

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département des Sciences Biologiques

## *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention du diplôme de master académique en Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie des Populations et des Organismes.

### *Thème*

**Etude de l'activité bioinsecticide des huiles essentielles de l'ail (*Allium Sativum*), de la cannelle (*Cinnamomum Cassia*) et de gingembre (*Zingiber officinale*) à l'égard de *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae).**

M<sup>lle</sup> Tinkicht Lynda

#### ***Devant le jury:***

<b>Présidente:</b> M <sup>me</sup> AIT MOULOU.D. L	MCA	UMMTO
<b>Promotrice :</b> M <sup>me</sup> HEDJAL .M	Professeur	UMMTO
<b>Co-promotrice :</b> M <sup>lle</sup> KHELOUL.L	Docteur	UMMTO
<b>Examinatrice:</b> M <sup>lle</sup> AISSAOUL.F	Docteur	UMMTO

**2022/2023**

# Dédicaces



Tout d'abord, je tiens à remercier le bon DIEU tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A mes chers parents,

Nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments pour leur patience illimitée, leur encouragement continu et leur aide. En témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

A mes frères,

Salim et sa femme Thanina, Toufik et mon petits frère Oualid, Pour votre soutien permanent, merci d'être toujours là pour moi.

A mes collègues et amis et tous ceux qui m'ont encouragé.

**Lynda**





# Remerciements

*Avant toute chose, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce mémoire.*

*Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide de notre promotrice M<sup>me</sup> HEDJAL et notre Co-promotrice M<sup>elle</sup> KHELLOUL.*

*Nous les remercions vivement pour leur grande aide, leurs précieux conseils, la qualité de leur encadrement et leur disponibilité durant notre préparation.*

*Nous remercions M<sup>me</sup> AIT MOULOUD, de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance malgré ses multiples charges, qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect.*

*On tient également à remercier M<sup>elle</sup> AISSAOUI Pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*Pour finir, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*



## Liste des abréviations

°C .....	Degré Celsius
PR .....	Pourcentage de répulsion
ml.....	Microlitres
cm .....	Centimètres
ml.....	Millilitres
g.....	Grammes
Tr .....	Traité
Nt .....	Non traité
IK .....	Indices de Kovàts
NOVA .....	Analysis of variance
h.....	heure
mm.....	Millimètre
CPG.....	Chromatographique en phase gazeuse
CL50 .....	Dose létale engendrant 50% de mortalité
HE.....	Huile essentielle

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Les œufs de <i>T. confusum</i> avec des particules de substrat alimentaire (Abahri, 2017).	4
<b>Figure 2</b> : La larve de <i>T. confusum</i> (kedjem et Taharboucht, 2021) .....	5
<b>Figure 3</b> : La nymphe de <i>T. confusum</i> (kedjem et Taharboucht, 2021) .....	6
<b>Figure 4</b> : L'adulte de <i>T. confusum</i> vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) (kedjem et Taharboucht, 2021) .....	6
<b>Figure 5</b> : Les dégâts de <i>T. confusum</i> sur la semoule (kedjem et Taharboucht, 2021) .....	9
<b>Figure 6</b> : quelques exemples des terpènes (Azucena et al. 2010).....	15
<b>Figure 7</b> : L'ail ( <i>A. sativum</i> ) (Chergui, 2018) .....	18
<b>Figure 8</b> : Les feuilles (A) et l'écorce de la cannelle (B) (Google, 2023).....	19
<b>Figure 9</b> : <i>Z. officinale</i> , A) La plante entière (Randriana, 2005) ; B) Le rhizome (Yagmur et al. 2015) .....	21
<b>Figure 10</b> : Montage d'un hydrodistillateur de type (clevenger) (Laboratoire d'entomologie appliquée, originale, 2023).....	25
<b>Figure 11</b> : Elevages de masse de <i>T. confusum</i> (Originale, 2023) .....	27
<b>Figure 12</b> : Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> traités par les différentes doses des trois huiles essentielles (Originale, 2023) .....	28
<b>Figure 13</b> : Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2023) .....	29
<b>Figure 14</b> : Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle d'ail ( <i>A. sativum</i> ) en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	35
<b>Figure 15</b> : Droite de régression de la mortalité en probits en fonction de log des doses.....	36

