  $p>0,001$ ) pour les différents types de traitements (huile essentielle et insecticide) car ces derniers s'avèrent très répulsives. La figure 30 démontre que l'insecticide chimique est modérément répulsif à la dose homologuée.



**Figure 29 :** Effet comparé des taux de mortalité de *Tribolium castaneum* sous l'effet des différents traitements, doses et temps d'exposition par **répulsion**

MC : Mortalité corrigée ; DH : Dose homologuée

### 1.3 Doses létales DL<sub>50</sub>

Les résultats obtenus ont permis de déterminer à partir des tableaux d'analyses des probabilités, les valeurs de la DL<sub>50</sub> de différents modes d'action des huiles essentielles d'*Origanum vulgare*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula latifolia* et *Cupressus sempervirens*. Les résultats montrent que les quatre huiles essentielles testées sont toxiques sur les populations de *Tribolium castaneum*. L'examen des valeurs des DL<sub>50</sub> après 24h d'exposition des adultes du tribolium pour le mode d'action inhalation, ingestion et contact, nous permet de déduire que l'huile essentielle appliquée possèdent une toxicité variable vis-à-vis des individus de *Tribolium castaneum* et la mortalité dépend de la dose et du mode d'action appliquée.

Les valeurs mentionnées dans le tableau 10 déterminent la quantité d'huile essentielle nécessaire pour causer le décès de la moitié des sujets exposés à la substance pendant 24h. Une DL<sub>50</sub> plus faible indique une toxicité plus élevée de la substance. Ainsi, les valeurs de la DL<sub>50</sub> les plus basses sont ceux de l'*Origanum vulgare* qui révèle une toxicité plus élevée (0.07 ppm) par inhalation par rapport aux autres huiles essentielles.

Les HE extraites de *Rosmarinus officinalis*, et de *Cupressus sempervirens* sont moins toxiques, avec une DL<sub>50</sub> (25.8 ppm ; 40 ppm) respectivement par inhalation.

L'huile essentielle la plus efficace est celle extraite de *l'Origanum vulgare*, avec une DL<sub>50</sub> de 0.56 ppm par contact. Les H.E. extraites de *Cupressus sempervirens* et de *Rosmarinus officinalis* sont moins toxiques, avec des DL<sub>50</sub> de 9.50 ppm et 22 ppm respectivement par contact. L'huile essentielle qui a un effet insecticide le plus élevée est celle de *l'Origanum vulgare*, avec une DL<sub>50</sub> de 1.25 ppm par ingestion. Les H.E extraites de *Rosmarinus officinalis* et *Cupressus sempervirens* sont moins toxiques par ingestion avec DL<sub>50</sub> respectives : 21.1 ppm et 43.50 ppm. Selon les résultats l'huile essentielle de *l'Origanum vulgare* a montré une activité adulticide élevée 0.07 ppm (par inhalation), suivie de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* 3.80 ppm (par inhalation).

Sur la base des valeurs de la DL<sub>50</sub> l'ordre de toxicité par rapport au mode d'action est le suivant : *Origanum vulgare* > *Lavandula latifolia* > *Rosmarinus officinalis* > *Cupressus sempervirens*.

**Tableau 10** : DL<sub>50</sub> calculées à partir des courbes probit pour chaque mode d'action et temps d'exposition des huiles essentielles de *Lavandula latifolia*, *Rosmarinus officinalis*, *Cupressus sempervirens* et d'*Origanum vulgare* sur les populations de *T. Castaneum* selon divers modes d'action

Huiles essentielles	Mode d'action	DL <sub>50</sub> à 24h
<i>Lavandula latifolia</i>	Contact	4.13
	Ingestion	4.60
	Inhalation	<b>3.80</b>
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Contact	22
	Ingestion	21.1
	Inhalation	25.8
<i>Cupressus sempervirens</i>	Contact	9.50
	Ingestion	43.50
	Inhalation	40
<i>Origanum vulgare</i>	Contact	0.56
	Ingestion	1.25
	Inhalation	<b>0.07</b>

## 2 Discussions

Dans notre étude, le rendement de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* atteint environ 1,9%. Comparé à d'autres travaux en Algérie, ce rendement dépasse celui obtenu par Bencharif (2018) à Jijel, qui a enregistré un rendement moyen de 0,23% pour la même espèce. Dans la région de Guelma, Bouhaddouda et *al.*, (2016) ont trouvé un rendement plus élevé de 2,52% pour la sous-espèce *O. vulgare glandulosum*, tandis que Mahfouf (2018) a signalé un rendement plus faible dans la même région. Derwich et *al.*, (2010) ont obtenu un rendement similaire pour l'origan du Maroc, autour de 1,86%. En

revanche, les espèces d'*Origanum vulgare* en Tunisie, selon Mechergui et al., (2010), ont présenté les rendements les plus bas, variant entre 0,1% et 0,7%.

Dans notre étude, le rendement en huile essentielle de *Lavandula latifolia* est évalué à 1,72%. En comparaison, Guellil et al., (2022) ont enregistré un rendement supérieur de 0,91% pour la même espèce dans la région de Blida. Hassiotis et al., (2014), ont obtenu un rendement de 2,8% pour la lavande aspic en Grèce. Cependant, Hassanpouraghdam et al., (2011), ont rapporté une baisse du rendement, de 1,5 à 2,5%, pour la même espèce cultivée dans le Nord-ouest de l'Iran. Dans une autre étude, les espèces de lavande aspic de la population de Piana, en Grèce, ont enregistré les rendements les plus bas, soit 1,1% (Hassiotis et al., 2014). En revanche, selon Herraiz-Peñalver et al., (2013), le cultivar 'Dani' a produit le meilleur rendement en Espagne, atteignant 5,5%.

Les échantillons de *Rosmarinus officinalis* ont donné un rendement relativement faible, d'environ 0,28%. En Algérie, ce rendement est inférieur à celui rapporté par plusieurs autres études, notamment Fechtal et al., (2001) avec 2,5%, Makhloufi (2011) avec 1,52%, Bahri et al., (2015) avec 0,58%, Outaleb (2016) avec des valeurs allant de 0,96% à 1,9%, et Tahir (2018) avec 0,4%, toutes utilisant la même méthode d'extraction. Les espèces de *Rosmarinus officinalis* du Haut Atlas, au Maroc, ont donné les rendements les plus bas, soit 0,2% (El Akhal et al., 2020). En Tunisie, Ghazali et al., (2013) ont obtenu de meilleurs résultats en se concentrant sur la sous-espèce Romarin musclé (*R. officinalis* var *traspicatus*). Par ailleurs, la recherche menée par Sefidkon et al., (2006) sur le romarin en Iran (Borujerd) a enregistré un rendement de 0,9 à 1,5%. Cependant, Angioni et al., (2006) ont observé une augmentation du rendement, de 1,5 à 2,2%, pour le romarin de Sardaigne, en Italie.

