



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L' ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة البليدة 1



UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des biotechnologies et Agro Ecologie

Mémoire de fin d' étude
Pour l'obtention de diplôme de Master Académique en
Sciences de la Nature et de la Vie
Spécialité : Sciences Agronomiques
Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

THEME

**Etude comparative de l'activité de deux formulation
solides à base d'huiles essentielle sur les ravageurs
des denrées stockées : Cas du *Tribolium* sp**

Réalisé par : DJAZOULI Amel et BENNACEUR Nada

Devant le jury composé de :

Président :	M^{me} BABA AISSA K.	M.A.A	U. Blida 1
Encadreur :	M^{me} LEMITI S.	M.C.B	U. Blida 1
Co-encadreur :	M^{me} BRAHIMI L.	M.C.A	U. Blida 1
Examinatrice :	M^{me} BELKHOUMALI S.	M.A.B	U. Blida 1

Année Universitaire 2024/2025

Dédicace

D'abord, je remercie Allah le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la force, la patience et la santé nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, **Abdelkrim** et **Abla**, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leurs prières constantes. Qu'Allah vous protège et vous accorde longue vie.

À mes frères et sœurs : **Mohamed**, **Yamna**, **Zineb** et **Abdelrahmane**, pour leur affection, leur soutien moral et leur présence à mes côtés dans les moments les plus importants.

À ma chère famille **Djazouli** et **Bensaid**, dont l'amour, le soutien et la patience ont toujours été ma plus grande force.

À ma chère grand-mère **Safia**, Pour son amour inconditionnel, ses prières silencieuses et sa présence rassurante dans ma vie. Merci d'avoir toujours cru en moi.

À ma cousine **Selma**, pour son soutien précieux et ses encouragements sincères qui m'ont toujours portée vers le haut.

À mes amies proches, que je considère comme une seconde famille : **Amina**, **Maroua** pour votre amitié sincère, vos encouragements et votre soutien inconditionnel tout au long de cette aventure.

Une dédicace particulière à ma binôme et amie de toujours, **Nada**, pour sa patience, sa précieuse collaboration, son soutien quotidien et les efforts partagés avec bienveillance.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin.

Amel

Dédicace

Au nom d' Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont été ma force, mon pilier et mon soutien tout au long de mon parcours.

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs prières silencieuses. Qu' Allah vous protège et vous comble de Ses bienfaits.

À mon frère et ma petite sœur

À mes cousines adorées, Lidia, Hadil, Lina et Nihal, pour leurs mots doux et leur bienveillance.

À amou Azzeddine, le fidèle fournisseur de tout ce dont j' ai eu besoin dans ma vie scolaire. Mille mercis du fond du cœur.

À mes précieuses amies Maroua et Amina, pour les moments de rire, de partage et de soutien.

Et tout particulièrement à Amel, ma binôme, ma sœur de cœur, ma complice de chaque instant. Sans toi, cette aventure n' aurait jamais eu la même saveur.

Que Dieu vous bénisse tous.

Nada

Remerciements

On dit souvent que toute réussite est le fruit d'un chemin semé de défis, d'apprentissage, de rencontres, et de beaucoup de persévérance.

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la santé, la patience, la force et la sérénité nécessaires à l'accomplissement de ce travail. Que Sa lumière continue d'éclairer notre chemin dans chacun de nos projets.

Nos remerciements les plus sincères vont à M^{me} *Lemiti S.* (M.C.B) à l'Université de Saad Dahlab Blida 1, notre promotrice, pour sa disponibilité constante, la richesse de ses conseils, son accompagnement rigoureux, et surtout pour sa bienveillance et sa confiance tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son soutien a été pour nous un repère essentiel à chaque étape de ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à M^{me} *Brahimi L.* (M.C.A) à l'Université de Saad Dahlab Blida 1, notre co-promotrice, pour son aide précieuse et ses orientations, notamment dans la partie expérimentale de notre étude.

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail notamment la présidente du jury M^{me} *BABA AISSA K.* (M.A.A) à l'Université de Saad Dahlab Blida 1 et l'examinatrice M^{me} *BELKHOUMALI S.* (M.A.B) à l'Université de Saad Dahlab Blida 1. La qualité de leurs observations constructives et la pertinence de leurs remarques ont grandement contribué à enrichir notre réflexion et à améliorer la qualité de notre mémoire.

Nos remerciements vont aussi à M^r *Djazouli Z.E.* Professeur à l'Université de Saad Dahlab Blida1, pour ses conseils techniques et son accompagnement tout au long de notre travail.

Nos pensées reconnaissantes vont également à Mme Hassina, Ingénieure au laboratoire de phytopharmacie du département de Biotechnologie et Agro-Écologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'Université de Saad Dahlab Blida 1, pour son aide technique, sa disponibilité et sa contribution précieuse à la réussite de nos expérimentations.

Nous n'oublions pas l'ensemble des enseignants et enseignantes du département de Biotechnologie et Agro-Écologie, pour la qualité de l'enseignement reçu, leur encadrement et leur engagement durant tout notre parcours universitaire.

Résumé

Etude comparative de l'activité de deux formulation solides à base d'huiles essentielle sur les ravageurs des denrées stockées : Cas du *Tribolium sp*

Les huiles essentielles jouent désormais un rôle central dans les systèmes de lutte antiparasitaire, en fournissant une alternative aux traitements chimiques pour la protection des produits surchargés.

Le but de cette étude est d'évaluer et de comparer l'efficacité insecticide de deux formulations solides à base d'huiles essentielles (clou de girofle et origan) sur *Tribolium sp.*, un ravageur majeur des denrées stockées afin de proposer une alternative naturelle, durable et moins toxique aux insecticides chimiques utilisés en post-récolte.

L'expérimentation a été menée avec six doses de chaque huile essentielle (1g , 2g, 3g, 5g, 7g, et 10g de formulation avec la farine, appliquées en proportions égales sur des adultes de *Tribolium sp.* La mortalité a été enregistrée à intervalles réguliers (6h, 24h, 48h et 72h) pour déterminer l'efficacité des traitements. Un témoin sans huile essentielle a été inclus pour la comparaison.

Les résultats montrent que la toxicité varie d'une huile essentielle à l'autre. Cette toxicité dépend également de la dose, du mode d'application et du temps d'exposition. L'huile essentielle de clou de girofle s'est montrée nettement plus efficace, en particulier à la dose (D6) de 10 g, en induisant une mortalité rapide et prolongée avec une réduction marquée des populations résiduelles dès les premières 24h. En revanche, l'huile d'origan a présenté une efficacité plus modérée, caractérisée par une action rapide mais transitoire, sans persistance à long terme.

Mots-clés : *Tribolium sp.*, Huiles essentielles, formulation solide, Origan, Clou de girofle.

Abstract

Comparative study of the activity of two solid formulations based on essential oils against stored food pests: Case of *Tribolium* sp

Essential oils now play a central role in pest control systems, providing an alternative to chemical treatments for the protection of overloaded products.

The purpose of this study is to evaluate and compare the insecticidal efficacy of two solid formulations based on essential oils (clove and oregano) on *Tribolium* sp. , a major pest of stored commodities in order to offer a natural, sustainable and less toxic alternative to chemical insecticides used post-harvest.

The experiment was conducted with six doses of each essential oil (1g , 2g, 3g, 5g, 7g, and 10g formulation with flour, applied in equal proportions on adults of *Tribolium* sp. Mortality was recorded at regular intervals (6h, 24h, 48h and 72h) to determine the effectiveness of treatments. A control without essential oil was included for comparison.

The results show that toxicity varies from one essential oil to another. This toxicity also depends on the dose, the mode of application and the exposure time. The essential oil of cloves has been shown to be much more effective, especially at the dose (D6) of 10 g, by inducing rapid and prolonged mortality with a marked reduction in residual populations from the first 24 hours. In contrast, oregano oil exhibited a more moderate efficacy, characterized by rapid but transient action, without long-term persistence.

Keywords: *Tribolium* sp., Essential oils, solid formulation, Oregano, Clove.

الملخص

دراسة مقارنة لنشاط تركيبتي صلبتين على أساس الزيوت الأساسية ضد آفات المواد الغذائية المخزنة حالة:

"*Tribolium* sp."

تلعب الزيوت العطرية الآن دورًا محوريًا في أنظمة مكافحة الآفات، حيث توفر بديلاً للمعالجات الكيميائية لحماية المنتجات المثقلة.

تعتمدان الغرض من هذه الدراسة هو تقييم ومقارنة فعالية المبيدات الحشرية لتركيبتي صلبتين على الزيوت العطرية (القرنفل والأوريغانو) على تريبوليوم س.

وهي آفة رئيسية على للسلع المخزنة. والهدف هو تقديم بديل طبيعي ومستدام وأقل سمية للمبيدات الحشرية الكيميائية المستخدمة في مرحلة ما بعد الحصاد.

أجريت التجربة بست جرعات من كل زيت عطري (1 جم ، 2 جم، 3 جم، 5 جم، 7 جم، و10 جم) متساوية على البالغين من تريبوليوم س. مطبقة بنسب

تم تسجيل الوفيات على فترات منتظمة (6 ساعات، 24 ساعة، 48 ساعة، 72 ساعة) وتم تضمين شاهد بدون زيت أساسي لتحديد و مقارنة فعالية المعالجات.

وأظهرت النتائج أن السمية تختلف من زيت أساسي إلى آخر. وتعتمد هذه السمية أيضًا على الجرعة وطريقة التطبيق ووقت التعرض. لقد ثبت أن الزيت العطري للقرنفل أكثر فعالية بكثير، خاصة عند البالغة 10 جم، عن طريق إحداث وفيات سريعة وطويلة الأمد مع انخفاض ملحوظ (D6) الجرعة في أعداد السكان المتبقية خلال الـ 24 ساعة الأولى. في المقابل، أظهر زيت الأوريغانو فعالية أكثر اعتدالا، وتتميز بتأثير سريع ولكن عابر، دون ثبات طويل الأمد

كلمات المفتاح: تريبوليوم س.، الزيوت العطرية، التركيبة الصلبة، الأوريغانو، القرنفل

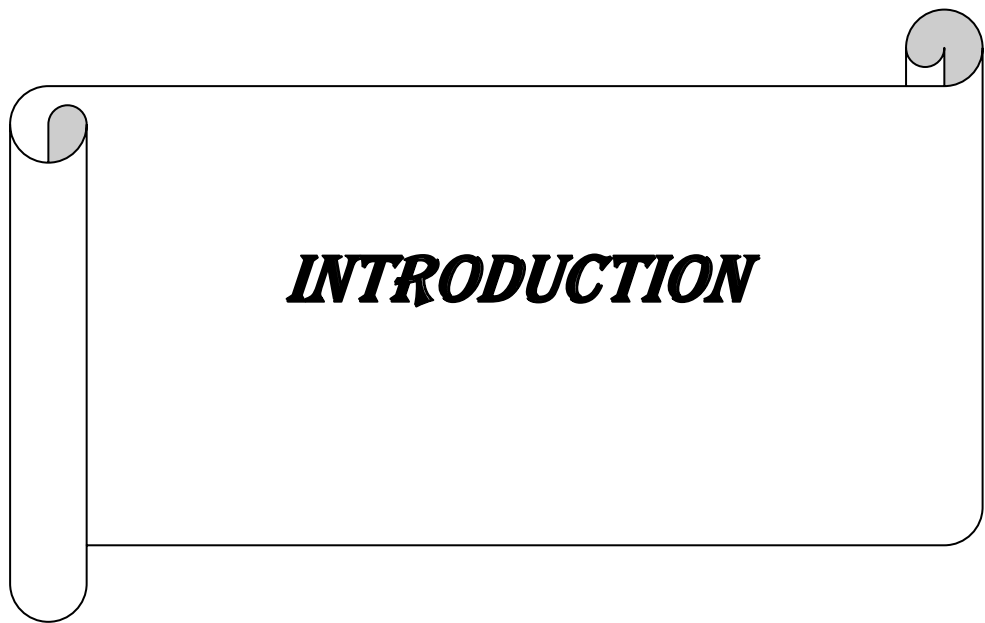
Liste des figures

Fig. 1 : Cycle de vie de <i>Tribolium</i> sp .	13
Fig 2 : Farine commerciale infestée par les adultes de <i>Tribolium</i> sp.	14
Fig. 3 : Huiles essentielles d'origan (<i>Origanum vulgare</i>) utilisées dans la formulation bio-insecticide	15
Fig. 4: Dispositif expérimental de l'exposition de <i>Tribolium</i> sp. à différentes doses de biopesticide solide.	17
Fig. 5 : Variation temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de l'origan	21
Fig. 6 : Variation temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de clou de girofle	22
Fig. 7 : Variation temporelle de la mortalité corrigée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de l'origan.	23
Fig. 8 : Variation temporelle de la mortalité corrigée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de clou de girofle	24
Fig. 9 Évolution temporelle des populations résiduelles de <i>Tribolium</i> sp. sous l'effet des différentes doses de la formulation solide à base d'huile essentielle d'origan	25
Fig. 10 : Évolution temporelle des populations résiduelles de <i>Tribolium</i> sp. sous l'effet des différentes doses de la formulation solide à base d'huile essentielle de clou de girofle	26
Fig. 11 : Tendances globale de la mortalité corrigée de <i>Tribolium</i> sp. sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles de l'origan (Or) et du Clou de girofle (CG)	28
Fig. 12 : Analyse des taux de la mortalité corrigée selon les doses et les biopesticides à base d'huiles essentielles (Partie positive de l'axe de l'ACP)	29
Fig. 13 : Analyse des taux de la mortalité corrigée selon les doses et les biopesticides à base d'huiles essentielles (Partie négative de l'axe de l'ACP)	30

Table des matières

Introduction.....	01
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	03
1.1 Importance des denrées stockées	03
1.2 Principaux ravageurs des denrées stockées	03
1.2.1 Les insectes	03
1.2.2 Les oiseaux	05
1.2.3 Les rongeurs	05
1.2.4 Les acariens	05
1.2.5 Les microorganismes des grains	06
1.2.6 Moyens de lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées	06
1.3 Généralités sur les huiles essentielles	09
1.3.1 Définition	09
1.3.2 Historique des huiles essentielles	09
1.3.3 Utilisation des huiles essentielles en tant que bio-pesticides	09
1.4 Généralités sur le <i>Tribolium</i> sp.	10
1.4.1 Définition	10
1.4.2 Classification	11
1.4.3 Origine géographique.....	11
1.4.4 Cycle biologique du <i>Tribolium</i> sp.	11
1.4.5 Dégâts du <i>Tribolium</i> sp.	13
Chapitre 2 : Matériel et méthodes	14
2.1 Objectif	14
2.2 Matériel d'étude	14
2.2.1 Matériel biologique	14
2.2.2 Formulations solides à base d'huiles essentielles	15
2.3 Méthodologie	15

2.3.2 Dispositif expérimental	16
2.4 Méthodes d'exploitation des résultats	18
2.4.1 Estimation de taux de mortalité	18
2.4.2 Estimation de taux de mortalité corrigée	18
2.6. Évaluation des populations résiduelles	18
2.7. Analyse statistique des résultats	19
Chapitre 3 : Résultats et Interprétations	20
3.1 Estimation de la mortalité observée sous l'effet des traitements	20
3.1.1 Estimation de la mortalité observée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan	20
3.1.2 Estimation de la mortalité observée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle	21
3.2 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet des traitements	22
3.2.1 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan	22
3.2.2 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle	23
3.3. Évaluation des populations résiduelles sous l'effet des traitements	24
3.3.1 Évaluation des populations résiduelles sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan	24
3.3.2 Évaluation des populations résiduelles sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle	25
3.4.Tendance globale de la mortalité corrigée de <i>Tribolium sp.</i> sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles	26
3.5.Étude comparée de la mortalité corrigée de <i>Tribolium sp.</i> sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles de l'origan et du Clou de girofle	29
Discussion	31
Conclusion générale	35
Références bibliographiques	37



INTRODUCTION

Introduction générale

Les aliments stockés sont un élément clé de la sécurité alimentaire mondiale, en particulier dans les pays en développement, où ils constituent une source de revenus et de nourriture pour de nombreuses personnes (FAO, 2019). Cependant, les produits sont très vulnérables à divers agents de détérioration tels que les insectes ravageurs, qui causent des pertes post-récolte allant jusqu'à 30 % dans certains pays (Hodges et Farrell, 2004). Parmi les principaux insectes ravageurs des produits stockés, le genre *Tribolium* est particulièrement redouté en raison de sa forte capacité de prolifération et de sa résistance aux conditions de stockage (Rees, 2004).