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et <i>al.</i> (1970).....	30
<b>Tableau 2:</b> Résultats de rendement des trois huiles essentielles extraites .....	31
<b>Tableau 3:</b> Analyse qualitative et quantitative de l'HE de la cannelle par la GPC.....	32
<b>Tableau 4:</b> Analyse qualitative et quantitative de l'HE de Gingembre par la GC .....	33
<b>Tableau 5:</b> Analyse qualitative et quantitative de l'HE de l'ail par la GC.....	34
<b>Tableau 6 :</b> Taux moyen de répulsion des huiles essentielles de <i>C. cassia</i> , de <i>Z. officinale</i> et de <i>A. sativum</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et leur classement selon Mc Donald et <i>al.</i> (1970) .....	37
<b>Tableau 7:</b> Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des trois huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	38
<b>Tableau 8:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	39
<b>Tableau 9:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	39
<b>Tableau 10:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des trois huiles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	40
<b>Tableau 11:</b> Résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsion avec les trois huiles essentielles testées .....	40
<b>Tableau 12:</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile essentielle testée par répulsion sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	41

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## **Partie 1:**

### **1.1. Généralité sur le *Tribolium confusum***

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés .....	3
2. Présentation de l'espèce modèle <i>T. confusum</i> .....	3
2.1. Position systématique .....	3
2.2. Origine et répartition géographique .....	4
2.3. Description des différents stades de développement du <i>T. confusum</i> .....	4
2.4. La Biologie de <i>Tribolium confusum</i> .....	7
2.5. Les ennemis naturels de <i>T. confusum</i> .....	7
2.6 Régime alimentaire et dégâts .....	8
3. Les moyens de lutte contre le <i>T. confusum</i> .....	9
3.1. La lutte préventive .....	9
3.2. La lutte traditionnelle .....	10
3.3. La lutte chimique .....	10
3.4. La Lutte physique .....	10
3.5. La lutte biologique .....	11
3.6. La lutte biotechnologique .....	11

### **1.2. Généralité sur les huiles essentielles**

1. Définition et caractéristique .....	13
2. Composition chimiques des huiles essentielles .....	14
3. Modes d'extraction .....	15
3.1. Entraînement à la vapeur d'eau .....	15
3.2. Hydro-distillation .....	16
3.3. Enfleurage .....	16
3.4. Expression à froid .....	16
4. Activité biologique des huiles essentielles .....	17
5. Présentation des plantes aromatiques étudiées .....	17
5.1. L'ail ( <i>Allium sativum</i> ) .....	17

5.1.1. Description botanique .....	17
5.1.2. Position systématique .....	18
5.1.3. Origine et répartition géographique .....	19
5.1.4. L'huile essentielle de l'ail .....	19
5.2. La cannelle ( <i>Cinnamomum cassia</i> ) .....	19
5.2.1. Description botanique .....	19
5.2.2. Position systématique .....	20
5.2.3. Origine et répartition géographique .....	20
5.2.4. L'huile essentielle de la cannelle .....	20
5.3. Le gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> ) .....	20
5.3.1. Description botanique .....	20
5.3.2. Position systématique .....	21
5.3.3. Origine et répartition géographique .....	22
5.3.4. L'huile essentielle de gingembre.....	22

## **Partie 2: Matériel et méthodes**

1. Matériel .....	23
1.1. Matériel de laboratoire .....	23
1.2. Matériel biologique .....	24
1.2.1. Matériel animal ( <i>T. confusum</i> ) .....	24
1.2.2. Matériel végétal .....	24
2. Méthodes .....	24
2.1. Extraction des huiles essentielles .....	24
2.1.1 .Détermination du rendement en huiles essentielles .....	25
2.2. Détermination de la composition chimique des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse de masse(CPG) .....	25
2.3. Élevage de masse .....	26
2.4. Test d'inhalation .....	27
2.5. Test de répulsivité .....	28
3. Analyse statistique .....	30