Les résultats de cette étude indiquent un rendement en huile essentielle de cyprès de 0,19%, ce qui est inférieur à ceux rapportés dans d'autres recherches. Bouricha et al., (2018) ont signalé un rendement de 0,5 à 1,8% pour le cyprès marocain, tandis que Dousti et al., (2020) ont observé un rendement encore plus bas, de 0,1 à 0,9%, pour le cyprès d'Iran. Les variétés de *Cupressus sempervirens* aspic d'Alborz, en Iran, ont enregistré les rendements les plus bas, allant de 0,1 à 0,9% (Dousti et al., 2020). Par ailleurs, selon El Kenawy et al., (2015), le cultivar 'Bright Crest' a présenté le meilleur rendement, soit 2,5%.

Les rendements en huiles essentielles sont influencés par une multitude de facteurs, notamment l'origine géographique de la récolte de l'espèce, le moment de la récolte, la partie de la plante utilisée, le processus de séchage et la méthode d'extraction. Des études antérieures ont souligné l'impact significatif de ces variables (Fadil et *al.*, 2014 ; Laurent, 2017 ; Hessas et Simoud, 2018 ; Alloun, 2019). De plus, des facteurs environnementaux tels que les conditions climatiques (chaleur, froid, stress hydrique), géographiques (altitude, type de sol, exposition au soleil), et génétiques (croisements naturels) peuvent également jouer un rôle déterminant dans la variation des rendements en huiles essentielles (Veres et *al.*, 2003).

Les plantes offrent des perspectives prometteuses en tant que sources alternatives aux insecticides actuellement utilisés (Kim et *al.*, 2003). Parmi ces solutions d'origine végétale, les plantes aromatiques se révèlent particulièrement remarquables, avec les huiles essentielles qu'elles contiennent souvent considérées comme la fraction bioactive principale (Shaaya et *al.*, 1997).

Bien que la production de composés volatils soit commune à toutes les plantes, seule une petite proportion, soit environ 10%, est classée comme "aromatique". Parmi les familles qui possèdent la capacité unique d'accumuler les huiles essentielles, on retrouve les *Cupressaceae* (cèdre), les *Pinaceae* (pin et sapin), les *Apiaceae* (coriandre), *Asteraceae* (camomille), *Geraniaceae* (géranium), *Illiciaceae* (anis), *Lamiaceae* (menthe), *Lauraceae* (cannelle), *Myristicaceae* (noix), *Myrtaceae* (eucalyptus), *Oleaceae* (jasmin), *Rosaceae* (rose), *Santalaceae* (bois de santal) et *Rutaceae* (citron), les *Poaceae* (vétiver) et *Zingiberaceae* (gingembre) (Spichiger, 2002 et Khandelwal, 2008).

La sécrétion des huiles essentielles se fait dans diverses parties de la plante, comme les fleurs (rose), les sommités fleuries (lavande), les feuilles (citronnelle), les écorces (cannelier), les racines (iris), les fruits (vanillier), les bulbes (ail), les rhizomes (gingembre) ou les graines (muscade). Dans certains cas, comme pour la lavande ou la sauge, c'est l'ensemble de la plante qui est utilisé (Serrato-Valenti et *al.*, 1997 et Parthasarathy et *al.*, 2008).

Dans cette étude, les effets insecticides et l'activité répulsive de l'huile essentielle de *Origanum vulgare*, de *Rosmarinus officinalis*, de *Lavandula latifolia* et de *Cupressus sempervirens* à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst) par le biais de

quatre méthodes d'exposition différentes ont été déterminés. Les résultats obtenus indiquent que ces huiles essentielles présentent une efficacité bioinsecticide et activité répulsive très prononcée, avec des taux variables en fonction de la dose de l'huile essentielle, du mode d'action ainsi que la durée d'exposition des insectes.

Les résultats de cette étude mettent en évidence une activité insecticide et répulsive significative pour les quatre huiles essentielles étudiées, avec des variations selon le type d'huile, la dose, la durée d'exposition et le mode d'action. L'huile essentielle d'*Origanum vulgare* se révèle être la plus efficace par rapport à celles de *Lavandula latifolia*, *Rosmarinus officinalis* et *Cupressus sempervirens*. Nos résultats soulignent également la sensibilité des insectes cibles aux différents modes d'action, en fonction de l'huile essentielle utilisée. Par ailleurs, l'efficacité insecticide des huiles essentielles testées augmente proportionnellement avec la dose et la durée d'exposition. L'effet insecticide des huiles essentielles par contact et par inhalation a été bien démontré contre les déprédateurs des denrées entreposées. De nombreuses recherches ont porté sur l'amélioration des formes d'utilisation des plantes qui permettent de renforcer et de rentabiliser leur activité insecticide (Isman, 1994).

D'après les résultats, l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* présente également un effet insecticide contre *T. castaneum*, notamment par ingestion. Les taux de mortalité observés sont significativement élevés, dépassant les 70% à la dose maximale. Des travaux de recherches, telles que celle menée par Ayvaz et al., (2009), ont également observé une mortalité élevée par ingestion chez les adultes de *C. maculatus* exposés aux huiles d'origan et de romarin. Il est probable que cet effet soit attribuable à la toxicité neurogène des composés monoterpéniques prédominants présents dans ces huiles, lesquels perturbent le système nerveux des insectes, comme l'ont suggéré Nait Mehdi et al., (2022).

Les essais réalisés avec différentes concentrations de l'huile essentielle de *Lavandula latifolia* démontrent une toxicité variable. Le mode d'action par contact (54%) se révèle être le plus efficace par rapport aux modes d'ingestion et d'inhalation. Bien que le mode d'ingestion présente une efficacité légèrement supérieure à celui de l'inhalation, il reste inférieur au mode par contact. Par ailleurs, Khemira et al., (2022) ont également démontré la toxicité par contact de la lavande contre *T. castaneum*. Récemment, une étude portée par Al-Ansari et al., (2021) indiquent l'effet insecticide très prononcé



de

l'huile essentielle de *L. latifolia* par fumigation (inhalation) et par contact contre l'espèce *Euphoria leucographa* (Coleoptera ; Scarabaeidae). Certains auteurs ont avéré que l'activité insecticide de *L. latifolia* est due principalement aux composés majoritaires de cette huile telle que de 1.8-cinéole, le linalool, l'eugénol,  $\alpha$ -terpinéol et le cymol ont été démontrées des activités insecticides sur plusieurs coléoptères tels que *Tribolium confusum* (Coleoptera:Tenebrionidae) (Obeng-Ofori et al., 1997). Najafian et al., (2012) ont rapporté que l'activité insecticide par fumigation est principalement due à la présence de champhre et de linalol dans l'huile essentielle de la lavande.

Concernant l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*, les résultats mettent en évidence son potentiel insecticide, principalement par ingestion, et dans une moindre mesure par inhalation, sur les populations de *T. castaneum*. Cependant, son efficacité par contact demeure limitée. L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* a montré divers degrés d'effet insecticide et répulsif contre le charançon du blé *Sitophilus granarius* (Teke et Mutlu 2020). Autres travaux réalisés confirment aussi l'effet insecticide des huiles essentielles de certaines plantes sur les ravageurs des denrées stockées comme *Lavandula angustifolia*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* contre : *Sitophilus oryzae*, *Rhyzoperthadominica* et *Tribolium castaneum* (Rozman et al., 2007).