La guerre chimique, bien qu'efficace, se caractérise par des défauts majeurs tels que la résistance croisée des insectes, les nuisances nocives pour l'environnement et les humains ainsi que les résidus toxiques qui quittent les produits (Isman, 2000 ; Regnault-Roger et al., 2012). Par rapport à cela, les huiles essentielles (HE), obtenues à partir de plantes aromatiques, apparaissent comme une alternative célébrée. Elles se caractérisent par leurs propriétés insecticides, répulsives, antifongiques, antibactériennes, antioxydantes et leur biodégradabilité (Bakkali et al., 2008 ; Pavela et Benelli, 2016 ; Tripathi et al., 2009). Contrairement aux insecticides conventionnels, les huiles essentielles agissent souvent sur plusieurs cibles physiologiques à la fois, ce qui réduit le risque de développement de résistance chez les insectes (Isman, 2006). Leur volatilité et leur rapidité d'action en font des outils intéressants pour une lutte biologique à court terme dans les milieux de stockage (Nerio et al., 2010 ; Regnault-Roger et al., 2004).

La protection des denrées alimentaires stockées contre les ravageurs comme *Tribolium* sp. repose encore majoritairement sur l'utilisation de pesticides chimiques de synthèse, dont l'usage excessif soulève des préoccupations croissantes en matière de santé publique, de sécurité alimentaire et d'impact environnemental. Dans ce contexte, les huiles essentielles d'origine végétale, reconnues pour leurs propriétés insecticides, apparaissent comme une alternative prometteuse. Cependant, leur efficacité réelle, leur mode d'action, ainsi que leur performance comparative en formulation solide restent à évaluer.

Ainsi, il est légitime de se demander dans quelle mesure les huiles essentielles d'origan (*Origanum vulgare*) et de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) peuvent constituer des solutions biopesticides efficaces et durables pour lutter contre *Tribolium* sp. dans les systèmes de stockage alimentaire.

Ainsi, plusieurs études se sont concentrées sur l'activité biologique de certaines huiles essentielles, telles que celles du clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) et de l'origan (*Origanum vulgare*), qui se sont avérées très efficaces contre divers ravageurs des produits en stockage (*Tribolium castaneum*, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*) (Isman, 2006 ; Nerio et al., 2010 ; Tunc et al., 2000).

De ce point de vue, la principale question de notre recherche est la suivante : Peut-on prouver que l'activité biologique de deux formulations solides à base d'huiles essentielles d'origan et de clou de girofle est réellement efficace contre les adultes de *Tribolium* sp., et déterminer laquelle présente le meilleur potentiel insecticide pour la protection des produits stockés en entrepôt ?

Notre étude a été menée dans le but de comparer l'efficacité de deux formulations solides dérivées de ces huiles essentielles sur *Tribolium* sp. adultes, dans le cadre d'une stratégie durable et naturelle pour la protection des stocks alimentaires.

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

Le premier chapitre est consacré à la sythèse bibliogrphique qui illustre l'importance des aliments conservés, les principaux ravageurs qui les menacent, les moyens de lutte disponibles ainsi qu'un aperçu général sur les huiles essentielles et une description du *Tribolium* sp.

Le deuxième chapitre décrit le matériel utilisé et à la méthodologie adoptée dans l'évaluation des formulations d'insecticides.

Enfin, le troisième chapitre explique les résultats obtenus et propose une analyse des effets observés en fonction des doses appliquées et du temps d'exposition aux formulations testées suivi d'une discussion critique des résultats et on cloture notre mémoire par une conclusion générale et de perspectives pour de futurs travaux.

CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1 Importance des denrées stockées

Les céréales sont au coeur des cultures mondiales, principalement parce qu'elles sont le principal aliment pour la grande majorité de la population. En Algérie, comme dans toutes les économies d'Afrique du Nord, ils constituent la culture actuelle et la source de multiples secteurs de transformation tels que la semoule, la boulangerie ou l'industrie agroalimentaire. Ils forment la base de l'alimentation quotidienne, tant rurale qu'urbaine, et sont fermement ancrés dans les aliments personnalisés. La consommation annuelle moyenne en 2000 a été estimée à 240 kg/an au Maroc, 219 kg/an en Algérie et 205 kg/an en Tunisie (Boulal et *al.*, 2007).

Depuis l'éternité, les céréales ont été une source principale de nourriture pour les humains et les animaux domestiques. Il est donc essentiel de bien connaître les mécanismes qui contrôlent leur conservation, et de maîtriser les moyens de conservation, pour assurer la sécurité alimentaire de millions de personnes (Ait Slimane et *al.*, 2008).

Selon les données statistiques de la FAO rapportées par Bounechada et Arab (2001), les insectes destructeurs sont responsables de 35% des pertes enregistrées dans la production mondiale de céréales. Face à cette perte coûteuse, il est nécessaire de mettre en place des mécanismes de contrôle efficaces contre ces ravageurs, qui sont de véritables concurrents alimentaires des humains (Delimi et *al.*, 2013).

1.2 Principaux ravageurs des denrées stockées

1.2.1 Les insectes

Les insectes ravageurs des denrées et semences stockées peuvent être classés en trois grandes catégories, selon leur mode d'attaque et leur comportement alimentaire avec le grain (Arrab, 2016) :

1.2.1.1 Les ravageurs primaires

également appelés « à formes cachées », sont capables d'infester directement des grains sains et entiers. Ils sont considérés comme les plus nuisibles, car

leur cycle biologique se déroule exclusivement à l'intérieur du grain, ce qui les rend difficiles à détecter. Un exemple représentatif est le charançon du riz (Arrab, 2016).

1.2.1.2 Les ravageurs secondaires

ou « à formes libres », attaquent principalement les grains déjà détériorés par les ravageurs primaires. Ils ne peuvent s'attaquer aux grains entiers et sains. Un exemple est *Tribolium* noir (Bekon et Fleurat-Lessard, 1989).

1.2.1.3 Les ravageurs tertiaires

se nourrissent des résidus de grains, tels que les graines brisées, les poussières et la poudre générée par l'activité des ravageurs primaires et secondaires. Un exemple de cette catégorie est le trogoderm des denrées (*Trogoderma* sp.) (Inge De Groot, 2004).

1.2.1.4 Les principaux coléoptères ravageurs des denrées stockées

Les denrées stockées sont la cible de plusieurs espèces de coléoptères qui compromettent leur qualité et leur conservation (Benbelkhir, 2019). Parmi les plus répandus, on retrouve :

- *Cryptolestes ferrugineus*, également connu sous le nom de cucujide roux
- *Sitophilus granarius*, ou charançon du blé
- *Rhyzopertha dominica*, appelé capucin des grains
- *Carpophilus dimidiatus*, couramment désigné sous le nom de carpophile
- *Tenebroides mauritanicus*, aussi connu sous le nom de cadelle
- *Prostephanus truncatus*, ou grand capucin
- *Oryzaephilus surinamensis*, appelé silvain
- *Tribolium confusum*, connu sous le nom de tribolium sombre

1.2.1.5 Les principaux lépidoptères ravageurs des denrées stockées

Les lépidoptères constituent un autre groupe d'insectes nuisibles aux produits stockés, causant d'importants dégâts au niveau des grains (Benbelkhir, 2019). Parmi les espèces les plus courantes, on trouve :

- *Sitotroga cerealella*, connu sous le nom d'alucite des céréales
- *Corcyra cephalonica*, ou pyrale du riz
- *Pyralis farinalis*, appelée pyrale de la farine
- *Plodia interpunctella*, aussi connue sous le nom de pyrale des fruits
- *Ephesia kuehniella*, couramment appelée mite de la farine

1.2.2 Les oiseaux

Plusieurs espèces d'oiseaux peuvent causer des dégradations aux grains stockés, notamment les moineaux, les tourterelles, les pigeons et, dans certains cas, les étourneaux (Berhaut et *al.*, 2003).

1.2.3 Les rongeurs

Parmi les rongeurs nuisibles aux stocks alimentaires, on retrouve principalement le rat gris, le rat noir et la souris. Ces animaux engendrent des pertes considérables, non seulement en consommant directement les grains, mais aussi en contaminant les denrées avec leurs excréments et leurs urines. De plus, ils sont vecteurs de maladies transmissibles à l'homme (Groot, 2004).

1.2.4 Les acariens

Les acariens de stockage, également appelés acariens des denrées entreposées, privilégient les environnements humides où ils se nourrissent principalement de moisissures (Bessot et *al.*, 2011). De très petite taille, ne dépassant généralement pas un millimètre de longueur, ils possèdent quatre paires de pattes et forment souvent des agrégats. Ces organismes appartiennent principalement aux familles des Acaridae et des Glycyphagidae. Leur reproduction rapide et leur forte fécondité favorisent leur prolifération (Pauli et *al.*, 2013). Parmi les espèces les plus nuisibles aux grains de céréales, on peut citer *Acarus siro* L., *Tyrophagus putrescentiae*, *Glycyphagus destructor*, *Cheyletus eruditus* et *Melichares tarsalis* (Scotti, 1978).

1.2.5 Les microorganismes des grains

Les céréales stockées peuvent être contaminées par divers microorganismes, notamment des bactéries, des levures et des moisissures. Ces agents pathogènes sont particulièrement difficiles à détecter, car ils ne sont pas

visibles à l'œil nu. Présents sous forme de spores à la surface des grains, ils prolifèrent dès que l'humidité et la température deviennent favorables. Ce phénomène est particulièrement préoccupant dans les régions tropicales et les zones humides, où les conditions climatiques favorisent leur développement (Coraf, 2007).

1.2.6 Moyens de lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées

1.2.6.1 Lutte préventive

Selon Ducom (1982), plusieurs précautions doivent être prises avant et après le stockage afin de réduire les risques d'infestation. Avant d'entreposer les denrées, il est essentiel de procéder à un nettoyage minutieux des espaces de stockage, de s'assurer que les grains sont bien secs et d'inspecter les locaux pour identifier et éliminer d'éventuelles cachettes où les insectes pourraient se réfugier. Il convient aussi de surveiller rigoureusement les denrées afin d'éliminer les impuretés, les grains cassés et la poussière, tout en veillant à empêcher l'introduction ou la prolifération d'organismes nuisibles. De plus, il est impératif d'éviter d'entreposer des lots déjà infestés ou d'utiliser des contenants et sacs contaminés.

Après le stockage, il est primordial de maintenir les grains dans un état sec et propre afin de limiter les conditions favorables au développement des ravageurs. Une bonne ventilation est également nécessaire pour abaisser la température ambiante, ce qui contribue à garder les grains durs et secs. Enfin, le contrôle des principaux facteurs influençant la prolifération des insectes, tels que la température et l'humidité, est indispensable pour garantir une conservation optimale des denrées.

1.2.6.2 Lutte curative

La lutte curative vient compléter la lutte préventive, qui seule ne suffit pas à éliminer ces insectes. Cette méthode repose sur plusieurs approches :

1.2.6.1 Les moyens physiques de lutte

a. La chaleur

L'exposition à des températures élevées constitue une méthode efficace. Selon Serpeille (1991), à une humidité de 90 % et une température de 34 °C, 65 %

des insectes meurent et les adultes émergés présentent des anomalies. À 55°C, tous les adultes sont éliminés en quelques minutes sans altérer le pouvoir germinatif des grains (Labeyrie, 1962).

b. Le froid

Les températures basses ralentissent l'activité biologique et entraînent la mort de certains ravageurs. Par exemple, en dessous de 8°C, les larves ne peuvent pas pénétrer dans les graines (Serpeille, 1991). À -1°C, les insectes ne survivent pas au-delà d'un mois (Labeyrie, 1962).

c. Stockage sous atmosphère inerte

L'utilisation de dioxyde de carbone ou d'azote empêche toute survie des insectes (Gwinner et *al.*, 1996). Cette technique consiste à réduire le taux d'oxygène dans l'atmosphère intergranulaire jusqu'à un seuil létal inférieur à 1%.

1.2.6.2 Les moyens chimiques

a. Les insecticides

On distingue deux catégories d'insecticides :

- Les insecticides organiques de synthèse, tels que les organochlorés et les organophosphorés.
- Les insecticides non organiques, comprenant les composés arsenicaux, fluorés, soufrés et l'acide cyanhydrique (Dajoz, 2002).

b. La fumigation

Les fumigants sont des insecticides à forte tension de vapeur, utilisés pour un traitement curatif rapide. Ils atteignent même les formes cachées des insectes, détruisant les œufs, larves et nymphes présentes dans les grains (Kellouche, 1987).