## **Partie 3: Résultats et discussions**

1. Les résultats de rendement d'extraction des trois huiles essentielles testées.....	31
---	----

2. Résultats de l'analyse chromatographique en phase gazeuse (CPG) des huiles testées .....	31
3. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de <i>T. confusum</i> par Inhalation.....	35
3.1. Effet de l'huile essentielle de l'ail ( <i>Allium sativum</i> ) à l'égard de <i>T. confusum</i> .....	35
3.2 Effet des huiles essentielles du gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> ) et de la cannelle ( <i>Cinnamomum cassia</i> ) à l'égard de <i>T. confusum</i> .....	36
4. Résultat des tests par répulsion des trois huiles essentielles de la cannelle, le gingembre et d'ail sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	36
5. Résultats des analyses statistiques.....	37
5.1. Résultats de l'analyse statistique pour les tests d'inhalation avec les trois huiles essentielles.....	37
5.2. Résultats de l'analyse statistique des tests par répulsion avec les trois huiles essentielles .....	40
6 .Discussion .....	41
6.1. Le rendement d'extraction des huiles essentielles .....	41
6.2. Les analyses chromatographiques par la phase gazeuse CPG .....	42
6.3. Traitement par test de fumigation .....	43
6.4. Traitement par test de répulsivité .....	46
<b>Conclusion.....</b>	<b>48</b>

## **Références bibliographiques**

## **Résumé**

# **Introduction**

### 1. Introduction

Les grains stockés, les céréales et leurs produits sont des sources importantes de nourriture dans le monde entier; par conséquent, la conservation efficace de cette ressource clé est nécessaire pour la survie humaine (Elbrense et al. 2022).

En Algérie, les céréales et leurs dérivées constituent l'épine dorsale du système alimentaire Algérien. En effet, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale (Feillet, 2000). La consommation des produits céréaliers en Algérie est d'environ 205 kg/hab/an (Chehat, 2007).

Les insectes ravageurs sont à l'origine de la plupart des dommages subis aux denrées stockées et causent d'importantes pertes économiques qui peuvent dépasser les 20% au niveau du stockage des céréales (Karahacane, 2015). Les dégâts qu'ils occasionnent incluent la perte de poids, une diminution de la quantité et la qualité des grains et quelque fois une perte du pouvoir germinatif (Mossa, 2016). L'activité métabolique des insectes crée un milieu favorable au développement des micro-organismes (Waongo et al. 2013), ce qui rend le produit impropre à la consommation.

Parmi les insectes ravageurs les plus nuisibles aux denrées stockées le *Tribolium confusum* (Jacquelin duVal), un coléoptère de la famille des Ténébrionidés de distribution cosmopolite. La principale raison de leur pullulation est la présence de climats favorables à leur croissance et à leur survie. Les adultes sécrètent une substance riche en quinones, cette dernière donne aux produits alimentaires envahis une odeur particulièrement désagréable et une couleur fortement dépréciée, cette substance est irritante pour l'homme et elle peut causer des désordres gastriques (Roger, 2002). Certains insectes ravageurs commencent à endommager les graines au stade de la maturation et continuent pendant le stockage (Pruthi et Singh, 1950).

Des produits synthétiques ont été utilisés pour lutter contre ces ravageurs. Leur utilisation excessive a conduit à la perte d'efficacité, le développement de la résistance des insectes ravageurs ainsi que des dommages sur la santé humaine et environnementale. Par conséquent, la recherche d'alternatives de lutte s'avère nécessaire d'où l'augmentation d'intérêt donné aux extraits de plantes comme les huiles essentielles (Kanana et al. 2018).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à tester dans les conditions de laboratoire, l'effet bio-insecticide des huiles essentielles de trois plantes, la

cannelle (*Cinnamomum cassia*), le gingembre (*Zingiber officinale*) et l'ail (*Allium sativum*) par inhalation et par répulsion sur les adultes de l'insecte ravageur *T. confusum*.

Notre travail s'articule autour de trois parties :

- **Partie 1: Généralité sur le *Tribolium confusum* et sur les huiles essentielles**

Cette partie traite l'insecte ravageur : *T. confusum*, un bref aperçu sur les huiles essentielles.