Selon nos résultats, l'huile essentielle de *Cupressus sempervirens* présente une toxicité jugée acceptable par ingestion et inhalation, et elle exerce un effet répulsif sur les populations de *Tribolium castaneum*. Toutefois, par contact, sa toxicité se révèle modérée à faible, induisant une mortalité inférieure à 40%. En contraste, une étude menée par Tapondjou et al., (2005) a montré que les huiles essentielles de cyprès et d'eucalyptus étaient très efficaces contre *Sitophilus zeamais* et *Tribolium confusum* par contact, avec un taux de mortalité dépassant 80% pour les deux huiles.

Nos résultats révèlent que le facteur temps d'exposition est dose semblent avoir un effet sur la toxicité qui augmente progressivement avec le temps et la dose. L'efficacité des huiles essentielles en tant qu'insecticide peut varier en fonction de l'espèce d'insecte cible, de son stade de développement, de la dose et du mode d'exposition. Il est donc crucial de conduire des études supplémentaires pour améliorer leur utilisation dans la lutte intégrée contre les ravageurs des stocks (Khemira et al., 2022).

L'effet insecticide par inhalation était le suivant : origan > lavande > romarin > cyprès. Des études antérieures ont également justifié de la fumigation par l'huile d'origan à sa contenance a des composés phénoliques volatils (Ayvaz et *al.*, 2018 ; Albelahi et Linton, 2022). L'effet fumigant pourrait être attribué à l'inhibition de certaines enzymes essentielles suite à l'absorption des composés volatils par les insectes (Nenaah, 2014).

Les différences observées dans le pouvoir insecticide et répulsif des huiles essentielles, ainsi que leur variabilité en termes de toxicité par contact direct, ingestion ou inhalation, sont souvent attribuées à leur composition et à la diversité des composés bioactifs, qui varient selon les espèces végétales. Ces composés agissent directement sur la morphologie ou la physiologie des organismes nuisibles. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par plusieurs chercheurs, tant sur la même espèce que sur d'autres espèces ravageuses, comme en témoignent les travaux de Kordali et *al.*, (2006), Kim et *al.*, (2010), Kordali et *al.*, (2012), Ziaee et *al.*, (2014), Germinara et *al.*, (2015), Plata-Rueda et *al.*, (2018), Plata-Rueda et *al.*, (2020), Gong et Ren (2020), Teke et Mutlu (2020) ; Nait Mehdi et *al.*, (2022).

Les propriétés insecticides de nombreuses huiles essentielles sont principalement attribuées aux monoterpénoïdes, qui sont généralement volatils et lipophiles, leur permettant de pénétrer rapidement dans les insectes et d'interférer avec leurs fonctions physiologiques (Isman, 2000 ; Bakkali et *al.*, 2008 ; Coloma et *al.*, 2010 ; Regnault-Roger et *al.*, 2012 ; Reis et *al.*, 2014 ; Ayvaz et *al.*, 2018). Cette activité peut être expliquée par les principaux composés présents dans les huiles essentielles, notamment les groupes fonctionnels des composés majoritaires tels que les alcools, les phénols, les composés terpéniques et cétoniques (Carovic-Stanko et *al.*, 2010 ; Herman et *al.*, 2016). Des composés chimiques ayant une efficacité élevée et un large spectre d'action sont présents dans les huiles essentielles, en particulier les phénols (1,8 cinéole, carvacrol, octanol, etc.), les alcools ( $\alpha$ -terpineol, terpinen-4-ol, linalol), les aldéhydes, et les cétones (camphre, etc.) (Dorman et Deans, 2000 ; Sokovic et Griensven, 2006 ; Carovic-Stanko et *al.*, 2010 ; Herman et *al.*, 2016), ce qui explique leur activité insecticide sur les insectes des denrées stockées.

Toutefois, ce n'est pas uniquement les composés majoritaires des HE qui sont responsables de cette activité insecticide, mais il peut y avoir aussi d'autres composés minoritaires qui peuvent interagir d'une façon synergique (Nagmo et hance, 2007). Dans

ce sens, Sung-Eun Lee et *al.*, (2001) ont déclaré que la toxicité des huiles essentielles à des insectes entreposés est influencée par la composition chimique de l'huile qui à son tour dépend de la source, la saison, les conditions écologiques, la méthode d'extraction, le temps d'extraction et la partie utilisée de plante. Le type et la nature des constituants et leur concentration individuelle explique d'une part l'activité insecticide (Salido et *al.*, 2004 ; Paolini et *al.*, 2010 ; Sharifian et *al.*, 2012 ; Liu et *al.*, 2014 ; Zhang et *al.*, (2014), mais aussi le résultat d'une interaction synergique entre tous les composants d'autre part. Cependant, il serait difficile de lier les activités insecticides et répulsives des huiles uniquement à l'effet individuel des constituants de l'huile essentielle ; cela pourrait être dû à l'effet synergique de plusieurs éléments de l'huile. Des interactions complexes peuvent se produire entre les constituants majeurs et mineurs d'une manière synergique qui affecte l'activité insecticide. De même, les mélanges d'HE provenant de différentes plantes peuvent avoir une activité plus élevée que les extraits individuels de manière difficile à prédire (Geden, 2012).

Nos résultats mettent en évidence l'effet insecticide des huiles essentielles étudiées par contact, ingestion et inhalation, bien que les degrés de toxicité varient. Cependant, l'huile d'*Origanum vulgare* se révèle être la plus efficace, comme le montrent les calculs de DL<sub>50</sub> pour chaque mode d'action, avec les valeurs les plus basses indépendamment de la méthode d'exposition (par contact : DL<sub>50</sub> = 0,56 µL/Lair ; par ingestion : DL<sub>50</sub> = 1,25 µg/g ; par inhalation : DL<sub>50</sub> = 0,07 µL/L). Selon Regnault-Roger et *al.*, (2012) et Ayvaz et *al.*, (2018), l'origan présente une toxicité remarquable en raison de sa teneur en composés phénoliques tels que le carvacrol et le thymol, reconnus pour leur puissante activité insecticide.

En ce qui concerne l'huile essentielle de *Lavendula latifiola*, les résultats révèlent des DL<sub>50</sub> relativement faibles, indiquant une toxicité notable (par contact : DL<sub>50</sub> = 4,13 µL/L air ; par ingestion : DL<sub>50</sub> = 4,60 µg/g ; par inhalation : DL<sub>50</sub> = 3,80 µL/L air). Cette activité insecticide peut être attribuée aux composés principaux présents dans l'huile, tels que le linalol et le linalyl acétate (Benhalima et *al.*, 2004 ; Khemira et *al.*, 2022). Ces composés ont été associés à des effets insecticides significatifs dans des études antérieures.