1.2.6.3 Lutte biologique

L'usage de substances végétales constitue une alternative aux insecticides chimiques. La phytothérapie joue un rôle clé dans la protection des denrées stockées grâce aux bio insecticides, disponibles sous différentes formes : poudres, extraits aqueux ou organiques, huiles végétales et huiles essentielles (Vincent et *al.*, 1998).

a. Les extraits aqueux

Ces extraits présentent des propriétés insecticides et répulsives contre plusieurs ravageurs des denrées stockées.

b. Les poudres végétales

Certaines plantes locales offrent un moyen efficace de lutte contre l'infestation des stocks. Leur efficacité varie en fonction des parties utilisées (Khoury, 2009). La poudre de piment rouge est particulièrement active au niveau de la peau du fruit et des graines. Le neem, à raison de 10 à 20 g par kg de blé, protège contre le capucin des grains pendant un an. La poudre de feuilles séchées du noyer de Malabar (1 %) constitue également un bon protecteur des céréales.

c. Les huiles végétales

Les huiles végétales, constituées d'esters d'acides gras, agissent comme insecticides de contact et adjuvants pour les molécules solubles (Regnault et Vincent, 2002). Elles exercent une action préventive en empêchant la ponte des insectes dans les grains, en perturbant leur développement et en détruisant œufs et larves avant leur pénétration dans les grains (Regnault, 2002).

d. Les huiles essentielles

Depuis des siècles, les extraits de plantes sont utilisés pour protéger les stocks (Deguine et *al.*, 2008). Les plantes riches en huiles essentielles jouent un rôle majeur dans la défense contre les insectes nuisibles, notamment ceux des denrées stockées (Keita et *al.*, 2001). Les huiles essentielles sont composées de substances odorantes, volatiles et lipophiles obtenues généralement par entraînement à la vapeur d'eau (Teuscher et *al.*, 2005). Elles sont peu solubles

dans l'eau mais se dissolvent dans les solvants organiques et les alcools de titre élevé (Ghestem et *al.*, 2001). Très volatiles, elles s'évaporent rapidement dans l'air (Padrini et Lucheroni, 1996).

1.3 Généralités sur les huiles essentielles

1.3.1 Définition

D'après Roulier (1990), une huile essentielle est un extrait pur et naturel issu de plantes aromatiques ; il renferme l'essence de la plante, c'est-à-dire son arôme.

1.3.2 historique des huiles essentielles

Le développement de l'aromathérapie remonte à l'Égypte ancienne, vers 4500 avant JC, où l'on retrouvait des huiles essentielles comme la myrrhe ou bien le cyprès à des fins médicinales, religieuses ou cosmétiques. Toutefois, elle s'est répandue également au Moyen-Orient, ainsi qu'en Grèce, à Rome et en Chine. Les savants grecs et romains ont mis au point une pharmacopée comportant des principes actifs à partir de plantes médicinales. Même si son usage a eu tendance à disparaître durant le Moyen Âge, les Croisades ont ravivé son intérêt. Grâce à Avicenne, notamment en améliorant le processus de distillation avec le serpentin, la pratique s'est réinstaurée, sans doute en lien avec l'aromathérapie et la parfumerie de la Renaissance. À nouveau, avec notamment les travaux de Gattefossé ou de Valnet, elle obtient sa reconnaissance médicale durant le XXe siècle et tend aujourd'hui à être validée scientifiquement, même si elle demeure encore parfois controversée dans les milieux médicaux traditionnels (Compagnie des Sens, S.D.)

1.3.3 Utilisation des huiles essentielles en tant que bio-pesticides

Les huiles essentielles jouent un rôle essentiel dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales stockées, avec un potentiel considérable (Rajkumar et *al.*, 2019 ; Boukhalfa et Rouabah, 2020).

Selon Isman (2005), l'usage répandu des insecticides synthétiques a entraîné de nombreuses conséquences néfastes telles que la résistance aux insecticides, la toxicité sur la faune auxiliaire, les problèmes de résidus et la

pollution environnementale, ce qui a entraîné l'orientation vers l'utilisation des produits naturels. En raison de leur richesse en produits chimiques bioactifs, les plantes peuvent offrir des alternatives potentielles aux agents actuellement employés contre les insectes. Les insecticides les plus efficaces sont les plantes aromatiques, et les huiles essentielles sont souvent la partie bioactive des extraits de plantes (Shaaya et *al.*, 1997). Elles représentent une alternative prometteuse en tant que biopesticides (Campolo et *al.*, 2018). Ces molécules forment un ensemble de composés chimiques qui ont différentes formes d'action qui renforcent leur efficacité grâce à l'interaction synergique entre leurs composants (Mossa, 2016).

D'après Chiasson et Beloin (2007), un grand intérêt est porté pour les bio-insecticides à base d'huiles essentielles :

- Les huiles essentielles ont une grande efficacité contre les insectes nuisibles par rapport aux produits chimiques de synthèse (elles ont une efficacité à large échelle, mais elles sont spécifiques à certaines catégories ou ordres d'insectes).
- Ces substances sont peu persistantes dans la nature et peuvent être utilisés jusqu'à la récolte.
- Les formulations à base d'huiles essentielles sont stables à basse température et les huiles essentielles brutes peuvent être conservées pendant plusieurs années. Ces produits peuvent être utilisés individuellement ou en combinaison, ce qui permet de créer de nouveaux mélanges qui peuvent avoir un effet additif ou synergique.

1.4 Généralité sur le *Tribolium sp*

1.4.1 Définition

Le *Tribolium* rouge de la farine est un insecte de 3-4 mm de long facile à élever, avec un cycle de développement court de 30 jours, une longévité de six mois à quatre ans (Bonneton, 2010).

Les produits céréaliers stockés tels que la farine, les céréales, les biscuits, les haricots, les épices, les pâtes, les mélanges à gâteau, les aliments secs pour animaux domestiques, les fleurs séchées, les noix et les graines sont tous des

cibles potentielles des triboliums rouges de la farine (Pungitore et *al.*, 2005).

1.4.2 Classification

Selon Myers et *al.* (2025) sur l'Animal Diversity Web :

- **Règne** : *Animalia*
- **Embranchement** : *Arthropoda*
- **Sous-embranchement** : *Hexapoda*
- **Classe** : *Insecta*
- **Ordre** : *Coleoptera*
- **Famille** : *Tenebrionidae*
- **Genre** : *Tribolium*

1.4.3 Origine géographique

Le tribolium rouge de la farine paraît originaire d'Asie du Sud ; elle est trouvée dans de la nourriture placée dans la tombe de Toutankhamon (1345 avant J.-C.) : elle est actuellement cosmopolite. Il existe dans le monde de très nombreuses lignées présentant des caractères de résistance attestée aux insecticides, aussi bien fumigants que non fumigants (Delobel et Trane, 1993).

Le *Tribolium* existe là où les céréales stockées existent sous forme de grains ou de farine. Il est très abondant dans les régions tropicales. Sous climats froids, il est présent uniquement dans les stockages à température élevée (Christine, 2001).

1.4.4 Cycle biologique du *Tribolium sp*:

Le cycle de vie du *Tribolium* se compose de quatre stades distincts : œuf, larve, nymphe et adulte (Pai et Bucher, 2019).

1.4.4.1 L'œuf

L'œuf a une forme allongée et une couleur variant du blanc à l'incolore. Il est recouvert d'un enduit visqueux qui le rend collant, pouvant entraîner l'agglutination de grains de farine et/ou de poussières sur sa surface (Ncibi, 2020). Les dimensions de l'œuf varient de 0,13 à 0,3 mm de longueur et de

0,42 à 0,61 mm de largeur (Abdullahi et *al.*, 2019). En général, les œufs éclosent entre 6 et 14 jours à une température comprise entre 22 et 27°C (Cheikh, 2019). Au cours d'un cycle biologique, la femelle pond en moyenne de 200 à 500 œufs (Kumar et *al.*, 2018).

1.4.4.2 La larve

Le cycle de vie de la larve de *Tribolium* se compose de 4 à 12 stades (Ncibi, 2020). La larve mesure environ 6 mm de longueur, soit environ 8 fois sa largeur. À maturité, elle prend une couleur jaune très pâle, avec quelques courtes soies jaunes, tandis que la capsule céphalique et la face dorsale présentent une légère teinte rougeâtre (Karahacane, 2015). Les larves peuvent se déplacer librement dans les denrées infestées et effectuer leur nymphose sans former de cocon (Kemassi et *al.*, 2019). Après avoir atteint le dernier stade larvaire, elles cessent de se nourrir, s'immobilisent et se transforment en nymphes immobiles (Gueye et *al.*, 2015).

1.4.4.3 Nymphes

La nymphe est blanche et nue, arbore un abdomen agrémenté de lames rectangulaires à bords crantés sur les côtés (Ncibi, 2020). Les nymphes passent par une phase nymphale au cours de laquelle leur teinte blanche d'origine s'obscurcit progressivement jusqu'à leur épanouissement en adultes, un processus qui prend entre 9 et 17 jours (Gueye et *al.*, 2015).

1.4.4.4 L'adulte

Le petit coléoptère adulte mesure entre 3 et 4 mm et est de couleur brun roux (Ncibi, 2020). Il se distingue facilement par sa tête, son thorax et son abdomen bien définis, ainsi que par ses antennes dont les trois derniers articles sont plus larges que les suivants. De plus, il a un chaperon qui ne dépasse pas l'œil sur les côtés, il est étroit, allongé et a des bords parallèles. Le *tribolium* présente des yeux ovales et non surmontés d'un bourrelet semblable à une paupière (Cheikh, 2019). Les adultes se nourrissent des mêmes aliments que les larves et ont une durée de vie comprise entre 15 et 20 mois (Gueye et *al.*, 2015).

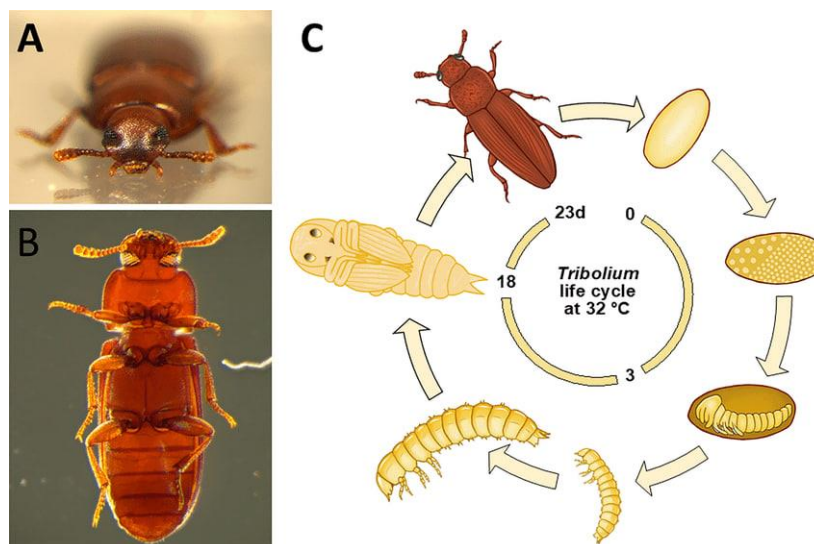


Fig. 1 : Cycle de vie de *Tribolium* sp (Klingler et Bucher, 2022)

A : Une vue de face d'un *Tribolium* sauvage.

B : Une vue ventrale d'un mâle sous illumination en champ sombre.

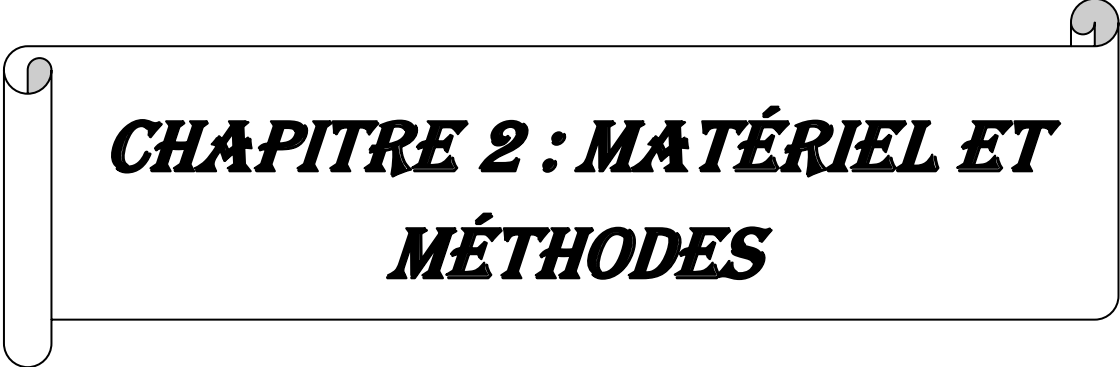
C : Un schéma du cycle de vie de *Tribolium*, illustré par Benjamin Schwarz

1.4.5 Dégâts de *Tribolium* sp

Le *Tribolium* sp est caractérisé par une très grande polyphagie. Les produits infestés par cet insecte sont les céréales entreposées, les oléagineux, les matières contenant de l'amidon, les haricots, les pois, les épices et les racines séchées. Ils préfèrent les grains endommagés, mais ils envahissent aussi les grains de blé sains qu'ils consomment même lorsqu'ils sont encore intacts (Benlameur, 2016).

Le genre *Tribolium* sécrète un exsudat riche en composés quinoniques (benzoquinones), responsables d'une odeur nauséabonde et de l'altération du goût, ce qui diminue fortement la qualité organoleptique et commerciale des produits (Sokoloff, 1974). De plus, les infestations sévères peuvent favoriser le développement de moisissures toxigènes comme les *Aspergillus*, contribuant ainsi à une contamination mycotoxique secondaire (Campbell et Arbogast, 2004).

Enfin , les *Tribolium* se sont révélés de plus en plus tolérants aux insecticides chimiques et capables de résister à des conditions de stockage défavorables (Haubruge et al., 2002). Cela rend leur contrôle difficile et renforce l'argument en faveur de la recherche d'alternatives, notamment les biopesticides à base d'huiles essentielles.



CHAPITRE 2 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Objectif

L'utilisation des huiles essentielles comme insecticides représente une alternative prometteuse suscitant un intérêt scientifique croissant. En Algérie, la plupart des recherches menées utilisent ces huiles sous leur forme liquide, directement appliquées contre les ravageurs des denrées stockées. Toutefois, leur volatilité et leur instabilité chimique posent des problèmes en termes de persistance et de conservation. Ainsi, notre étude vise à surmonter ces limites en développant des formulations sous forme de poudre à base d'huiles essentielles, afin d'évaluer par la suite leur efficacité biologique contre les ravageurs des denrées stockées, notamment *Tribolium* sp.

2.2 Matériel d'étude

2.2.1 Matériel biologique

Nous avons utilisé les adultes de *Tribolium* sp. élevés sur la farine commerciale au laboratoire de phytopharmacie du département de Biotechnologie et Agroécologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université Saad Dahlab – Blida 1.



Fig. 2 : Farine commerciale infestée par les adultes de *Tribolium* sp.
(Originale, 2025)

2.2.2. Formulation solide à base d'huile essentielle

Les huiles essentielles ont été testées au cours de notre étude. Toutes deux proviennent de plantes appartenant à des familles botaniques différentes : l'origan (*Origanum vulgare*) appartient à la famille des Lamiacées, tandis que le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) est de la famille des Myrtacées.