- **Partie 2: Matériel et méthodes**

Fait le bilan précis des outils, concept et équipements utilisés au cours de ce travail.

- **Partie 3: Résultats et discussions**

Nous nous consacrons dans un premier temps à la présentation des résultats expérimentaux, mis en valeur par des analyses statistiques, et en deuxième temps à la discussion de ces résultats.

Notre travail est clôturé par une conclusion générale ainsi que des perspectives.

# Partiel

**Généralité sur le**  
*Tribolium confusum*

# Généralité sur *Tribolium confusum*

---

## 1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés

Les Ténébrionidés constituent l'une des plus vastes familles des Coléoptères avec environ 2300 genres et 20000 espèces dans le monde (Matthews et *al.* 2010), ils sont communément appelés ténébrions en raison de leur couleur noire ou brune et de leurs habitudes nocturnes (Kergoat et *al.* 2014). Les adultes sont généralement de couleur sombre, présentent une grande variété d'aspects. En revanche, les larves sont de forme cylindrique, leur tégument est généralement sclerotinisé. Un certain nombre de tenebrionidae ont été signalées comme nuisibles sur les plantes cultivées et autres s'attaquent aux denrées alimentaires stockées ou emmagasinées. Parmi Les Ténébrionidés nuisibles aux denrées stockées, le genre *Tribolium* comprend plus de 36 espèces (Angelini et Jockusch, 2008), dont deux espèces principales cosmopolites et nuisibles : *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum* (Delobel et Tran, 1993).

*T. confusum* est connu pour attaquer et infester les denrées alimentaires stockées, notamment la farine et les grains de céréales. Il a des ailes bien développées, mais vole rarement. Lorsqu'il est agité, il peut sécréter des substances chimiques appelées quinones. Ces dernières peuvent rendre les aliments infestés roses et avoir une odeur piquante (Cruz et Diop, 1989).

## 2. Présentation de l'espèce modèle *T. confusum*

### 2.1. Position systématique

*T. confusum* est un insecte ravageur secondaire, s'attaque principalement à la farine, la semoule et aux grains endommagés par d'autre insectes (Ozkaya et *al.* 2009).

Selon Lepesme (1944), *T. confusum* occupe la position systématique suivante :

- **Règne** : Animalia.
- **Embranchement** : Arthropoda.
- **Sous-embranchement** : Hexapoda.
- **Classe** : Insecta.
- **Sous-classe** : Pterygota.
- **Ordre** : Coleoptera.
- **Sous-ordre** : Polyphaga.
- **Famille** : Tenebrionidae.

- **Genre:** *Tribolium*.
- **Espèce:** *Tribolium confusum* (DUVAL).

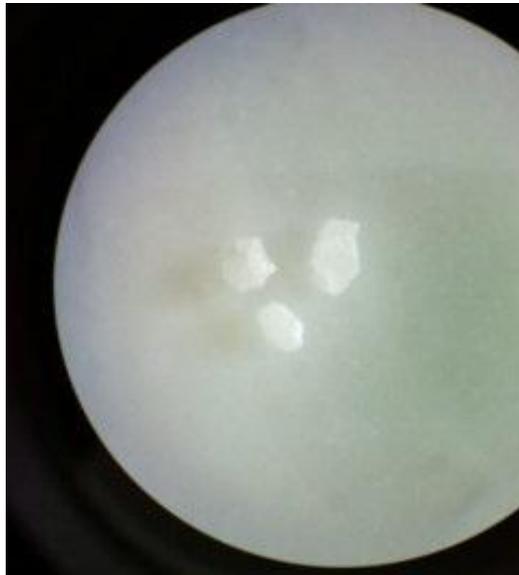
### 2.2 Origine et Répartition géographique

*T. confusum* est une espèce cosmopolite, bien qu'elle est d'origine strictement africaine (Delobel et Tran, 1993). Cette espèce a été transportée par l'homme avec les produits alimentaires et se rencontre maintenant dans le monde entier. Par suite de sa résistance plus grande aux basses températures, cette espèce se rencontre à des latitudes plus septentrionales que d'autres espèces du même genre (Jurgen et *al.* 1981).