Les huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* et de *Cupressus sempervirens* présentent une toxicité relativement faible, avec des valeurs de DL<sub>50</sub> indiquant une

certaine efficacité (pour le cyprès : par contact (9,50 µg/g) et inhalation (40 µL/L air) ; par ingestion (43,50 µg/g) ; pour le romarin : par contact (22 µg/g) ; par ingestion (21,1 µg/g) et par inhalation (25,8 µl/L air)). Cependant, malgré leur toxicité modérée, ces huiles de cyprès et de romarin contiennent des composés tels que l' $\alpha$ -pinène, le camphène ou le 1,8-cinéole, reconnus pour leur activité insecticide (González et *al.*, 2022 ; Nait Mehdi et *al.*, 2022).

## Conclusion

Cette étude nous a donné l'opportunité d'évaluer l'efficacité insecticide de plusieurs huiles essentielles (origan, romarin, lavande et cyprès) sur les populations adultes de *Tribolium castaneum*, en utilisant différents modes d'action (contact, ingestion, inhalation) ainsi que leur potentiel répulsif.

Les résultats indiquent que l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* s'est avérée la plus efficace contre *T. castaneum*, avec des taux de mortalité dépassant les 90% par contact, ingestion et inhalation aux doses les plus élevées après 72 heures d'exposition. Son action insecticide est remarquablement puissante et rapide, probablement en raison de la toxicité de ses composés volatils. En revanche, l'huile de *Rosmarinus officinalis* a montré un effet insecticide modéré par contact et ingestion, avec environ 55% de mortalité, mais faible par inhalation. De même, l'huile de *Cupressus sempervirens* a présenté une efficacité insecticide intermédiaire, notable par contact et ingestion mais légèrement moindre par inhalation. Enfin, l'huile de *Lavandula latifolia* s'est révélée la moins efficace parmi les quatre huiles testées, avec un taux maximal de mortalité inférieur à 40% par ingestion à la dose maximale.

Toutes les huiles ont montré un effet répulsif élevé contre *Tribolium* en particulier l'origan proche de 100% de répulsion et pour la plupart des huiles, le mode d'action par contact était le plus efficace, suivi de l'ingestion et de l'inhalation. Ces résultats mettent en évidence le potentiel insecticide des huiles essentielles étudiées, en particulier l'origan, pour lutter contre les ravageurs des stocks comme *T. castaneum*.

Ces résultats offrent une base scientifique robuste pour le développement et l'avenir de l'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes. Ils soulignent l'importance d'une étude approfondie et d'une discussion détaillée pour comprendre le mécanisme d'action de ces huiles essentielles et évaluer leur activité. Une meilleure compréhension de ces aspects pourrait permettre d'optimiser l'utilisation des huiles essentielles en tant qu'insecticides, tout en garantissant leur sécurité et leur efficacité.

## Références bibliographiques

- Abbott, W.S. (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265-267.
- Alloun, K. (2019).** Effet de la méthode d'extraction sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.). Thèse de doctorat, Université de Batna 2, Algérie.
- Albelahi, M. S., & Linton, R. H. (2022).** Susceptibility of the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, to essential oil fumigation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 501-507.
- Angioni, A., Barra, A., Arlorio, M., Coisson, J.D., Russo, M.T., Pirisi, F.M., ... & Cabras, P. (2006).** Chemical composition of the essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. from Sardinian plants. *Rivista Italiana EPPOS*, 32(1), 23-29.
- Ayvaz, A., Baser, K. H. C., Kürkçüoğlu, M., & Arimura, G. (2018).** Insecticidal effects of essential oils from eleven plant species from Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 42(4), 354-363.
- Ayvaz, A., Ozudogru, F. A., Gul, S., & Yesiloglu, T. (2009).** Subchronic toxic effects of essential oils from *Salvia triloba* and *Laurus nobilis* in mice. *Pharmaceutical Biology*, 47(5), 390-395. <https://doi.org/10.1080/13880200902749603>
- Ayvaz, A., Karahocagil, P., Aydogdu, H., Yumrutas, O., & Misirli, A. (2018).** Effects of some plant extracts and essential oils on the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Turkish Journal of Entomology*, 42(2), 149-158.
- Bahri, F., Romane, A., Chamekh, N. & Skhiri, F.H. (2015).** Composition chimique et activités biologiques des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. de la région de Tlemcen (Ouest algérien). *Phytothérapie*, 13(6), 376-383. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0952-x>
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils--a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
- Belyagoubi, Leila (2006).** Contribution à l'étude de l'activité antibactérienne et l'insecticide de quelques huiles essentielles extraites de plantes cultivées au Maroc. Thèse de doctorat, Université Mohammed V - Agdal, Rabat, Maroc.
- Benzeddine, A. (2010).** Écotoxicologie et étude de l'impact des polluants sur l'environnement (Doctoral dissertation), Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie.
- Benhalima, H., Chaudhry, M. Q., Mills, K. A., & Price, N. R. (2004).** Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Journal of Stored Products Research*, 40(3), 241-249.
- Bouhaddouda, N.M., Lahcen, O., Khalid, H., Boukhdhir, Z., Rhlalou, F., Belfaeid, F. (2016).** Assessment of genetic diversity and yield components of seven populations of white oregano (*Origanum vulgare* L.) in Central Morocco. *Journal of Agronomy*, 15(3), 108-117.

- Bouricha, N., Khoudali, S., Elhourri, M., Ammor, S., Bourkhiss, B., & Ouhammou, A. (2018).** Phytochemical study of essential oils extracted from six moroccan cypress species. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(1), 200-210.
- Brahim, E., Ferji, Z., Eyl-Ammari, K., Mehaoua, M. S., & Zidoune, L. M. (2020).** Lethal effect of essential oils from *Rosmarinus tournefortii*, *Origanum vulgare* and *Thymus ciliatus* on the cowpea weevil *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(3), 353-365.
- Caid, H.S., Siracusa, L., Smida, M., Gabsi, S., Artese, V., & Hammami, M. (2008).** Les principales altérations des céréales durant le stockage. *Annales de l'INRGREF*, 12, 128-146.
- Carović-Stanko, K., Orlić, S., Politeo, O., Strikić, F., Kolak, I., Milos, M., & Satovic, Z. (2010).** Composition and antibacterial activities of essential oils of seven *Ocimum* taxa. *Food Chemistry*, 119(1), 196-201.
- Chang, C.L., Aziz, N.A.A., Mustapha, F.A., Yusof, R., Zakaria, Z. (2017).** Pests of stored grains and their management. In: Sawston, C.A. (Ed.), *Integrated Pest Management in the Tropics*. CABI Publishing, Oxfordshire, pp. 31-52.
- Cissokho, P. S., Seck, D., Sidibé, B., & Babacar, S. (2015).** Évaluation des pertes post-récolte occasionnées par les insectes ravageurs sur le riz, le maïs et le niébé au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 93(1), 8711-8721.
- Coloma, A. G., Michavila, G., Zapata, A., Smagge, G., Viñuela, E., & del Estal, P. (2010).** Insecticidal/insect-repellent activity of 13 essential oil derivatives. *Pest Management Science*, 66(10), 1069-1074.
- Dabiré, L.C.B., Ouedraogo, A.P., Mah, S. (2008).** Insect pest incidence on stored maize grain production system in the north Sudan savannas of Burkina Faso. *Journal SAT Agricultural Research*, 6, 1-9.
- Dauguet, S., Fleurat-Lessard, F., Loison, J.P., Loison, G.S. (2006).** Lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées. *Phytoma-La Défense des Végétaux*, 591, 25-28.
- De Carvalho, M.O., Barros, G., Machado Neto, N.B., Ferreira, M. J. (2013).** A agricultura biológica em Portugal: Aplicação de insecticidas botânicos. *Revista de Ciências Agrárias*, 36(4), 405-418.
- Derwich, E., Benziane, Z., & Boukir, A. (2010).** Chemical composition and in vitro antibacterial
- Djermoun, Abdelkader (2009).** *L'agriculture en Algérie : Vécu et Perspectives*. Office des Publications Universitaires, Alger.
- Dorman, H. J. D., & Deans, S. G. (2000).** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88(2), 308-316.
- Dousti, M., Ramezani, R., & Almasi-Kashi, M. (2020).** Chemical composition of the leaf essential oils of some cypress (*Cupressus sempervirens* L.) cultivars grown in Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(1), 30-40.  
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2020.1724529>
- Edde, P.A. (2012).** A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, 48, 1-18.