Origan (*Origanum vulgare*)



Clou de girofle (*Syzygium aromaticum*)

Fig. 3 : Huiles essentielles utilisées dans la formulation biopesticide (Originale, 2025)

Le traitement évalué dans cette étude correspond à un biopesticide formulé à partir d'huiles essentielles d'origan et de clou de girofle, incorporées à un support inerte de texture poudreuse (communication personnelle, Pr. DJAZOULI Z.E.). La préparation des formulations a été réalisée au sein du Laboratoire de Recherche en Biotechnologie des Productions Végétales, relevant du Département de Biotechnologie et Agro-Écologie de l'Université de Blida 1. Les formulations solides obtenues contenaient 10 % de principes actifs.

2.3 Méthodologie

À partir du matériel biologique retenu, nous avons étudié l'impact des formulations solides d'huiles essentielles d'origan et de clou de girofle, appliquées à différentes doses, sur les populations de *Tribolium* sp. Six doses de formulation solide ont été définies pour cette expérimentation.

On a préparé six (06) doses de chaque huile essentielle :

Dose 1 : 1 g de traitement sur 99 g de farine non infestée

Dose 2 : 2 g de traitement sur 98 g de farine non infestée

Dose 3 : 3 g de traitement sur 97 g de farine non infestée

Dose 4 : 5 g de traitement sur 95 g de farine non infestée

Dose 5 : 7 g de traitement sur 93 g de farine non infestée

Dose 6 : 10 g de traitement sur 90 g de farine non infestée

2.3.1 Dispositif expérimental

Dans des boîtes de Pétri, nous introduisons la farine commerciale où nous ajoutons de la poudre aromatisée aux huiles essentielles extraites de clou de girofle et d'origan, selon différentes doses (1, 2, 3, 5, 7 et 10 g). Après avoir soigneusement mélangé la poudre à base d'huiles essentielles avec la farine, 10 individus de *Tribolium sp.* sont introduits dans chaque boîte de pétri. Les boîtes sont ensuite conservées à température ambiante du laboratoire à dix répétitions qui ont été réalisées pour chaque dose.

En parallèle, un échantillon témoin est préparé en utilisant uniquement 100 g de farine et 10 individus de *Tribolium sp.*, sans ajout d'huiles essentielles.

Toutes les boîtes de Pétri sont refermées à l'aide d'un tissu respirant. La mortalités des individus est relevée régulièrement dans chaque boîte aux intervalles de temps suivants : 6 h, 24 h, 48 h et 72 h.

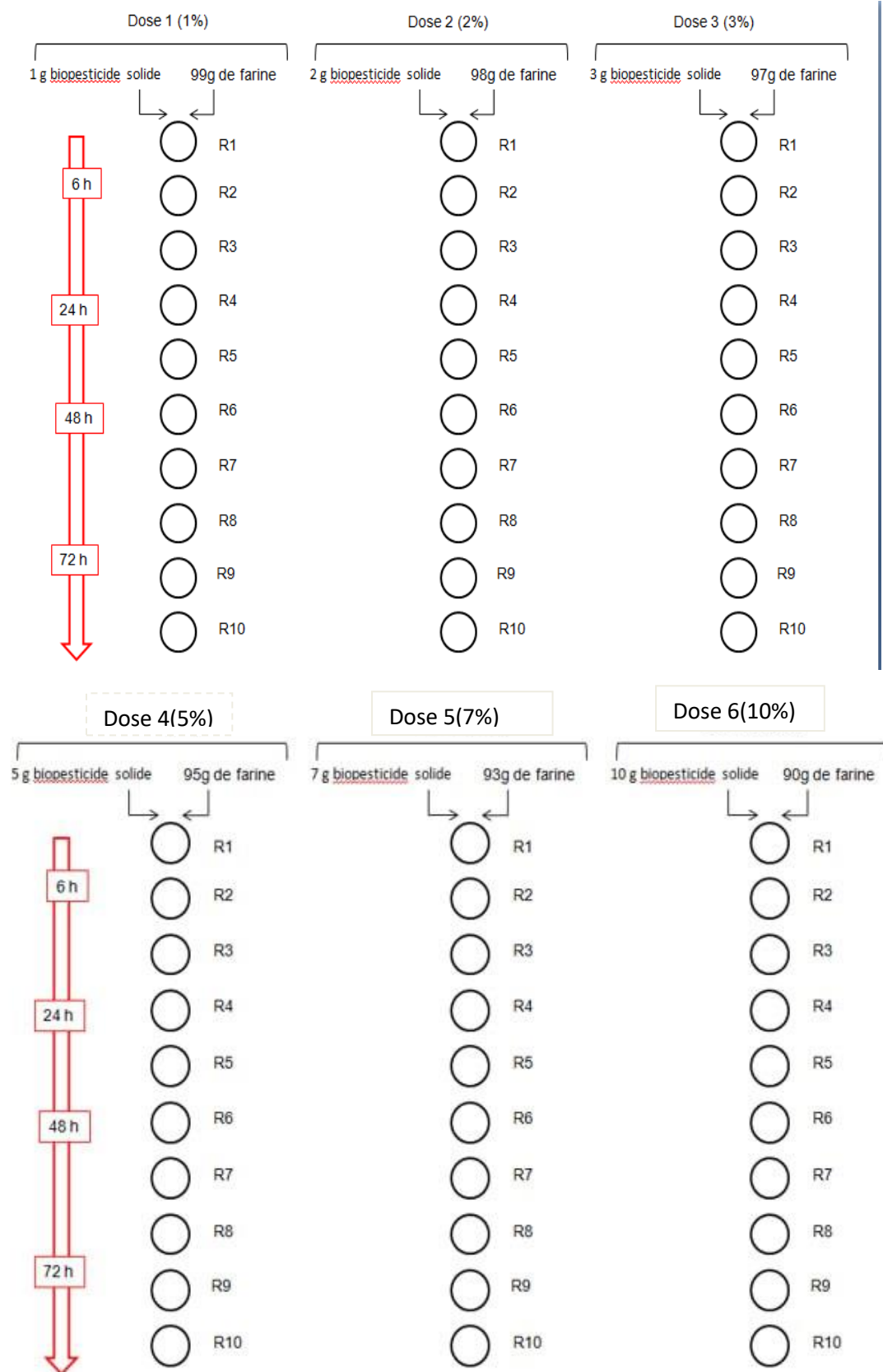


Fig. 4 : Dispositif expérimental de l'exposition de *Tribolium sp.* À différentes doses de biopesticide solide.

2.4 Méthodes d'exploitation des résultats

2.4.1 Estimation de taux de mortalité

Selon Marmonier et *al.* (2006), la mortalité correspond à la vitesse de disparition des individus dans un milieu considéré. Elle dépend des caractères de la population étudiée, ainsi que des conditions du milieu. Le taux de mortalité s'exprime comme le déclin en nombre des individus résultant de la mortalité pour une variation de temps.

$$n = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Avec :

ΔN : Augmentation de la population par des naissances

Δt : variation du temps

2.4.2 Estimation de la mortalité corrigée

L'efficacité d'un produit est communément estimée à partir du taux de mortalité observé contre le taux de mortalité attendu en l'absence d'empoisonnement. La mortalité observée n'est pas celle effectivement causée par le toxique étant donné que toute population (même exposée à un toxique) présente une mortalité naturelle, indépendante de l'action du toxique (qui s'ajoute à celle-ci). Pour une estimation correcte de la mortalité causée par le toxique utilisé, il convient donc de corriger les pourcentages de mortalité en utilisant la formule d'Abbott (1925).

$$MC\% = (M - M_t) \times 100 / (100 - M_t)$$

Avec :

MC : La mortalité corrigée

M : Pourcentage des morts dans la population traitée

M_t : Pourcentage de morts dans la population témoin

2.4.3 Evaluation des populations résiduelles

L'évaluation de la toxicité des extraits aqueux et de l'insecticide de synthèse a été réalisée par l'estimation des populations résiduelles (P.R.) selon le Test de Dunnett.

$$PR = \frac{\text{Nb de formes mobiles (NFM) par traitement} \times 100}{\text{Nb de formes mobiles par témoin (eau)}}$$

Le Test estime la toxicité des matières active selon les valeurs des populations résiduelles (P.R.) :

P.R. <30% molécule toxique ;

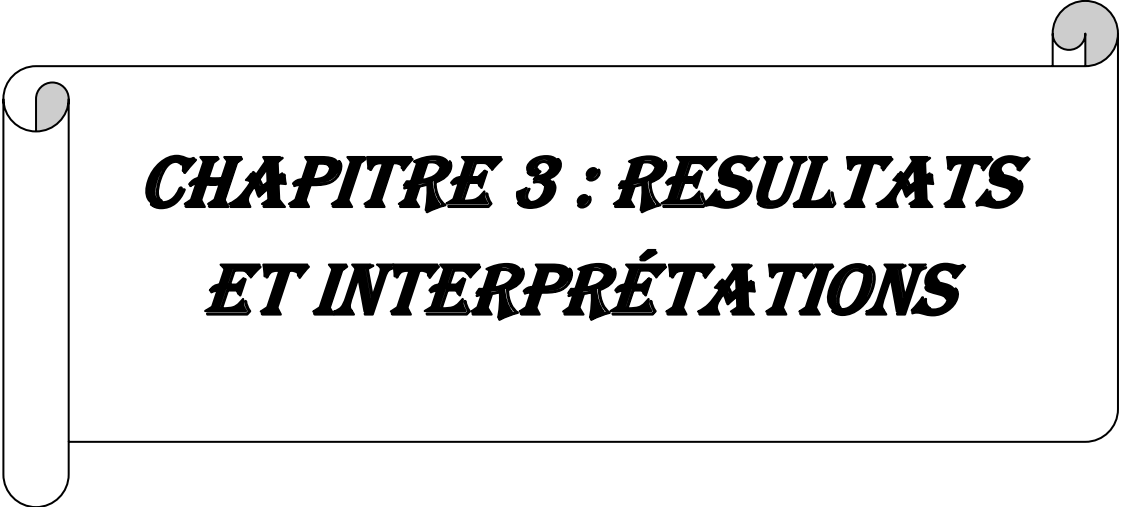
30% <P.R.< 60% molécule moyennement toxique ;

P.R.> 60% molécule faiblement toxique ou neutre.

2.4.4. Analyse statistique des résultats

Dans le cas des variables quantitatives, les relations multivariées ont été explorées à l'aide de l'analyse en composantes principales (ACP). Cette approche permet d'évaluer l'activité biocide en fonction du stress exercé sur les individus de *Tribolium* sp. À partir des deux premiers axes factoriels, une classification ascendante hiérarchique des différentes périodes d'exposition a été réalisée, dans le but de distinguer les effets précoces et tardifs des formulations testées.

Par ailleurs, le test non paramétrique de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les distributions de deux groupes indépendants, en vue de déterminer si l'un présente des valeurs significativement supérieures ou inférieures à l'autre. L'ensemble des analyses a été effectué à l'aide du logiciel PAST, version 1.8.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight 3D effect.

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET INTERPRÉTATIONS

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1 Estimation de la mortalité observée sous l'effet des traitements

Afin d'obtenir une vue d'ensemble des fluctuations de la mortalité observée dans les différents blocs expérimentaux et témoins, les valeurs de mortalité ont été corrigées à l'aide d'une transformation logarithmique népérienne. Cette approche permet de dégager des profils temporels reflétant plus fidèlement les variations de la mortalité au cours du temps

3.1.1 Estimation de la mortalité observée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan

Le graphique ci-dessous représente la variation temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base d'huile essentielle d'origan. À 6 h, toutes les doses correspondent à une mortalité nulle, sauf la dose 6, qui présente d'emblée une valeur élevée. À partir de 24 h, on observe une forte augmentation de la mortalité pour toutes les doses, avec des valeurs particulièrement élevées pour les doses 4, 5 et 6. À 48 h, la mortalité continue d'augmenter légèrement pour la plupart des doses, sauf pour la dose 3, qui enregistre une légère baisse à 48h. Lors de la dernière observation, après 72 h, toutes les doses montrent une mortalité élevée, en particulier les doses 4, 5 et 6. Le témoin reste stable avec une mortalité nulle tout au long de l'expérience (Fig. 5).

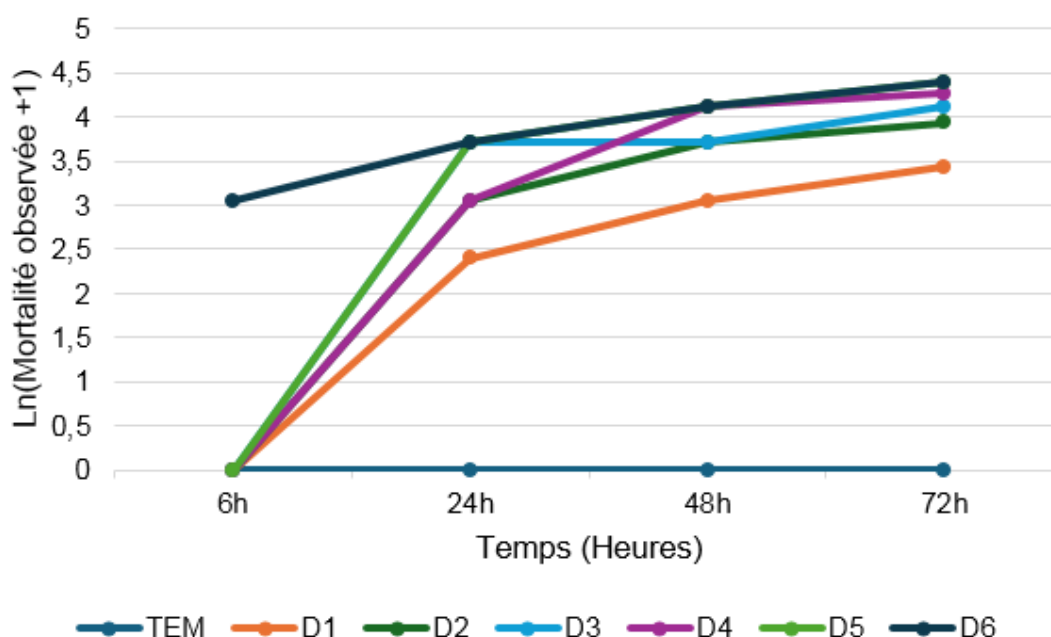


Fig. 5 : Variation temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de l'origan

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.1.2 Estimation de la mortalité observée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle

Les résultats relatifs à l'évolution temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base d'huile essentielle de clou de girofle montrent que la mortalité augmente en fonction de la dose et du temps : plus la dose est élevée, plus la mortalité observée est importante où à 6 h, les doses 5 et 6 induisent une mortalité notable, tandis que les autres restent proches de celle du témoin. Après 24 h, une augmentation de la mortalité est observée pour l'ensemble des doses, à l'exception de la dose D1 dont l'effet reste modéré voire nul. À 48 h, la mortalité continue d'augmenter pour toutes les doses. Lors de la dernière observation, à 72 h, toutes les doses (sauf le témoin) montrent des valeurs maximales de mortalité, la dose 6 atteint la valeur maximale, suivi par la dose 5 et 4. Les effets sont cumulatifs et proportionnels à la dose (Fig. 6).