### 2.3. Description des différents stades de développement de *T. confusum*

#### 2.3.1 Les œufs

Sont de forme oblongue et d'une couleur blanchâtre, presque transparent, sa surface lisse est recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet d'adhérer à la denrée infestée (Figure1) (LEPESME, 1944). Les œufs sont pondus individuellement et dispersés dans la farine, mais peuvent être fixés sur la face interne d'un récipient (Good, 1933).



**Figure 1** : Les œufs de *T. confusum* avec des particules de substrat alimentaire

(Abahri, 2017).

### 2.3.2 Les larves

La jeune larve, d'abord de couleur blanche, devient progressivement jaune, à l'exception des pièces buccales et de la tête plus foncée, elle est très allongée de forme cylindrique et presque glabre, elle possède une paire de prolongements abdominaux dirigés vers le haut, les urogomphes, leur corps est recouvert de nombreuses soies (Figure 2). Les larves perdent progressivement de leur mobilité au cours de leur développement qui comporte 7 à 8 mues. La larve du dernier stade est cylindrique, de couleur jaune pâle, elle mesure environ 7 mm de long et 0,8 mm de largeur. Les larves âgées remontent en surface avant de se transformer en nymphes qui restent sans protection et incapable de se déplacer (Fleurat-Lessard, 1982).



**Figure 2 :** La larve de *T. confusum* (kedjem et Taharboucht, 2021).

### 2.3.3 Les nymphes

Elles sont nues d'une couleur blanche à jaune pâle avec une tête déprimée sous le pronotum. La nymphe mâle mesure environ 3,25 - 4,15 mm de longueur et 0,95 - 1,25 mm de largeur, tandis que la nymphe femelle est d'une longueur d'environ 3,6 - 4,0 mm et d'une largeur d'environ 0,25 - 1 mm (Figure 3). L'abdomen nymphal conique est le dernier segment qui a deux structures pointues, ce sont les urogomphes (Zohry, 2017)



**Figure 3 :** La nymphe de *T. confusum* (kedjem et Taharboucht, 2021)

### 2.3.4 Les adultes

L'imago est de couleur blanc jaunâtre, son tégument se sclérotinise et se pigmente 2 à 3 jours après son émergence (Lépisme, 1944). Espèce brun-rouge, sa taille atteint 3 à 4 mm, à intervalles des élytres nettement moins carénés (Figure 4), non costiformes, la ponctuation intervallaire des élytres à peine visible, l'espace interoculaire très large, de 2,5 fois la largeur de l'œil, le canthus des joues très saillant au-dessus des yeux, la ponctuation du pronotum plus fine et espacée, non réticulée latéralement (Calmont et Soldati, 2008), les derniers articles des antennes s'élargissent progressivement, sans former de massue distincte. Dimorphisme sexuel : chez le mâle, les stries des élytres sont interrompues avant l'extrémité ; au contraire, chez la femelle, les stries 4-6 et 7-3 se rejoignent à l'apex (Zohry, 2017).



(a)

(b)

**Figure 4 :** L'adulte de *T. confusum* vue dorsale (a) et vue ventrale (b). (Kedjem et Taharboucht, 2021)

### 2.4 La biologie de l'insecte

Le premier accouplement a lieu environ 2 jours après l'émergence des imagos et dure de 3 à 15 minutes (Steffan in Scotti, 1978), l'accouplement se produit fréquemment et a des moments différents de la journée (Stanley, 1965). Les imagos ont une longue durée de vie et produisent des œufs en continu sur une longue période (Salim et al. 2019). Le cycle de vie complet du *T. confusum* est de 7 à 12 semaines. L'optimum thermique de l'espèce se situe entre 32 et 35 °C et son développement s'arrête au-dessous de 22 °C. Cette espèce résiste aux basses hygrométries (Benlameur, 2016).

La longévité de l'insecte dépasse généralement 6 mois et peut atteindre près de 4 ans, la femelle pondent entre 500 et 1400 œufs, au rythme de 2 à 3 œufs par jour, les œufs sont déposés en vrac sur les graines et sont difficiles à déceler, les larves circulent librement dans les denrées infestées (Delobel et Tran, 1993).