- El Akhal, F., El Ouadi, Y., Greche, H., Guemmouh, R., & Hakam, A. (2020).** Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) du Haut Atlas marocain. *Phytothérapie*, 18(1), 11-16. <https://doi.org/10.3166/phyto-2020-0190>
- El Kenawy, A., Sakr, S., Bakr, R., & Aly, M. (2015).** Chemical composition and antimicrobial activity of cypress essential oils against some plant and soil pathogens. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(5), 1283-1288. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.895153>
- Fadil, M., Farah, A., Ihssane, B., Haloui, T., Rachiq, S., Lebrazi, S., & Mekhfi, H. (2014).** Étude de l'effet de l'origine géographique sur la composition chimique et le pouvoir antioxydant des huiles essentielles de *Thymus vulgaris* du Maroc. *Phytothérapie*, 12(4), 224-231.
- Fechtal, M., Willemen, H.X.D., Nkaoua, G., Baydoun, E., Bourachatt, K., Remmazz, Z. & Lakhiari, H. (2001).** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) d'origine marocaine. *Acta Botanica Gallica*, 148(3), 185-193.
- Germinara, G. S., De Cristofaro, A., & Rotundo, G. (2015).** Repellent activity of *Nepeta* and *Caryophyllus alata* essential oils against *Tribolium confusum* and *Sitophilus zeamais*. *Entomologia Generalis*, 35(1), 39-52.
- Ghazali, H.A., Hamdane, F., Munir, N., Bencheikh, R.S., & Mihoubi, D. (2013).** Composition chimique et rendement en huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* cueilli dans différents stades phénologiques. *Rivista Italiana EPPOS*, 101-106.
- Gong, X., & Ren, Y. (2020).** The insecticidal activities of the essential oil from *Coriandrum sativum* against *Tribolium castaneum*. *Natural Product Research*, 34(6), 866-869.
- González, J. O. W., Rosa, C. B. C. J., Leyva, M., Piña, T. E., Arana, J., Wincker, P., & Guerrero, A. (2022).** Insecticidal, repellent and biochemical effects of essential oils from conifer species against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Insects*, 13(3), 300.
- Guellil, M., Bouhadida, M., Gherib, A., Benmahiou, B., & Kaabeche, M. (2022).** Évaluation des performances agronomiques du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) dans la région de Blida, Algérie. *Revue des BioRessources*, 12(1), 23-35. <https://doi.org/10.35691/RBR.2022.12.001>
- Hagstrum, David W. et Bhadriraju Subramanyam (2009).** *Stored-Product Insect Resource*. AACC International, Inc.
- Hassanpouraghdam, M. B., Gohari, A., Shafii-Emareh, J., & Najarsamani, M. (2011).** The role of NaCl salinity on N and P uptake in mycorrhizal wheat. *World Applied Sciences Journal*, 12(4), 547-553.
- Hassiotis, C. N., Dordas, C. A., Poulouvassilis, A., & Chrissaki, E. (2014).** Lavender, *Lavandula angustifolia*, cultivated in Greece: The effect of the environment on its production of biomass and essential oil and the composition of the essential oil. *Industrial Crops and Products*, 57, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.015>

- Hassiotis, C.N., Tarantilis, P.A., Pappas, C. et Polissiou, M.G. (2014).** Étude de la composition chimique et de l'activité antioxydante d'huiles essentielles de différentes populations de *Lavandula stoechas* L. cultivées dans l'île grecque de Crète. *Journal of Essential Oil Research*, 26(2), 88-98.
- Hessas, A., & Simoud, S. (2018).** Influence de l'origine géographique sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. *Revue des Régions Arides*, 44(2), 97-105.
- Herman, A., Tambor, K., & Herman, A. (2016).** Linalool affects the antimicrobial efficacy of essential oils. *Current Microbiology*, 72(2), 165-172.
- Herraiz-Peñalver, D., Sanchez-Navarro, V., Badenes, M. L., & Ríos, G. (2013).** Fatty acid composition in kernel from mutation-derived high stearic acid and high oleic acid sunflower germplasm. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(8), 1193-1201.
- Isman, M. B. (1994).** Plant essential oils for pest and disease management (No. 631.888 I86). International Development Research Centre.
- Isman, M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop protection*, 19(8-10), 603-608.
- Isman, M. B. (2020).** Botanical insecticides in the twenty-first century---fulfilling their promise? *Annual review of entomology*, 65, 233-249.
- Jakubas-Zawalska, J., Piętka, T., Postek-Dolezych, S., Brzezińska-Rodak, M. et Żukiewicz-Sobczak, W. (2016).** Diversité des moisissures et des mycotoxines produites dans les céréales alimentaires de Pologne en 2010-2014. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość*, 3(106), 85--94.
- Khandelwal, K. R. (2008).** Practical pharmacognosy. Pragati Books Pvt. Ltd.
- Khater, H. F. (2012).** Ecosmart biorational insecticides: Alternative insect control strategies. In *Insecticides-Advances in Integrated Pest Management*. InTech.
- Khemira, H., Saidana-Nahal, D., & Chograni, H. (2022).** Chemical composition, insecticidal and anti-oxidant activities of essential oil from leaves of *Coriandrum sativum* L. cultivated in Southern Tunisia. *Natural Product Research*, 36(14), 3433-3439.
- Khemira, S., Hammi, K. M., Ali, I. B. M., & Najjar, T. (2022).** Insecticidal activity of essential oils from *Eucalyptus* and *Thymus* species against *Tribolium confusum* and their effects on nutrition physiology. *Journal of Applied Entomology*, 146(1-2), 84-95.
- Khemira, S., Khedher, S. B., Meksi, N., Sayadi, S., & Bchir, B. (2022).** Insecticidal activity of *Lavandula multifida* essential oil applied by direct contact and fumigation against the stored grain pest *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 93, 101911.
- Kim, S.I., Roh, J.Y., Kim, D.H., Lee, H.S. et Ahn, Y.J. (2003).** Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*, 39(3), 293-303. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(02\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(02)00017-6)
- Kordali, S., Aslan, I., Çalmaşur, O., & Cakir, A. (2006).** Toxicity of essential oils isolated from three *Artemisia* species and some of their major components to granary

weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Industrial Crops and Products*, 23(2), 162-170.