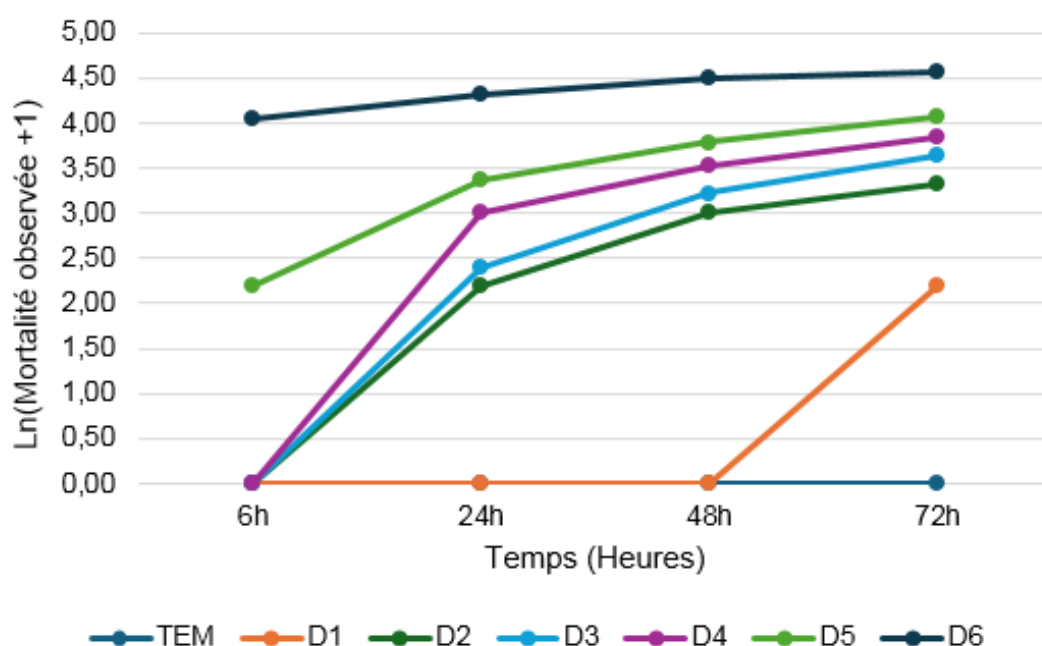


Fig. 6 : Variation temporelle de la mortalité observée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle du Clou de girofle

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.2 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet des traitements

3.2.1 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan

Les résultats relatifs à l'évolution temporelle de la mortalité corrigée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base d'huile essentielle d'origan sont présentés dans la figure 7. À 6 h, la mortalité corrigée est extrêmement faible pour toutes les doses, à l'exception de la dose D6, qui atteint entre 20 et 30 %, suggérant un effet initial. À partir de 24 h, une augmentation progressive de la mortalité est observée pour l'ensemble des doses. À 48 h, cette augmentation se poursuit, sauf pour la dose D3 qui reste stable autour de 40 %. Lors de la dernière observation, à 72 h, Une légère augmentation est observée pour l'ensemble des doses, traduisant une tendance générale à la hausse de la mortalité corrigée en fonction de la dose et du temps : plus la dose est élevée, plus la mortalité corrigée s'accroît (Fig. 7).

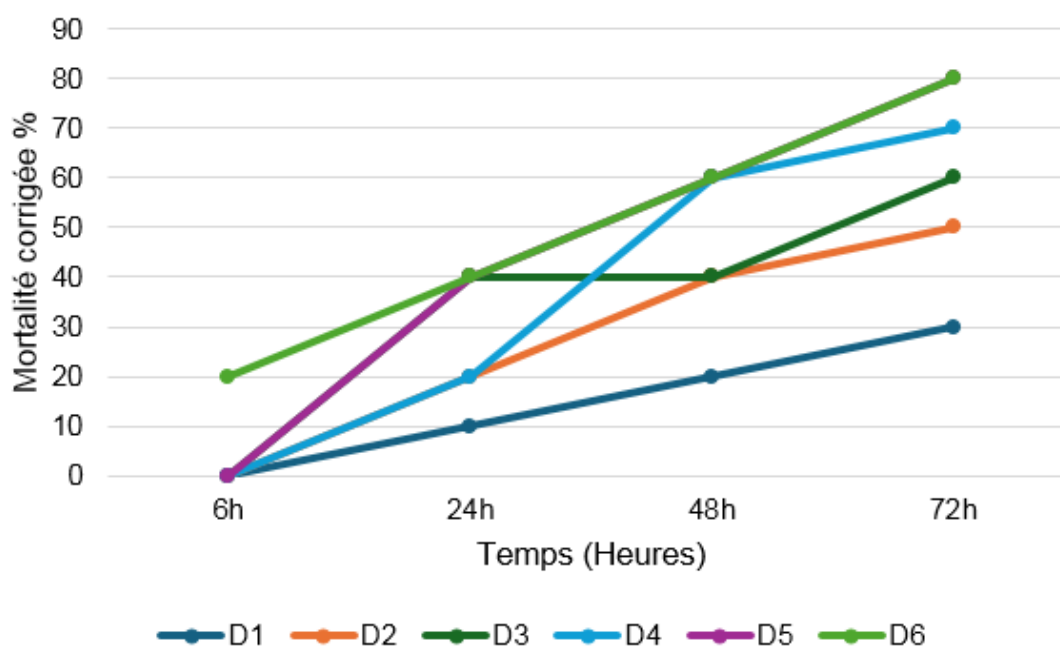


Fig. 7 : Variation temporelle de la mortalité corrigée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle de l'origan.

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.2.2 Estimation de la mortalité corrigée sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle

Les résultats relatifs à l'évolution de la mortalité corrigée en fonction du temps d'exposition (6h, 24h, 48h, 72h) à différentes doses (D1 à D6) d'un bioproduit à base d'huile essentielle de clou de girofle contre les adultes de *Tribolium sp.* montre une tendance clairement dose-dépendante : plus la dose est élevée, plus la mortalité corrigée est forte, de manière croissante dans le temps. La dose D6 est la dose la plus efficace dès 6 h, la mortalité corrigée atteint plus de 50 %, ce qui indique une action insecticide très rapide. Les doses D4 et D5 ont un effet plus progressif elles sont efficace, mais nécessite un temps d'exposition plus long pour atteindre une mortalité élevée. Les doses D2 et D3 montrent une efficacité modérée, avec une progression lente mais constante et la dose D1 se révèle inefficace, avec un effet quasi nul, Toutefois, un effet modéré commence à apparaître à partir de 48 h (Fig. 8).

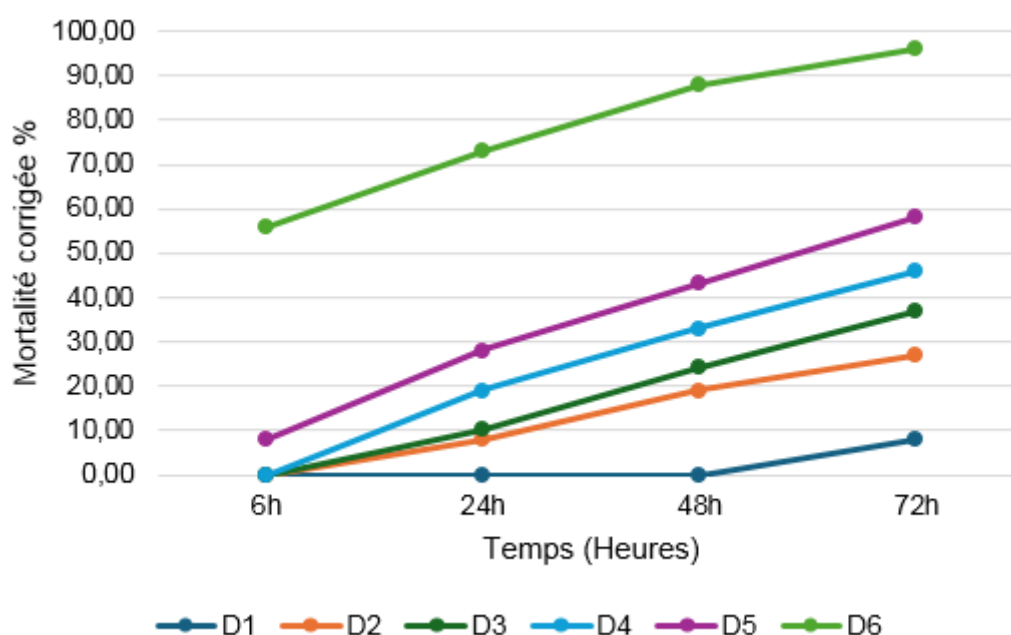


Fig. 8 : Variation temporelle de la mortalité corrigée sous l'effet des différentes doses du bioproduit à base de l'huile essentielle du Clou de girofle

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.3. Évaluation des populations résiduelles sous l'effet des traitements

3.3.1 Évaluation des populations résiduelles sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle de l'origan

Les résultats relatifs à l'évolution temporelle des populations résiduelles de *Tribolium* sp. exposées à différentes doses du biopesticide à base d'huile essentielle d'origan (formulation solide) révèlent une augmentation progressive de la toxicité en fonction de la concentration appliquée, selon le gradient $D1 < D2 < D3 < D4 < D5 < D6$ (Fig. 9). La dose D1 présente une toxicité neutre tout au long de l'intervalle de temps étudié. En revanche Les doses D2 et D3 présentent une toxicité modérée dès 48 heures après application, un niveau qu'elles conservent jusqu'à 72 heures. La dose D4 atteint le seuil de toxicité modérée dès 24 heures, et celui de toxicité élevée à 72 heures. Quant aux doses D5 et D6, elles manifestent une toxicité significative dès les premières 24 heures, laquelle s'accroît pour atteindre un niveau de forte toxicité à 72 heures.

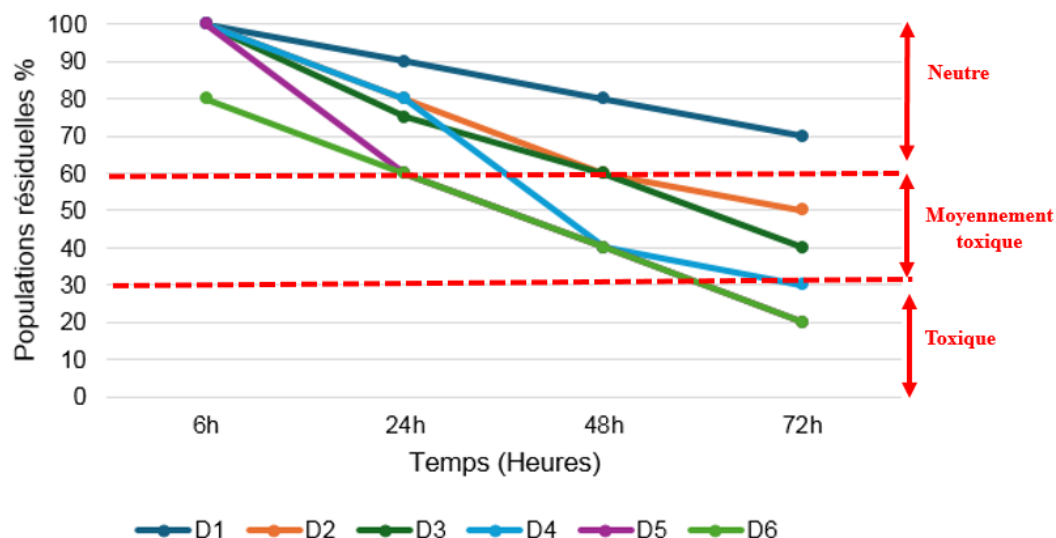


Fig. 9 : Évolution temporelle des populations résiduelles de *Tribolium* sp. sous l'effet des différentes doses du biopesticide à base d'huile essentielle de l'origan

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.3.2 Évaluation des populations résiduelles sous l'effet du biopesticide à base de l'huile essentielle du Clou de girofle

Les résultats relatifs à l'évolution des populations résiduelles de *Tribolium* sp. exposées à différentes doses du biopesticide formulé à base d'huile essentielle (formulation solide) de clou de girofle montrent une réduction progressive des effectifs vivants au fil du temps, en lien direct avec la dose appliquée. On observe un gradient clair de toxicité selon les doses, allant de D1 (faible effet) à D6 (effet très marqué).

L'évolution des populations résiduelles de *Tribolium* sp. en fonction du temps (6 h, 24 h, 48 h, 72 h), après traitement avec différentes doses (D1 à D6) d'un bioproduit à base d'huile essentielle de clou de girofle montre la dose D6 est la dose la plus efficace, Dès 6 h, la population résiduelle est déjà autour de 40 %, ce qui indique un effet très rapide. La mortalité augmente fortement avec le temps : la population résiduelle passe sous 30 % dès 24 h, puis descend à environ 5 % à 72 h. Cette dose se situe clairement dans la zone toxique à partir de 24 h se qui signifie que cette dose est hautement toxique avec un effet rapide et durable. Les doses D4 et D5 se situent dans la zone moyennement

toxique avec une efficacité modérée de la dose D5 que la dose D4. Les D2 et D3 sont similaires avec une baisse constante en zone moyennement toxique d'une efficacité intermédiaire, nécessitant un temps d'exposition plus long pour de meilleurs résultats. Concernant la D1 sa population résiduelle reste constante avec un effet inefficace ou presque neutre et aucune activité insecticide notable.

Le passage du statut "neutre" à "toxique" se fait plus tôt avec l'augmentation de la concentration, ce qui renforce l'intérêt des formulations concentrées dans les stratégies de lutte biologique (Fig. 10).