Les larves éclosent environ 10 jours plus tard et se nourrissent dans ce milieu; ce n'est qu'après 7 ou 8 mues qu'elles passent au stade nymphal. La durée du stade larvaire varie de 22 jours à plus de 100 jours, selon la température ambiante, le taux d'humidité et la nourriture disponible. Le stade nymphal dure en moyenne 8 jours. La femelle peut vivre jusqu'à 2 ans et un mâle jusqu'à 3 ans. En absence d'alimentation, *T. confusum* exerce le cannibalisme, dévore les œufs et les larves de leur congénère (Moussi, 2017).

Kheloul, (2020) a signalé que la durée de développement et la fécondité de *T. confusum* varie en fonction du substrat alimentaire (la farine de blé, la semoule et les grains de blé coccacées) alors que la longévité des mâles et des femelles n'est pas influencés par cette dernière.

### 2.5 Les ennemis naturels de *Tribolium confusum*

Selon Lapesme (1944), quelques arthropodes tendent à limiter l'activité des *Tribolium* en particulier les acariens : *Pediculoides ventricosus*. *Acarophenax tribolu* et deux hyménoptères de la famille des bethylides parasitant les larves qui sont : *Rhabdepyris zea* et *Sleroderma immigrans*.

Selon Good, (1936), une coccidie de genre *Adelina* qui affecte seulement les larves, les nymphes et les adultes de *T. confusum*, et *Tenebroides Mauritanicus* dont les adultes s'attaquent aux larves de *Tribolium*.

## Généralité sur *Tribolium confusum*

---

*Beauveria bassiana* a été signalé comme champignon entomopathogène pour les insectes tels que *T. confusum*. Il est efficace pour lutter contre *T. confusum* à diverses températures (Thompson et Reddie, 2016). *B. bassiana* est capable d'attaquer directement en attachant les conidies à la cuticule de *T. confusum* (Stephou et al. 2012).

### 2.6 Régime alimentaire et dégâts

Ces insectes ont un régime très polyphage. Ce sont des cléthrotophages secondaires qui se nourrissent, tant au stade larvaire qu'au stade adulte, surtout de brisures et attaquent les grains endommagés, suivant souvent les charançons en aggravant leurs dégâts. *Tribolium confusum* peut aussi se nourrir sur sept espèces de champignons (Benlameur, 2016).

Le *Tribolium* recherche surtout les denrées amylacées pulvérulentes comme la farine, le son, les issues... etc (Lepesme, 1944). Les adultes secrètent une odeur persistante et désagréable aux produits alimentaires envahis. La substance émise affecte les propriétés de la pâte faite avec de la farine contaminée, cette substance est irritante pour l'homme et elle peut causer des désordres gastriques (Roger, 2002).

En cas de forte infestation, l'adulte libère des substances quinoléiques qui confèrent à la denrée une odeur répulsive caractéristique (Seck, 2009). Les infestations augmentent en le contaminant avec des matières fécales, des fragments corporels, des sous-produits métaboliques et des résidus de pupes (Lord et al. 2007).

L'infestation causée par les insectes a imposé plusieurs pertes (Figure 5), à savoir perte de poids, Perte de la qualité, perte de la valeur commerciale, perte nutritionnelle, perte de la capacité de stockage, et perte de pouvoir germinatif, etc (Neethitranjan et al. 2007, Banga et al. 2018).



**Figure 5 :** Les dégâts de *T. confusum* sur la semoule ((kedjem et Taharboucht, 2021).

### **3. Les moyens de lutte contre le *T. confusum***

La protection des céréales stockées contre les attaques d'insectes et d'acariens soulève des problèmes variés et elle doit faire appel à un ensemble de techniques différentes qu'il est nécessaire d'appliquer à bon escient. Le souci majeur d'un stockeur est de garder son stock de céréale intact.

Un ensemble de mesure préventive et curative devrait être pris en considération, il s'agit de toutes techniques destinées à réduire l'infestation au champ, au début du stockage ainsi que pendant le stockage

#### **3.1 La lutte préventive**

Consiste en une hygiène rigoureuse des moyens de transport, des locaux de stockage, des installations de manutention et des machines de récoltes (Belmouzar, 2004). Ainsi qu'une séparation des nouvelles récoltes, des anciennes dans les entrepôts de stockage, une désinsectisation de l'entrepôt et de la sacherie vide suivie d'un séchage des grains avant d'être stockés pour empêcher toute infestation (Amari, 2014).