**Kordali, S., Kesdek, M., & Cakir, A. (2012).** Plant-derived insecticides: Potential of peel and seed extracts of *Opuntia ficus-indica*. *Records of Natural Products*, 6(3), 278-283.

**Lamboni, Y. et Hell, K. (2009).** Propagation des moisissures et production d'aflatoxines dans les systèmes de stockage traditionnels et les unités villageoises de transformation des arachides au Bénin. Rapport technique, Programme sur les mycotoxines, Centre International pour l'Agriculture Tropicale (CIAT), 57 p.

**Laurent, R. (2017).** Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de thym selon l'origine géographique et la période de récolte. *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 49(2), 114-120.

**Makhloufi, E. (2011).** Étude de l'activité antioxydante et de la composition chimique des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques d'Algérie (Thèse de doctorat). Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie.

**McDonald, C.E., Chen, R.S., and Winston, P.W. (1970).** Photosynthetic Rates and Diffusive Resistances in the Halophytes *Distichlis spicata* (L.) Greene and *Puccinellia nuttalliana* (Schultes) Hitchc. *New Phytologist*, 69(3), 615-623.

**Nadjla, B., Salah, R., Maamar, L., Zoubida, C., Houcine, M., & Abdelkader, C. (2013).** Étude de l'activité insecticide de l'huile essentielle extraite des feuilles d'*Eucalyptus globulus* sur la bruche *Acanthoscelides obtectus*. *Revue Agrobiologia*, 3(1), 333-344.

**Naït Meddi, L., Meddah, B., Moussaoui, A., & Lamamra, M. (2022).** Insecticidal activity of some essential oils from Apiaceae family against *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Research*, 46(1), 161-172.

**Ngamo, T. S., & Hance, T. (2007).** Diversité des ravageurs des denrées et semences au Cameroun. Dans 4. Réunion du Groupe de Travail en Protection des Végétaux de l'Afrique Centrale (Vol. 27).

**Outaleb, T. (2016).** Étude phytochimique et activités biologiques des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques de la région d'El-Oued (Thèse de doctorat). Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.

**Plata-Rueda, A., Campos, J. M., da Silva, G. B., Martínez, L. C., Santos, M. H., Fernandes, F. L., ... & Serrão, J. E. (2018).** Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Scientific Reports*, 8(1), 1-13.

**Plata-Rueda, A., Martínez, L. C., Dos Santos, M. H., Fernandes, F. L., Wilcken, C. F., Soares, M. A., ... & Serrão, J. E. (2020).** Insecticidal activity of garlic essential oil nanoformulations against *Sitophilus zeamais*. *Food Chemistry*, 312, 126086.

**Rajendran, S. (2002).** Postharvest pest losses. In: Pimentel, D. (Ed.), *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, New York, pp. 654-656.

**Reichmuth, C., Schöller, M., Ulrichs, C. (2007).** Stored product pests in grain commodities. *IOBC/wprs Bulletin*, 30(2), 173-178.

- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012).** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual review of entomology*, 57, 405-424.
- Reis, S. R. D., Barroso, M. E. S., Serrano, R., & Barroso, J. G. (2014).** Bioactives from carnivorous plants: Analysis, occurrences and bioactivities. *Comprehensive Analytical Chemistry*, 66, 1-38.
- Sefidkon, F., Abbasi, K., & Khaniki, G.B. (2006).** Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. *Food Chemistry*, 99(1), 19-23. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.026>
- Serrato-Valenti, G., Bisio, A., Cornara, L., & Ciarallo, G. (1997).** Structural and histochemical investigation of the glandular trichomes of *Salvia aurea* L. leaves, and chemical analysis of the essential oil. *Annals of Botany*, 79(3), 329-336.
- Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J. et Sukprakarn, C. (1997).** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33(1), 7-15. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(96\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00032-X)
- Soković, M. D., Vukojević, J., Marin, P. D., Brkić, D. D., Vajs, V., & Van Griensven, L. J. L. D. (2009).** Chemical composition of essential oils of *Thymus* and *Mentha* species and their antifungal activities. *Molecules*, 14(1), 238-249.
- Spichiger, R., Savolainen, V. V., Figeat, M., & Jeanmonod, D. (2002). *Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Teke, M. A., & Mutlu, Ç. (2020).** Insecticidal and repellent effects of some essential oils against the granary weevil, *Sitophilus granarius* L.(Coleoptera: Curculionidae). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(6), 559-569.
- Veres, K., Varga, E., Kéry, Á., Rizics, V., & Rab, J. (2003).** Influence of environmental factors on the yield of essential oil from the shoot of *Thymus vulgaris* L. *European Journal of Horticultural Science*, 68(3), 118-124.
- Waongo, A., Ngom, A., Hinnou, L.C., Sambou, V.M. et Malick Bal A.B. (2013).** Les insectes ravageurs des céréales et légumineuses récoltées au Sénégal: Etat des lieux et perspectives de recherche. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(4), 693-708.
- Ziaee, M., Moharramipour, S., & Mohseninezhadian, M. (2014).** Insecticidal efficacy of three medicinal plant essential oils against the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 47(4), 499-509.

# **Annexes**

## Annexe A

### *Rosmarinus officinalis*

**Classification:** Selon Cronquist (1981), le romarin est classé comme suit :

- Règne : Plantes
- Embranchement : Spermaphytes
- Classe : Magnioloopsides
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiacées
- Genre : *Rosmarinus*
- Espèce : *Rosmarinus officinalis* (L, 1753).

Le romarin est une espèce d'arbres touffus de 1 à 2 mètres de haut, toujours en couleur verte. Il a une grande ramification et est recouvert d'une écorce écailleuse portant des tiges ligneuses feuillées. Les racines ont une rotation constante (Moysse et Paris, 1971). Ce sont des feuilles opposées, persistantes et aromatiques. Elles sont rectilignes, mesurant entre 2 et 3 cm de long et entre 1 et 2 mm de large. Les feuilles sont d'un bleu pâle ou d'un lilas clair, bien tachées de violet. Les grappes sont placées à l'aisselle des feuilles. L'encloche du calice, la lèvre supérieure ovale, les lobes de la lèvre inférieure lancéolés. Deux étamines composent l'androcée. Les fruits se présentent sous forme de tetrakènes bruns et brillants (MOYSE et PARIS, 1971).

Selon Dellile (2007), la composition de l'huile de romarin est principalement composée d'alpha pinène (24,26%) et de camphre (13,09%).