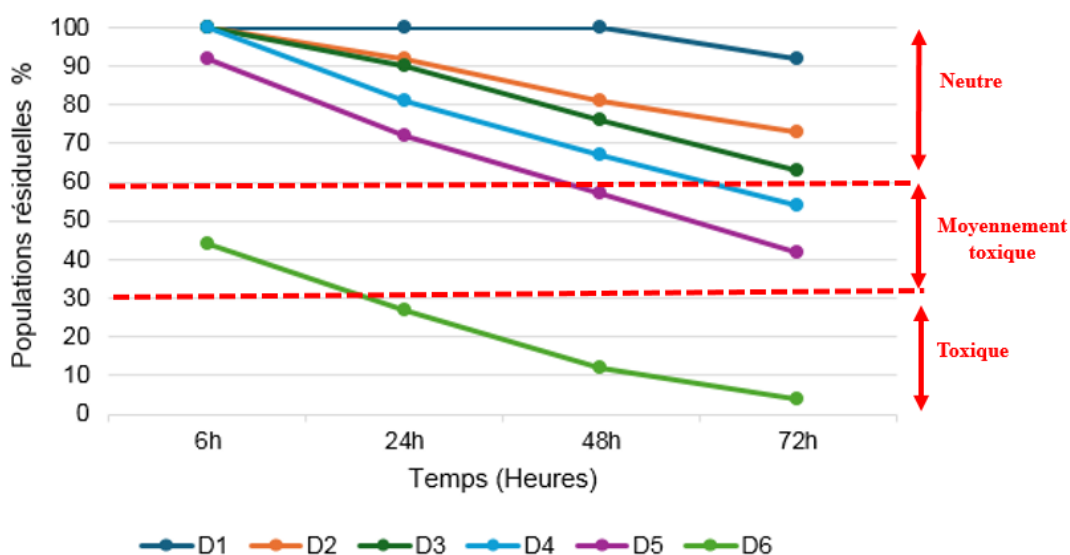


Fig. 10 : Évolution temporelle des populations résiduelles de *Tribolium* sp. sous l'effet des différentes doses du biopesticide à base d'huile essentielle du Clou de girofle

D1= 1g HE/99g de farine, D2= 2g HE/98g de farine, D3= 3g HE/97g de farine, D4= 5g HE/95g de farine, D5= 7g HE/93g de farine, D6= 10g HE/90g de farine

3.4. Tendance globale de la mortalité corrigée de *Tribolium* sp. sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles

L'analyse en composantes principales (ACP), réalisée à l'aide du logiciel PAST (version 1.8) sur les taux de mortalité corrigée des adultes de *Tribolium* sp., met en évidence un effet temporel marqué des différentes doses des formulations solides à base d'huiles essentielles. L'efficacité de l'analyse est confirmée par

le fait que plus de 80 % de la variance totale est expliquée par les deux premiers axes principaux (axe 1 + axe 2), comme l'indique la Figure 11a.

La projection des vecteurs associés aux taux de mortalité corrigée le long de l'axe 1, qui explique à lui seul 94,37 % de la variance, montre que les différentes doses des deux biopesticides n'induisent aucune mortalité notable avant 24 heures d'exposition. En revanche, à partir de 48 heures, et jusqu'à 72 heures, une toxicité marquée se manifeste, traduite par des niveaux de mortalité corrigée comparables, lorsqu'ils sont considérés en fonction de l'efficacité temporelle.

Cette dynamique temporelle est corroborée par les valeurs du coefficient de corrélation de Pearson. Les coefficients de corrélation (r) indiquent une relation positive entre les différentes doses appliquées et les modalités temporelles, en particulier aux points d'observation correspondant à 48 heures et 72 heures (Figure 11b).

Les doses D2 à D6 du biopesticide formulé à partir d'huile essentielle de l'origan, ainsi que les doses D4 à D6 de celui à base du clou de girofle, manifestent une activité toxique dès 48 heures après application. En revanche, la dose D1 de la formulation à l'origan, ainsi que les doses D1 à D3 de la formulation au clou de girofle, ne présentent une toxicité notable qu'à partir de 72 heures d'exposition.

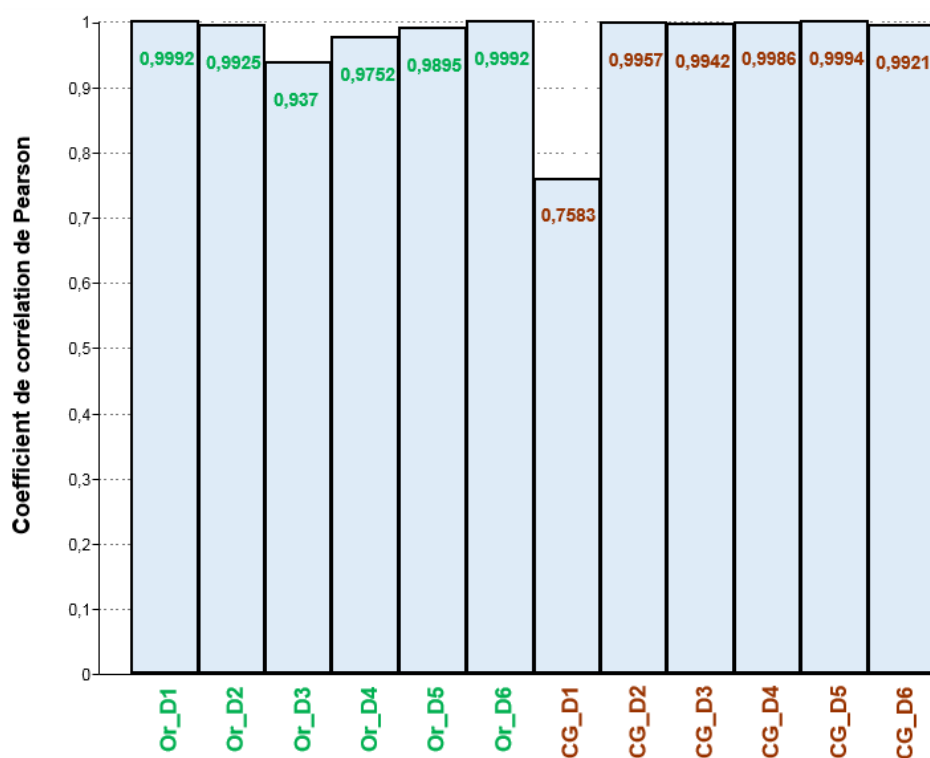
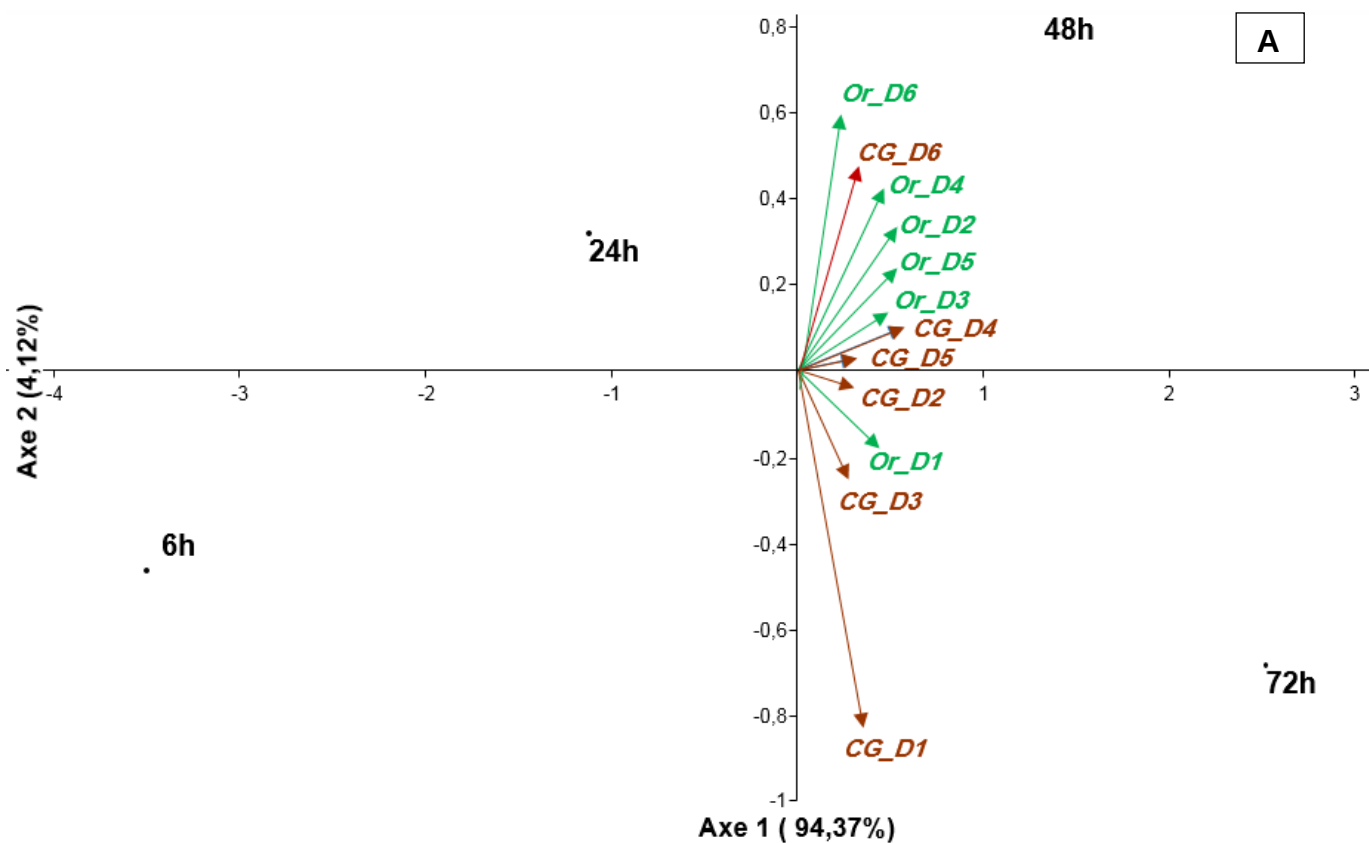


Fig. 11 : Tendance globale de la mortalité corrigée de *Tribolium sp.* sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles de l'origan (Or) et du Clou de girofle (CG)

3.5. Étude comparée de la mortalité corrigée de *Tribolium sp.* sous l'effet des biopesticides à base d'huiles essentielles de l'origan et du Clou de girofle

Dans le but de comparer l'effet doses des deux biopesticides formulés à base de l'huile essentielle, nous avons opté pour le test de Mann-Whitney. C'est un test statistique non paramétrique utilisé pour comparer deux échantillons indépendants (les observations de mortalité corrigée de l'origan ne sont pas liées à celles du Clou de girofle)

3.5.1. Partie positive de l'axe 1 de l'ACP

Les résultats de l'analyse statistique montrent que les doses n'exercent aucun effet significatif sur la mortalité des individus adulte de *Tribolium sp.* avec une valeur de probabilité associée ($p=0,1017$, $p>5\%$) (Fig. 12a).

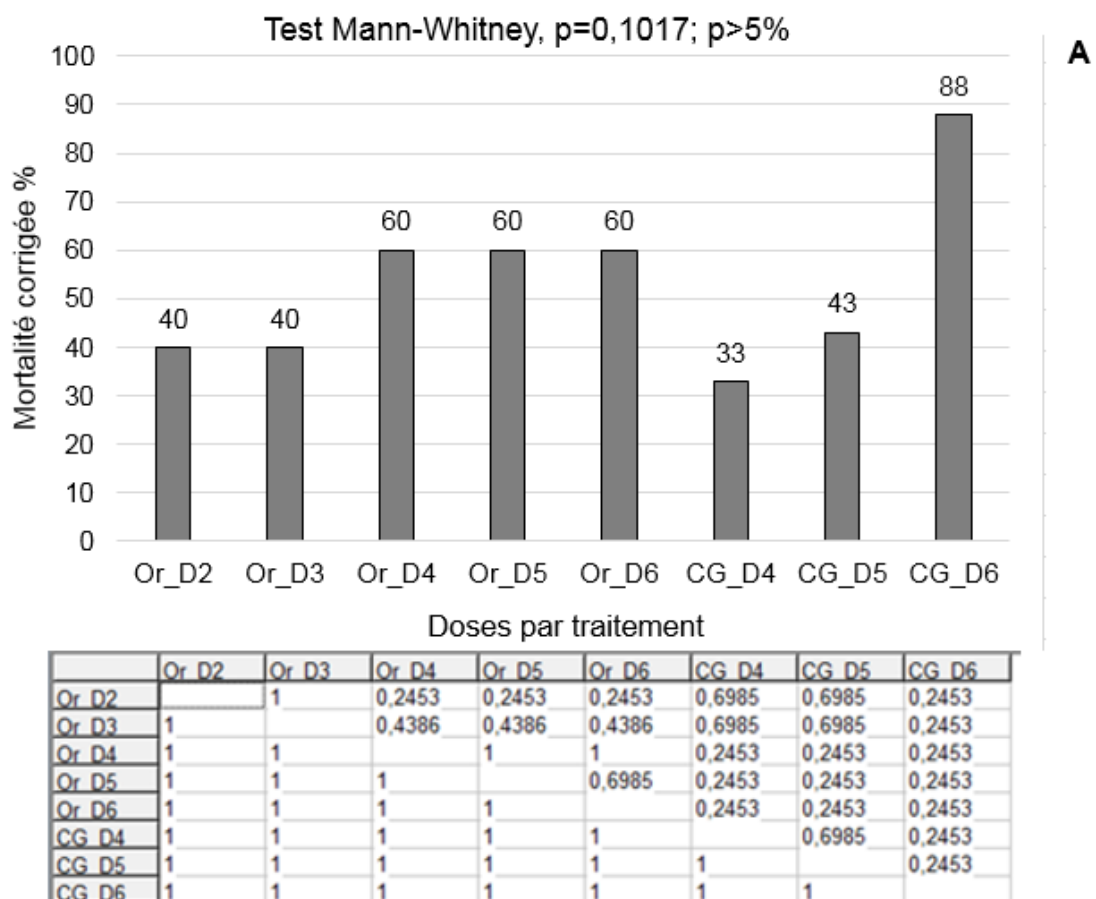


Fig. 12 : Analyse des taux de la mortalité corrigée selon les doses et les biopesticides a base d'huiles essentielles (Partie positive de l'axe de l'ACP)

3.5.2. Partie négative de l'axe 1 de l'ACP

Le même test d'analyse montre aussi que les formulations solides d'huiles essentielles n'exercent aucun effet significatif sur les populations adultes de *Tribolium sp.* à faibles doses, avec une valeur de probabilité associée ($p=0,1979$, $p>5\%$) (Fig. 13b).