La résistance variétale peut être une méthode efficace dont l'objectif est l'amélioration de la résistance des graines à l'égard des insectes nuisibles (Swartz, 2019).

### 3.2 La lutte traditionnelle

Les paysans ont développé depuis des années des techniques souvent très élaborées et maîtrisées. Mise à part la fonction de stockage, les greniers et autres structures traditionnelles (pots, canaries) ont été conçus de façon à réduire au maximum les pertes causées par les principaux ennemis des récoltes dont les insectes. D'après Nanfack et *al.* 2015 ont l'utilisés également la cendre, de pigments, de plantes insectifuges ou insecticides telles que *Cupressus* et *Hyptis*.

### 3.3. La lutte chimique

En raison de son efficacité et de son application facile et pratique, l'utilisation des produits chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles (Maga et Olsen, 2004). Les insecticides disponibles pour le stockage des grains sont les produits chimiques de contact et les fumigants (Mohapatra et *al.*2015).

La fumigation est l'une des méthodes les plus efficaces qui consiste à traiter les grains à l'aide d'un gaz toxique, qu'on appelle fumigeant. L'intérêt majeur de la fumigation est de faciliter la pénétration des gaz à l'intérieur du grain et donc de détruire les œufs, larves et nymphes qui s'y développent (Aidani, 2015).

Malheureusement, les applications de ces insecticides chimiques provoquent de sérieux inconvénients notamment sur l'environnement (Fianko et *al.* 2011), le développement de résistance aux insecticides par certains ravageurs (Schuster et Smeda, 2007), ainsi que des problèmes de santé car leurs résidus se rencontrent dans la chaîne alimentaire et causent des intoxications (Pretty et Hine, 2005).

### 3.4 La lutte physique

Elle concerne toutes les techniques mécano-thérapeutiques susceptibles de rendre le stock sain ça consiste en l'utilisation de la température basse (froid) ou haute (chaud) (Arrab, 2016).

La lutte par le froid: ces méthodes consistent à abaisser la température de stockage, ce qui entraîne un ralentissement du développement des insectes, freiné dès que la température est inférieure à 10°C (Gueye et *al.* 2011).

## Généralité sur *Tribolium confusum*

---

L'insolation: C'est une pratique effectuée le plus souvent avant emmagasinage des récoltes. Elle permet d'achever le séchage et de faire fuir les insectes grâce à la chaleur et à l'incidence directe des rayons solaires (Lale et Vidal, 2003).

La lutte par le chaud : Consiste à une élévation de la température (température supérieure à 50°C) Ce qui entraîne la mort des insectes. Le passage des produits dans un séchoir permet d'éliminer les insectes présents dans les grains (Gueye et *al.* 2011).

Radiation ionisantes : les males sont plus sensibles aux radiations gamma que les femelle, la dose létale dépend de l'insecte et de la période de traitement (Rees, 2007).

La désinsectisation par les rayons gamma, à fortes doses provoque la mort de tous les stades de développement de l'insecte, par contre son exposition à des doses faibles entraîne sa stérilité.

### 3.5 La lutte biologique

Cette méthode entre dans le cadre du développement durable et de la sauvegarde des écosystèmes. Elle vise à réduire les populations des insectes ravageurs, en utilisant leurs ennemis naturels qui sont soit des prédateurs, soit des parasites ou des agents pathogènes, ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales, des huiles végétales et des huiles essentielles (Kellouche, 2005).

Actuellement, la lutte biologique est la méthode la plus favorisée dans les programmes de recherche vus ses intérêts économiques et agroenvironnementaux qui permettent le maintien d'un équilibre bioécologique (Amari, 2014).

Les insecticides botaniques offrent une bonne alternative plus que les insecticides conventionnels pour l'application dans le système de protection des cultures par contact direct ou par fumigation (Pavela et Benelli, 2016).