**Figure 30 :** Plante de romarin (Karolina Grabowska, 2020)

## Annexe B

### *Cupressus sempervirens*

**Position systématique :** Selon Cronquist (1981)

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Viridiplantae
- Division : Pinophyta
- Classe : Pinopsida
- Ordre : Pinales
- Famille : Cupressaceae
- Genre : *Cupressus*
- Espèce : *C. sempervirens* L., 1735

Selon Janahi et al. (2019), *Cupressus sempervirens* est un arbre monoïque et à feuilles persistantes vert foncé, pouvant atteindre une hauteur de 20 à 30 mètres. Il est distingué par des cônes mâles et femelles ronds d'un gris brunâtre (Laoudi, 2023). On l'emploie comme ornement dans les jardins et comme brise-vent ; on utilise son bois pour fabriquer des meubles (Riou-Nivert, 2001 ; Manivannan et al., 2005). Sa résine est largement employée par voie orale pour traiter la toux et les maladies thoraciques (Bellakhdar, 1997). Selon Manivannan et al. (2005) et Almadiy (2021), les différentes parties de la plante possèdent des propriétés antibactériennes et anti-inflammatoires, tandis que l'huile essentielle de ses feuilles possède des propriétés antimicrobiennes et insecticides.



**Figure 31 :** Arbres de cyprès (originale, 2024)



## Annexe C

### *Origanum vulgare*

#### Classification:

- Règne: Plantae
- Embranchement: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Order: Lamiales
- Famille: Lamiaceae
- Genre: *Origanum*.
- Espèce: *Origanum vulgare* (Linné, 1753)

L'origan commun est une espèce d'herbes vivaces mesurant de 30 à 80 cm de haut, avec des feuillages et des fleurs parfumées lorsqu'elles sont froissées. Son parfum et sa saveur phénolée, épicée et chaude la distinguent ainsi (Dubois et al., 2006). Il s'agit d'une plante généralement peu rougeâtre, violacée, à poils. Elle est composée de nombreuses tiges dressées à la section carrée et ramifiées. Ces tiges peuvent survivre à l'hiver dans leur état initial. L'origan se caractérise par ses tiges. Elles sont dressées, souvent poilues, parfois glabres. Feuilles à bord entier ou denté (jusqu'à 30 paires par tige), avec des glandes sécrétrices sessiles non visibles.



**Figure 32:** plante de l'origan (Nikolett Emmert, 2023)



## Annexe D

### *Lavandula latifolia*

**Position systématique:** Selon Cronquist (1981)

- Règne: Plantae
- Division: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Ordre: Lamiales
- Famille: Lamiaceae
- Genre: *Lavandula*
- Espèce: *L. latifolia* (Medik., 1784)



**Figure 33:** plante de lavande (originale,2024)

La lavande est un arbuste qui peut atteindre une hauteur de 50 à 100 cm. Ses feuilles sont grises, rectilignes et persistantes. La tige d'inflorescence présente de nombreuses racines et forme habituellement un épi floral en forme de trident, mesurant jusqu'à 25 cm de haut. La corolle est très symétrique sur les deux côtés et de couleur bleue à mauve (Laoudi, 2019). La floraison est vers mi-juillet, plus tardivement par rapport à *L. angustifolia* (Lis-Balchin, 2002).

## Annexe E

### *Tribolium castaneum*

Selon (Lepesme ,1944) *Tribolium* roux occupe la systématique suivante :

- Règne: Animalia.
- Embranchement: Arthropoda.
- Classe: Insecta.
- Ordre: Coleoptera.
- Famille: Tenebrionidae.
- Genre: *Tribolium*.
- Espèce: *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

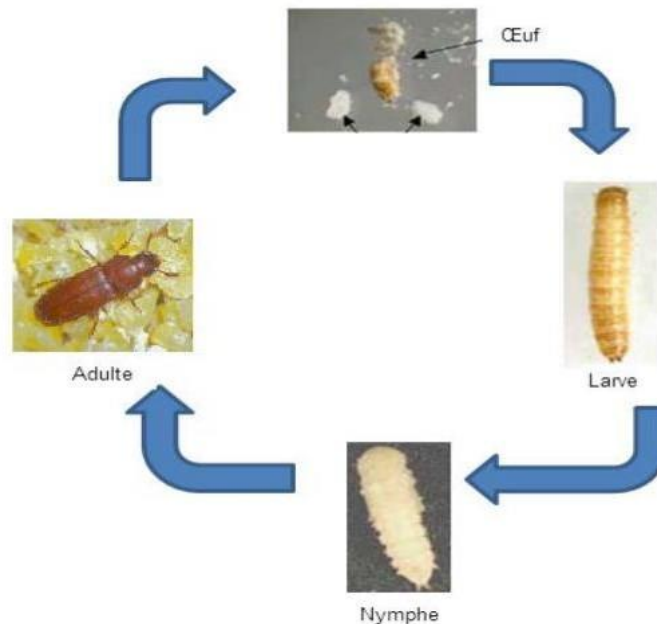


**Figure 34:** Adulte de *Tribolium castaneum* (originale,2024)

#### **Présentation de l'insecte:**

- *Tribolium castaneum*: un insecte de stocks le plus ubiquiste et le plus polyphage,
- Ravageur secondaire strict cause des dégâts importants sur les stocks des denrées amylacées, essentiellement les farines de céréales (Bonneton, 2010).
- Il est présent uniquement dans les stockages à température élevée (Christine, 2001).

## Développement:



**Figure35:** Cycle évolutif de *Tribolium castaneum* (Aoues,2018)

### 1. Œufs:

- La femelle dépose ses œufs en vrac sur les graines (Kassem, 2014).
- Ils sont blanchâtres ou sans couleur, leur taille est d'environ 5mm.
- Avec des particules de nourriture adhérentes à la surface (Godon et Wilim, 1998).

### 2. Larve:

- Les larves sont uniformes et pourvues de pattes (Godon et Wilim, 1998),
- La larve mesure 6mm, environ 8 fois plus longues que large, d'un jaune très pâle à maturité, avec quelques courtes soies jaunes.
- La capsule céphalique et la face dorsale sont légèrement rougeâtres.
- Ils sont mobiles et se nourrissent en passant par 5 à 11 mues de développement.
- A la fin de dernier stade la larve s'immobilise et cesse de se nourrir (Gueye et al., 2015).

### ➤ 3. Nymphe

- Elles sont immobiles (Gueye et al., 2015).
- La forme nymphale est cylindrique de couleur blanchâtre virant vers le jaune (Christine,2001).
- **4. Adulte**
- L'adulte émerge de la nymphe six jours après sa formation.
- Il mesure de 3 à 4mm, de couleur uniformément brune rougeâtre.
- Il est étroit, allongé, à bords parallèles.
- La tête et la partie supérieure du thorax sont couvertes de minuscules ponctions.
- Les ailes et les élytres sont striés sur toute leur longueur, le dernier article des antennes est légèrement renflé avec des yeux de couleurs rouges.
- Le prothorax a généralement des tranchants. La partie terminale de l'abdomen porte deux épines. (Christine, 2001).