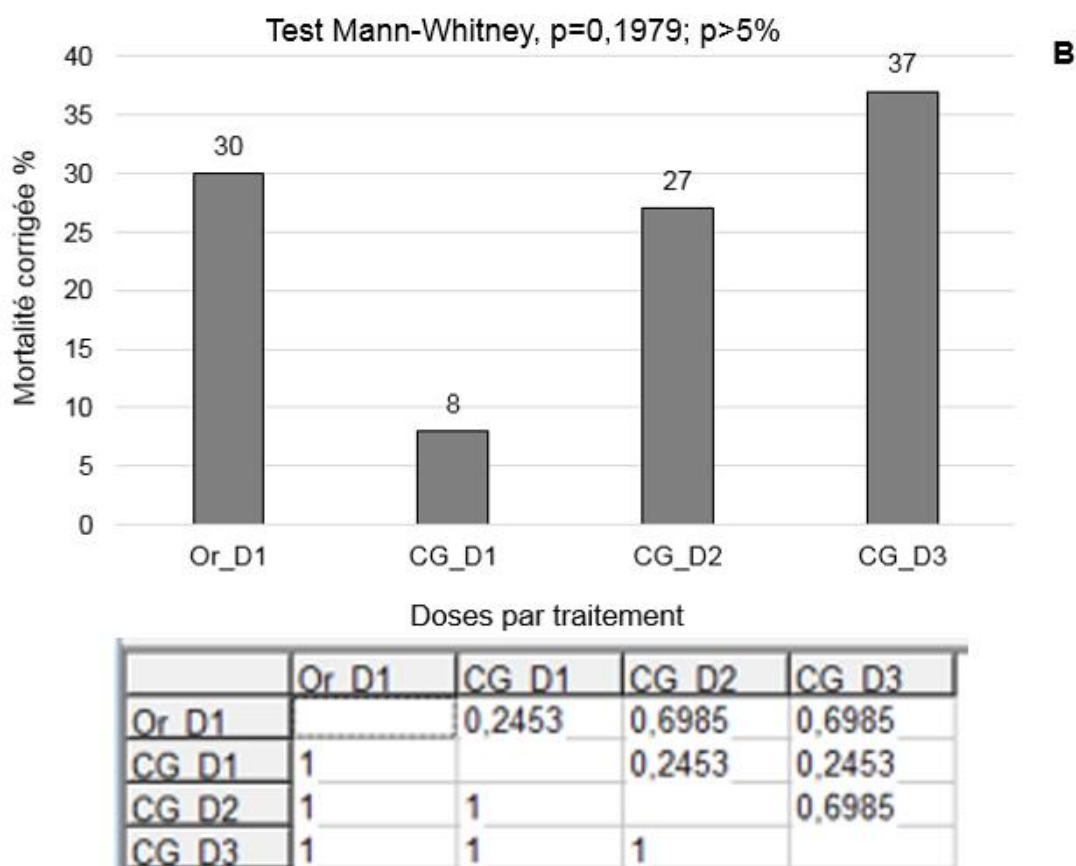


Fig. 13 : Analyse des taux de la mortalité corrigée selon les doses et les biopesticides à base d'huiles essentielles (Partie négative de l'axe de l'ACP)



DISCUSSION

Discussion

Notre étude vise à évaluer l'utilisation des huiles essentielles, contre les adultes de *Tribolium* sp. infestant les denrées stockées. Dans ce contexte de remise en question croissante de l'usage des insecticides de synthèse, ce travail s'est inscrit dans une démarche de valorisation de solutions alternatives d'origine végétale, en évaluant l'activité insecticide de deux formulations solides à base d'huiles essentielles : *Origanum vulgare* (origan) et *Syzygium aromaticum* (clou de girofle) contre *Tribolium* sp., un coléoptère ravageur majeur des denrées stockées.

Les résultats expérimentaux obtenus confirment que l'efficacité insecticide des huiles essentielles est dose-dépendante et spécifique à la nature chimique des composés volatils utilisés. L'huile essentielle de clou de girofle, riche en eugénol, s'est révélée significativement plus performante, particulièrement à la dose de 10 g/90 g, en induisant une mortalité rapide et persistante des formes adultes de *Tribolium* sp. En comparaison, l'huile essentielle d'origan, pourtant riche en carvacrol, n'a montré qu'une efficacité modérée, à effet transitoire et sans action prolongée notable. Cette divergence s'explique par la nature chimique des molécules majeures : l'eugénol exerce une neurotoxicité aiguë dans l'organisme des insectes, tandis que le carvacrol nécessite un temps d'exposition plus long pour déployer son plein potentiel (Pavela, 2015).

Les résultats obtenus à partir des tests réalisés sur les deux formulations solides à base d'huiles essentielles (origan et clou de girofle) ont révélé des comportements distincts vis-à-vis des adultes de *Tribolium* sp. L'analyse de la mortalité observée montre que l'huile essentielle de clou de girofle induit une mortalité précoce dès 6h pour les doses D5 et D6, contrairement à l'huile essentielle d'origan où seule la dose D6 produit un effet notable à ce stade. Entre 24h et 72h, une augmentation progressive de la mortalité est notée pour toutes les doses, avec une efficacité marquée à partir de la dose D4. Le clou de girofle présente ainsi un effet plus immédiat et prononcé, tandis que l'origan agit de manière plus lente et graduelle.

En comparant avec les résultats obtenus par Arib et Melahi (2024) en utilisant l'huile essentielle de la menthe poivrée (*Mentha piperita*), montrent un

maximum de mortalité de 67,5%, à la dose la plus élevée de 10 μ L après 96 h d'exposition à l'huile essentielle sur le *Tribolium castaneum* et 94% à la dose de 10 μ L/L (Pang et al., 2019) et cela pour la même durée d'exposition. Pour L'huile essentielle de Basilic tropical (*Ocimum basilicum*) a induit 100% de mortalité chez les adultes avec la dose 10 μ L après 72h d'exposition à l'huile essentielle, et avec la combinaison des deux huiles essentielles (*Mentha piperita* et *Ocimum basilicum*), le plus fort taux de mortalité est obtenu avec la dose de 10 μ L, après 96h d'exposition avec une moyenne de 88,75% (Arib et Melahi, 2024).

La mortalité corrigée confirme ces observations : pour l'origan, les valeurs corrigées sont très faibles à 6h sauf pour D6 (~20–30 %) mais s'élèvent progressivement au-delà de 50 % à 72h pour les doses élevées (D5–D6). Le clou de girofle affiche une dynamique plus puissante, avec une mortalité corrigée d'environ 60 % dès 6h pour D6, dépassant les 90 % à 72h. Les autres doses (D1 à D4) suivent une progression plus modérée, atteignant entre 30 et 50 % à la fin de l'expérimentation. Cette tendance met en lumière la forte dépendance dose-temps de ces formulations.

En revanche une étude sur le *Tribolium castaneum* de Rabahi et al. (2023) en utilisant l'huile essentielle de *Citrus aurantium* a montré que la dose la plus faible de 0,25 μ L/ml a entraîné une mortalité de 46,66 %, tandis que la dose la plus élevée de 2 μ L/ml a provoqué une mortalité dépassant 93%. Les taux de mortalité corrigée augmentent de manière significative avec l'augmentation des doses, atteignant un maximum de 92,96 % avec la dose de 2 μ L/ml. Dans le même contexte Souguir et al., (2013) ont mis en évidence l'efficacité biocide des huiles essentiels des feuilles et des fleurs de la plante Marjolaine sur les adultes de *Tribolium castaneum*, ainsi Ould Arezzo, et Ziadi (2019), en utilisant l'huile essentielle de *Mentha pulegium* à l'aide du traitement par inhalation sur *Tribolium castaneum*, ses résultats ont donné des mortalités de 86.03% après 72h de traitement. Selon Wanna et Wongsawas (2022) ont testé la toxicité de l'huile essentielle de la plante *Erygium foetidum* en utilisant un test d'inhalation sur des adultes de *Tribolium castaneum*. Leurs résultats ont démontré que l'huile essentielle d'*Erygium foetidum* était efficace, entraînant une mortalité des adultes jusqu'à 100% après 120h d'exposition.

Concernant les populations résiduelles, l'huile d'origan montre un effet relativement faible pour les faibles doses (D1 à D3), avec des populations toujours supérieures à 70–80 % à 72h. Les doses D5 et D6 réduisent davantage la population, mais de façon temporaire, ce qui suggère un effet de stress non létal. À l'inverse, les formulations à base de clou de girofle affichent une réduction nette et progressive de la population dès les premières 24h pour les doses D5 et D6, avec un taux résiduel inférieur à 10 % à 72h pour D6, témoignant d'une efficacité insecticide très élevée et persistante.

Selon Rabahi et *al.* (2023) le test de répulsion avec les doses utilisées a occasionné respectivement un taux de récursivité croissant en fonction des doses de 13,33%, 20% et 40%, vis-à-vis des adultes de *Tribolium Castaneum*. Ceci montre clairement que le pourcentage de répulsion augmente en fonction de la dose, l'effet le plus remarquable est enregistré avec la dose la plus forte 2 μ l. Ce explique que ce taux est modérément répulsif avec un taux de répulsion moyen de 24,44%.

De nombreux travaux scientifiques publiés dans la littérature ont mis en évidence l'effet répulsif des produits qui sont à base de plante contre les insectes des stocks. Parmi eux, (Kassemi, 2014) signale que la poudre des feuilles de deux plantes *Nepeta nepetelle* et *Pseudocytisus integrifolius* et les huiles essentielles extraites de ces plantes révèlent un effet néfaste sur le *Tribolium castaneum* en appliquant un traitement par contact. De même les résultats obtenus par Abdellaoui et *al.*, (2018) montrent que l'effet répulsif de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* a montré une forte répulsion contre *Tribolium castaneum* même à faible concentration (0,06 μ L/cm²). Selon Wanna et Wongsawas (2022), l'huile essentielle d'*Erygium foetidum* a montré une forte répulsion contre les adultes de *Tribolium castaneum* à une concentration de 2,5 μ L/L d'air, avec une activité répulsive maximale de 100 % observée après 7 heures d'exposition. De plus, les résultats de Rabahi et *al.* (2023) ont montré que l'huile de *Citrus aurantium* présentait un potentiel de bioinsecticide efficace contre ce ravageur des denrées stockées.

La littérature a confirmé que plusieurs composés chimiques ayant un large spectre d'effets répulsifs et toxiques, notamment les phénols (1,8 cinéole et carvacrol), les alcools (α -terpinéol, terpinen-4-ol et linalol), les aldéhydes, les

cétones (camphre et citronellal) et les hydrocarbures monoterpéniques (camphène, α -pinène et p-cimène) (Rekioua *et al.*, 2022; Delimi *et al.*, 2017; Ebadollahi *et al.*, 2021; Gong et Ren, 2020).

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de structurer ces observations temporelles et de mettre en évidence un effet clairement marqué à partir de 48 h. Les variables associées aux doses élevées sont fortement corrélées avec l'axe expliquant plus de 80 % de la variance totale, confirmant la relation entre la dose appliquée, le temps d'exposition et la mortalité observée. L'ACP confirme également le rôle déterminant du facteur temps, les deux premiers axes expliquant ensemble plus de 80 % de la variance. Par ailleurs, le test de Mann–Whitney indique qu'aux faibles doses, l'effet reste non significatif.

En comparaison avec l'étude de Sail et Hattabi (2022) qui démontre que la formulation à base d'huile essentielle des cônes de Pin pignon (*Pinus pinea*) s'est montrée très efficace contre *Tribolium castaneum*, et un taux de mortalité très élevé a été rapporté avec une faible dose de D1 après 24h, ce qui veut dire que plus la dose et le temps sont élevés, plus le nombre de décès du ravageur est élevé.

Conclusion générale

Dans un contexte de remise en question croissante de l'usage des insecticides de synthèse, ce travail s'est inscrit dans une démarche de valorisation de solutions alternatives d'origine végétale, en évaluant l'activité insecticide de deux formulations solides à base d'huiles essentielles d'*Origanum vulgare* (origan) et de *Syzygium aromaticum* (clou de girofle) contre *Tribolium* sp., un coléoptère ravageur majeur des denrées stockées.

L'expérimentation a été conduite en conditions contrôlées au laboratoire à l'aide de six concentrations croissantes (1 g, 2 g, 3 g, 5 g, 7 g et 10 g pour 99g, 98g, 97g, 95, 93, et 90g de farine) appliquées sur des adultes de *Tribolium* sp. La mortalité a été suivie à quatre intervalles temporels (6 h, 24 h, 48 h et 72 h), et un témoin non traité a été utilisé comme référence. L'objectif était de déterminer l'efficacité insecticide des deux formulations solides, à travers l'analyse de la mortalité observée, de la mortalité corrigée, ainsi que de l'évolution des populations résiduelles.

Les résultats ont clairement montré que l'efficacité des huiles essentielles est dose-dépendante et étroitement liée à leur composition chimique. L'huile essentielle de clou de girofle, majoritairement composée d'eugénol, s'est montrée nettement plus efficace, en particulier à la dose (D6) de 10 g, en induisant une mortalité rapide et prolongée. Elle a également permis une réduction marquée des populations résiduelles dès les premières 24 heures. En revanche, l'huile d'origan, pourtant riche en carvacrol, a présenté une efficacité plus modérée, caractérisée par une action rapide mais transitoire, sans persistance à long terme.

L'ensemble des analyses réalisées confirme que les formulations solides améliorent la stabilité, la diffusion et la rémanence des huiles essentielles. Ces résultats renforcent l'idée que les huiles essentielles, et en particulier celle de clou de girofle, peuvent représenter une alternative naturelle, efficace et moins toxique aux traitements chimiques conventionnels utilisés en post-récolte pour la protection des produits stockés.

Pour aller plus loin, plusieurs pistes de recherche sont envisageables afin de valoriser pleinement l'utilisation de ces biopesticides naturels :

- L'optimisation des formulations solides pour une meilleure persistance et efficacité en conditions réelles ;
- L'évaluation de leur activité contre d'autres ravageurs des denrées stockées afin d'élargir leur spectre d'action ;
- L'analyse des mécanismes d'action moléculaires impliqués dans la toxicité sur les insectes cibles ;
- Et enfin, la validation en conditions d'entreposage réel, en tenant compte des variables environnementales (température, humidité, durée, type des denrées...).

Ainsi, cette étude ouvre des perspectives concrètes pour une gestion intégrée et durable des ravageurs des produits stockés, en cohérence avec les objectifs de réduction des intrants chimiques et de promotion d'une agriculture plus sûre et respectueuse de l'environnement.

Références bibliographiques

1. Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265–267.
2. Abdullahi, G., Muhamad, R Et Sule, H.2019. Biology, Host Range And Management Of Red Flour Beetle *Tribolium Castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae): A Review .*Journal Of Agricultural Research Jar* . Vol 7.P 49-50.
3. Abdellaoui, K., Acheuk, F., Miladi, M., Boughattas, I et Omri, G. 2018. Phytochemistry, Biochemical And Insecticidal Activities Of *Ruta Chalepensis* Essential Oils On *Tribolium Confusum*. *Journal Agriculture and Forestry*. Vol 64.p 31-40.
4. Ait-Slimane, A., & Ait-Kaki, S. (2008). Contribution à l'étude de l'interaction génotype × milieu pour la qualité technologique du blé dur en Algérie. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
5. Arib K. et Melahi T., 2024 : Evaluation de la bio-efficacité des huiles essentielles de Menthe poivrée et Basilic tropical utilisés seuls et en combinaison contre le *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae), insecte ravageur des denrées stockées. Mémoire de Master. Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. P58.
6. Arrab, R. (2016). Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L et *Peganum harmala* L. sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castaneum* herbst (Coleoptera , Tenebrionidae). Magister, univ. Farhat Abbas Sétif.
7. Bakkali, F. et al. (2008). Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*, 46, 446–475.
8. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
9. Bekon, K ; Fleurat-Lessard, F., 1989 : « Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire : *Tribolium castaneum* (Herbst), coleoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales. », *Céréales en région chaudes* P 97-104.
10. Benbelkhir, F., X., & Y. (2019). Principaux coléoptères ravageurs des denrées stockées. In *Protection des végétaux* p.12.
11. Benhalima, H. (2006). Les insectes des denrées stockées : biologie, dégâts et méthodes de lutte. *Options Méditerranéennes*, 69, 243-250.
12. Benlameur., Z. 2016. Les ravageurs des denrées stockées et leur impact sur la santé humaine. Doctorat en Sciences Agronomiques. Ecole Nationale

Supérieure Agronomique El-Harrach Alger. P1-2.

13. Berhaut et al, 2003 : stockage et conservation des grains à la ferme (qualité-stockage), stockage à la ferme, (arvalis – institut du végétal) et Jean-Pierre Criaud (grceta de l'évèreucien), ARVALIS - institut du végétal.
14. Bessot J.C., Metz-Favre C., Blay F et Pauli G., 2011 : Acariens de stockage et Acariens pyroglyphides : ressemblances, différences et conséquences pratiques. *Revue Française d'allergologie* 51 : pp 607-621.
15. Bonneton, F. 2010. Quand *Tribolium* Complément La Génétique De La Drosophile. *Medecine/Sciences* .Vol 26. p267.
15. Boukhalfa H., et Rouabah I., (2020). L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Mohamed El Bachir El Ibrahim, Algérie 26p.
17. Boulal, H., et al. (2007). Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb : Algérie, Maroc, Tunisie. El Harrach, Algérie : Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC)
18. Bounechada, A., & Arab, M. (2001). Les insectes destructeurs des denrées stockées et leur impact économique : rapport des statistiques de la FAO. *Agronomie, (Revue)*, 1, 45–60.
19. Calabrese, E.J. (2008). Hormesis: Why it is important to toxicology and toxicologists. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(7), 1451–1474.
20. Campbell, J. F., & Arbogast, R. T. (2004). Stored-product insects in a flour mill: population dynamics and response to fumigation treatments. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 112(3), 217-225.
21. Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 2018, Article ID 6906105.
22. Cheikh , A. 2019. Caractérisation Morphogénétique Des Populations Ouest-Africaines De *Tribolium Castaneum* Herbst, Ravageur Des Céréales Stockées : Différenciation En Races Hôtes Et Écotypes. Doctorat Unique En Biologie Animale. Université Cheikh Anta Diop De Dahar. Dakar. P 27.
23. Chiasson, H., & Beloin, N. (2007). Les huiles essentielles : des biopesticides "nouveau genre". In *Les huiles essentielles, des biopesticides (Revue de littérature, pp. 1-20)*.
24. Christine B., 2001. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique. 2^{ème} Edition, 124-154.
25. Coraf , 2007 : Programme de productivité agricole en Afrique de l'ouest. Plan

- de Gestion des pestes et pesticides. Rapport E1553., v 2. Dakar, pp 5 – 6.
26. Compagnie des Sens. (s.d.). *Histoire de l'aromathérapie*. Récupéré de <https://www.compagnie-des-sens.fr/histoire-aromatherapie/>
 27. Dajoz R., 2002. Dictionnaire d'entomologie, anatomie, systématique, biologie. Ed pays P 169-170.
 28. Delimi, A., Taibi, F., Fissah, A., & Cheffrou, A. (2013). Bio-activité des huiles essentielles de *Artemisia herba-alba* : effet sur la reproduction et la mortalité des ravageurs des denrées stockées (*Ephestia kuehniella*). *Revue Africaine de Protection des Végétaux*, 19(1), 2323:04
 29. Delobel A. et Tran M., 1993. Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, Faune tropicale XXXII. Paris. 103-106 p. des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie ; Tunisie, Maroc), 176p
 30. Delimi, A., Taibi, F., Bouchelaghem, S., Boumendjel, M., Hennouni-Siakhène, N et Cheffrou, A. 2017. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil of *Artemisia herba alba* (Asteraceae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Biosciences*. Vol 10. p 130-137.
 31. Ducom P., 1982. La protection phytosanitaire des grains après récolte. *Rev. Phytoma. Def. Cult.*, 133 :32-37
 32. Ebadollahi, A., Taghinezhad, E., Setzer, W.N et Chen, G. 2021. susceptibility of *Tribolium castaneum* (Coleoptera:Tenebrionidae) to the Fumigation of Two Essential Satureja Oils: Optimization and Modeling. *Journal of Processes*. Vol 9. p 1-6.
 33. FAO. (2019). *The State of Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 34. Ghestem A., Seguin E., Paris M., et Orecchioni A.M., 2001. Le préparateur en pharmacie dossier 2ème Ed TEC&DOC. Paris. pp275.
 35. Gong .X et Ren. Y. 2020. Larvicidal and ovicidal activity of carvacrol, p-cymene, and γ - terpinene from *Origanum vulgare* essential oil against the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of Environmental Science and Pollution Research*. Vol 27. p 18708–18716.
 36. Gueye, A. C., Diome, T., Thiam, C., & Sembene, M. (2015). Évolution des paramètres biodémographiques des populations de *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) inféodées dans le mil (*Pennisetum glaucum* Leek) et le maïs (*Zea mays* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 90, 8355–8360.

37. Gwinner J., Hamisch R., et Muck O., 1996. Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte, GTZ, Eschborn. Pp : 368
38. Haubruge, E., Amichot, M. (2002). Insecticide resistance in stored product insects: problems and solutions. Mededelingen (Rijksuniversiteit te Gent. Fakulteit van de Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen), 67(2), 281-289.
39. Hodges, R.J. & Farrell, G. (2004). *Post-harvest losses in Africa – their causes and the means of prevention*. Natural Resources Institute.
40. Inge de groot, 2004 : protection des céréales et des légumineuses stockent, c'est un Agrodok (livre) première édition : 1996 deuxièmes éditions : 2004 conception : janneke reijnders traduction : Evelyne Codazzi ISBN, p 74.
41. Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
42. Isman, M.B., 2005- Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.*, N° 51, pp. 45-66.
43. Isman, M.B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
44. Karahaçane T., 2015 : Activité insecticide des extraits de quelques plantes cultivées et spontanées sur les insectes du blé en post récolte. Thèse. Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach, 136.
45. Keita S. M., Vincent C., Schmidt J.P., Arnason J.T. et Belanger A., 2001. Efficacy of Essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an *T.confusum* (Fab.) J. *StoredProd.Res.* 37, PP 339-349.
46. Kellouche A., 1987. Relations parasitaires entre *Lariophagus distinguendus* FORSTER et *Chaetospila elegans* Sw. (Hymenoptera : Pteromalidae) et les ravageurs des denrées stockées : *Sitophilus oryzae* LINNEAUS et *Rhyzopertha dominica* Fabricius (Coleoptera : Curculionidae et Bostrychidae). Thèse de Doctorat de troisième cycle en Ecologie. Univ. Paul Sabatier Toulouse : 14- 19.
47. Kassemi, N. 2014 : Activité biologique des poudres et des huiles de deux plantes aromatiques (*pseudocytisus intergrifolius* salib et *nepeta nepetella* L.) sur les ravageurs du blé et des légumes secs .thèse de doctorat en biologie, université de Tlemcen. Vol 17 .
48. Kemassi, A., Herouini, A ., Hadj, S.A ., Cherif, R ., Ould Elhadj, M.D .2019.Effet Insecticide Des Extraits Aqueux D'euphorbia Guyoniana (Euphorbiaceae) Recoltee Dans Oued Sebseb (Sahara Algerien) Sur Le

49. Klingler, M., & Bucher, G. (2022). The red flour beetle *T. castaneum*: elaborate genetic toolkit and unbiased large scale RNAi screening to study insect biology and evolution. ResearchGate.
50. Kostyukovsky, M., Rafaeli, A., Gileadi, C., Demchenko, N., & Shaaya, E. (2002). Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. *Pest Management Science*, 58(11), 1101–1106.
51. Koury C.,2009. Agronomie biologique, une agriculture pour XXIe Siècle Mathieu Calome- Edition CLM. 538p.
52. Kumar,H .,Panigrahi,M ., Chhotaray,S ., Bhanuprakash,V ., Shandilya,R ., Sonwane, A Et Bhushat, B .2018. Red Flour Beetle (*Tribolium Castaneum*): From Population Genetics To Functional Genomics .Journal Of Veterinary World .Vol 11 . P1043 . DOI: 10.14202/Vetworld.2018.1043-1046.
53. La Compagnie des Sens. (s. d.). Histoire des huiles essentielles.
54. Labeyrie Y., 1962. Les Acanthoscelide sobtectus, entomologie appliqué à l'agriculturedans :balasowsky. ed. Masson Publ. Paris, 335 P.
55. Marmonier, P., Archambaud, G., & Elouard, J.-M. (2006). Écologie : approches expérimentales et outils. Paris : Dunod, 288 p.
56. Mossa, A., (2016). Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest
57. Myers, P., Espinosa, R., Parr, C. S., Jones, T., Hammond, G. S., & Dewey, T. A. (2025). *Tribolium* — Classification. In Animal Diversity Web. Museum of Zoology, University of Michigan.
58. Ncibi , S .2020 . Potentiel Bioinsecticide Des Huiles Essentielles Sur Deux Ravageurs Des Céréales Stockées *Rhyzopertha Dominica* (Fabricius, 1792) Et *Tribolium Castaneum* (Herbst, 1797) Et Identification De Leurs Ennemis Naturels. Doctorat En Sciences Agronomiques. Institut National Agronomique De Tunisie. P 22-23.
59. Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1), 372–378.
60. Ould Arezzo, H., et Ziadi, A. (2019). *Insecticidal efficacy of Mentha pulegium essential oil via fumigation on Tribolium castaneum*. Mémoire non publié, Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbès, Algérie.
61. Padrini F., Lucheroni M.T., 1996. Le grand livre des huiles essentielles. Ed. Vecchi.212p.

62. Pai, A et Bucher, G . 2019 . Tribolium . Encyclopedia Of Animal Behavior .Vol 3 .P 232 .
63. Park, I.K., Lee, S.G., Choi, D.H., Park, J.D., and Ahn, Y.J. (2000). Insecticidal and acetylcholinesterase inhibitory activity of plant essential oils and their constituents against *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 68(3), 252–257.
64. Pauli, A., Hagstrum, D. W., & Subramanyam, B. (2013). The pest importance of stored-product mites (Acari: Acaridida). In D. W. Hagstrum, B. Subramanyam & A. Pauli (Éds.), *Stored-Product Protection* (pp. 235–270).
65. Pavela, R. (2015). Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. *Industrial Crops and Products*, 76, 174–187.
66. Pang, Y.-J., Fu, H., Hu, B., Zhang, G.-W., and Xia, Y,(2019). Benzoquinone synthesis-related genes of *Tribolium castaneum* confer the robust antifungal host defense to the adult beetles through the inhibition of conidial germination on the body surface. *Journal of Invertebrate Pathology*, 163, 20–28.
67. Rajkumar V., Gunasekaran C., Christy I.K., Dharmaraj J., Chinnaraj P. et Paul C.A., (2019). Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pestic. Biochem.Physiol.*,volume156,144p.
68. Rebahi A., Gherib B. et Belaifa A. A., 2023 : Activité biologique de l'huile essentielle d'une plante aromatique sur deux insectes ravageurs des denrées stockées, mémoire de Master. Univ. 8 Mai1945 (Guelma), p78
69. Rees, D. (2004). *Insects of Stored Products*. CSIRO Publishing.
- 70 . Regnault G., 2002. Biopesticide d'origine végétale Ed. Tec.et Doc. Lavoisier, 319 p.
71. Regnault T-Roger C., Philogene B. J. R., et Vincent C., 2002. Biopesticides d'origines végétales. Ed. Paris, p337.
72. 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.
73. Rekioua, N., Boumendjel, M., Taibi, F., Samar, M.F., Ben Jemaa, J.M., Benaliouch, F., Negro, C., Nicoli, F., De Bellis., Boushih, E et Haouel, S. 2022. Insecticidal Effect Of *Eucalyptus Globulus* And *Rosmarinus Officinalis* Essential Oils On A Stored Food Pest *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera, Pyralidea). *Cellular And Molecular Biology*. Vol 68. p 144-150.
74. Roulier, G. (1990). Les huiles essentielles pour votre santé : traité pratique

d'aromathérapie, éditionsGraveson, 322p.

75. Sail A. et Hattabi M., 2022 : Evaluation de l'activité biocide des huiles essentielles de *Pinus pnea*. Mém. Master. Univ Saad Dahleb Blida 1. P30.
76. Scotti G., 1978 : Les insectes et les acariens des céréales stockées Coed. A.F.N.O.R – I.T. C .F., Paris, 232 P.
77. Serpeille A., 1991. La bruche du haricot : un combat facile ? Bulletin semences, n° 116, Ed. FNAMS, Paris, app : 32-34.
78. Shaaya, E., Kostjukovsky, M., Eilberg, J., & Sukprakarn, C. (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33, 7–15.
79. Sokoloff, A. (1974). *The biology of Tribolium*. Oxford University Press.
80. Souguir, S., Ben Cheikh, Z., Chaieb, I., and Laarif, A. (2013). *Study of the toxicity of essential oils of Origanum majorana on Tribolium castaneum and Plodia interpunctella (stored-product insects)*. *Tunisian Journal of Medicinal Plants and Natural Products*, 9(1), 29–34.
81. Teuscher, Anton R, Lobstein A., 2005. Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. Tec et Doc. Paris, Lavoisier, 522p.
82. Tunc, I. et al. (2000). Ovicidal activity of essential oils. *Journal of Stored Products Research*, 36(2), 161–168.
83. Ultee, A., Kets, E.P.W., & Smid, E.J. (2002). Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(10), 4606–4610.
84. Vincent S., Wilson R., Coelho C., Affolter M., Leptin M., 1998. The Drosophila protein Dof is specifically required for FGF signaling. *Mol. Cell* 2(4): 515--525.
85. Wanna, R et Wongsawas, M. 2022. Toxicity and bioactivity of essential oil of Cilantro (*Eryngium foetidum* L.) against red flour beetle [*Tribolium castaneum* (Herbst)]. *Australian journal of crop science*. vol 16.p 259- 262.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L' ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة البليدة 1
UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département des biotechnologies et Agro Ecologie



Mémoire de fin d' étude
Pour l'obtention de diplôme de Master Académique en
Sciences de la Nature et de la Vie
Spécialité : Sciences Agronomiques
Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

THEME

**Etude comparative de l'activité de deux formulation
solides à base d'huiles essentielle sur les ravageurs
des denrées stockées : Cas du *Tribolium sp***

Réalisé par : DJAZOULI Amel et BENNACEUR Naila

Devant le jury composé de :

Président :	M ^{me} BABA AISSA K.	M.A.A	U. Blida 1
Encadreur :	M ^{me} LEMITI S.	M.C.B	U. Blida 1
Co-encadreur :	M ^{me} BRAHIMI L.	M.C.A	U. Blida 1
Examinatrice :	M ^{me} BELKHOUMALI S.	M.A.B	U. Blida 1

A.F
Madame BELKHOUMALI