**Dégâts:**

- Le *Tribolium castaneum* vit sous l'écorce des arbres dans la nature (Bonneton 2010).
- Il pénètre dans les habitations.
- Il est capable d'infester ; l'avoine grain et farine de blé de riz du maïs de l'orge du pois sec, du haricot, les graines de coton du cacao, du gingembre, des fruits secs surtout le figuier, et toutes légumineuses sous forme de farine, où il creuse des galeries, il leur teinte d'une couleur brune et une odeur âcre et rend la panification difficile (Camara, 2009).
- Le *Tribolium* favorise le développement de moisissures, qui réduisent la qualité et la valeur du grain.

## Study of the impact of several essential oils on *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) by exploring various modes of action

### Abstract

In Algeria, stored foodstuffs represent man's main food resource. Populations of *T. castaneum* are among the main pests responsible for the deterioration of these resources in storage areas, requiring the use of chemical insecticides. The aim of our study is to investigate the insecticidal effect of essential oils of *R. officinalis*, *L. latifolia*, *C. sempervirens* and *O. vulgare* on *Tribolium* adults by different modes of action: contact, ingestion, inhalation and repulsion. The results obtained show bio-insecticidal efficacy and repellent activity, with variations depending on the type of oil, the dose applied (0.5%, 0.7% and 1%), the mode of action and the exposure time (24H, 48H and 72H). Oregano essential oil proved to be the most effective, particularly by ingestion, with a mortality rate of over 70% at the maximum dose; followed by lavender essential oil, which showed high efficacy by contact (54%). On the other hand, rosemary and cypress essential oils showed low and variable efficacy compared with the two previous oils, rosemary demonstrating its insecticidal potential mainly by ingestion, and cypress showing acceptable mortality by ingestion and inhalation, but revealing low contact toxicity (below 40%). The four essential oils used had a repellent effect on *T. castaneum* populations. The LD50 of the oils indicates their order of toxicity, with oregano (by contact: LD50 = 0.56  $\mu\text{L/Lair}$ ; by ingestion: LD50 = 1.25  $\mu\text{g/g}$ ; by inhalation: LD50 = 0.07  $\mu\text{L/L}$ ), followed by lavender (by contact: LD50 = 4.13  $\mu\text{L/L air}$ ; by ingestion: LD50 = 4.60  $\mu\text{g/g}$ ; by inhalation: LD50 = 3.80  $\mu\text{L/L air}$ ), then rosemary (by contact LD50=22  $\mu\text{g/g}$ ; by ingestion: LD50=21.1  $\mu\text{g/g}$  by inhalation: LD50=25.8  $\mu\text{l/L air}$ ); finally cypress (by contact: LD50=9.50  $\mu\text{g/g}$ ; inhalation: LD50=40  $\mu\text{L/L air}$ ; by ingestion: LD50=43.50  $\mu\text{g/g}$ ) This research identified the bio-insecticidal toxicity of essential oil of *Origanum vulgare* and *Lavandula latifolia* on *Tribolium castaneum* highlighting variations in insecticidal efficacy depending on exposure mode and time as well as the dose factor.

**Keywords:** Bio-insecticidal activity, stored foodstuffs, essential oils, toxicity, *Tribolium castaneum*.

دراسة تأثير العديد من الزيوت العطرية على خنفساء الطحين الحمراء هيربست، 1797 من خلال استكشاف

## طرق العمل المختلفة

### ملخص

في الجزائر، تمثل المواد الغذائية المخزنة المورد الغذائي الرئيسي للإنسان. تعد مجموعات خنفساء الطحين الحمراء من الآفات الرئيسية المسؤولة عن تدهور هذه الموارد في مناطق التخزين، مما يتطلب استخدام المبيدات الحشرية الكيمائية. تهدف دراستنا إلى دراسة التأثير المبيد للحشرات للزيوت.

لعطرية لنباتات *R. officinalis* و *L. latifolia* و *C. sempervirens* و *O. vulgare* على بالغين الخنفساء من خلال طرق عمل مختلفة وهي: التالمس والبتالع والستنشاق والتنافر. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية المبيد الحيوي والنشاط الطارد مع اختلافات حسب نوع الزيت والجرعة المطبقة 0.5%، 0.7% و 1%، وطريقة العمل ومدة التعرض 24 ساعة، 48 ساعة و 72 ساعة. ثبت أن زيت الأريجان الأساسي هو الأكثر فعالية، خاصة عن طريق البتالع، حيث يتجاوز معدل الوفيات 70% عند الجرعة القصوى؛ يليه زيت الالفندر الأساسي الذي يظهر فعالية عالية عن طريق التالمس . 54% من ناحية أخرى، تظهر الزيوت العطرية من إكليل الجبل والسرو فعالية منخفضة ومتغيرة مقارنة بالزيتين السابقين، ويبرز إكليل الجبل قدرته كمبيد حشري بشكل رئيسي عن طريق البتالع، ويظهر السرو معدل وفيات مقبول عن طريق البتالع والستنشاق، لكنه يكشف عن سمية منخفضة عن طريق التالمس أقل من 40% الزيوت الأساسية الأربعة المطبقة لها نشاط طارد على مجموعات خنفساء

الطحين الحمراء. يشير LD50 من الزيوت إلى ترتيب سميتها، الأوريغانو عن طريق الاتصال LD50 0.56 = ميكرو لتر/لتر؛ عن طريق البتالع : LD50 1.25 = ميكروجرام/جم؛ عن طريق الستنشاق LD50 0.07 = ميكرو لتر/لتر، يليه الخزامى عن طريق الاتصال: الجرعة المميئة المتوسطة = 4.13 ميكرو لتر/لتر من الهواء؛ عن طريق البتالع: الجرعة المميئة المتوسطة = 4.60 ميكروجرام/جم؛ عن طريق الستنشاق: الجرعة المميئة المتوسطة = 3.80 ميكرو لتر/لتر من الهواء، ثم إكليل الجبل عن طريق الاتصال: الجرعة المميئة المتوسطة = 22 ميكروجرام/جم؛ عن طريق البتالع: الجرعة المميئة المتوسطة = 21.1 ميكروجرام/ غرام عن طريق الستنشاق: الجرعة المميئة المتوسطة = 25.8 ميكرو لتر/لتر من الهواء؛ أخي را السرو عن طريق الاتصال LD50 : 9.50 = ميكروجرام / جرام؛ الستنشاق 40 = : LD50 ميكرو لتر / لتر من الهواء؛ عن طريق البلع :

LD50 = 43.50 ميكروجرام / جرام حدد هذا البحث سمية المبيدات الحشرية الحيوية للزيوت العطرية لنبات *latifolia Lavandula* و *vulgare Origanum* على خنفساء الطحين يسلط الضوء على الاختلافات في فعالية المبيدات الحشرية اعتمادًا على طريقة ووقت التعرض بالإضافة إلى عامل الجرعة. الكلمات المفتاحية: نشاط المبيدات الحيوية، المواد الغذائية المخزنة، الزيوت العطرية، السمية، خنفساء الطحين الحمراء.