### 3.6 La lutte biotechnologique

L'utilisation des phéromones d'insectes attractifs et répulsifs d'alimentation est d'un haut niveau de détection (Momar, 2012). Ces phéromones synthétiques provoquent des troubles du comportement chez les adultes et les régulateurs de croissance des insectes qui sont si puissants que la progéniture ne peut pas se reproduire (Semsar, 2013).

## **Généralité sur *Tribolium confusum***

---

De nouvelles méthodes de lutte contre les ravageurs se développent en privilégiant une gestion durable des populations d'insectes tout en évitant des dégâts économiques et en préservant l'environnement et la santé humaine. Ces méthodes s'inscrivent dans un cadre appelé lutte intégrée combinant une lutte chimique raisonnée, la lutte biologique, des moyennes biotechniques et des mesures prophylactiques (Ryckewaert, 2002).

# **Généralités sur les huiles essentielles**

## Généralités sur les huiles essentielles

---

L'utilisation des arômes pour soigner n'est pas une technique récente. Dans toutes les civilisations de l'antiquité, la mention des arômes est présente, pour des usages religieux, cosmétiques, mais aussi thérapeutiques. D'abord on se servit des plantes entières pour apporter soulagement et bien-être. Ensuite l'homme s'est intéressé au principe aromatique d'une plante (Lardry et *al.* 2007). Les premières traces d'utilisation des HE en tant que telles nous viennent d'Égypte, entre 3000 et 2000 ans avant JC. En effet, à cette période il semble qu'une forme rudimentaire de distillation soit employée pour extraire la substance des plantes aromatiques (Jouault, 2012).

Plus tard, les grecs et les romains utilisaient la distillation et donnaient ainsi aux plantes aromatiques une valeur supplémentaire, avec l'avènement de la civilisation islamique, les techniques d'extraction ont été encore affinées, à l'ère de la renaissance, les européens ont repris la tâche et avec le développement de la science, la composition et la nature des huiles essentielles ont été bien établies et étudiées (Djilani et *al.* 2012).

L'histoire de l'aromathérapie qui est celle des huiles essentielles se divise en trois grandes périodes au cours desquelles la connaissance des plantes aromatiques et de leur usage s'est affinée. Au départ, les plantes à essence étaient utilisées telles quelles, incorporées dans l'alimentation, macérées, infusées ou décoctées. Plus tard l'invention de la distillation a permis d'extraire les substances odorantes, apparaît alors le concept «huile essentielle ». Mais c'est la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle qui marque les débuts de l'aromathérapie moderne (Ntezurubanza, 2000).

### 2. Définition et Caractéristique

Le terme huile essentielle est défini à la fois par l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) et par l'AFNOR/ISO (Association française de normalisation). Il s'agit d'un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement par la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, ou par un procédé mécanique approprié sans chauffage.

Communément appelées essences, les huiles essentielles sont des substances de consistance huileuse, plus ou moins fluides, odorantes, volatiles, souvent colorées et plus légères que l'eau, à exception des huiles essentielles de la cannelle et de clou de girofle, Contrairement à ce que le terme pourrait laisser penser, les huiles essentielles ne contiennent pas de corps gras (Bardeau, 2009).

## **Généralités sur les huiles essentielles**

---

Les HE sont insolubles dans les solvants inorganiques (eau) alors qu'elles sont solubles dans les solvants organiques (éther, alcool, huiles fixes) (Hanif, 2019).

Les huiles essentielles sont contenues le plus souvent dans les végétaux supérieurs (Miloud, 2010). Elles sont synthétisées depuis des cellules sécrétrices des plantes aromatiques (Djaalali et Bayoud, 2020). Elles se trouvent naturellement dans différentes parties des arbres, des plantes et des épices sous forme de minuscules gouttelettes, présentent en petite quantité par rapport à la masse du végétale (Djebri et Douib, 2020).

Les huiles essentielles (HE) servent de signaux chimiques qui permettant à la plante de contrôler et réguler son environnement (rôle écologique) : repousser les prédateurs, attirer les insectes pour la pollinisation, inhiber la germination des graines (Hanif, 2019).

### **3. Composition chimiques des huiles essentielles**

Les HE sont composés de molécules de petites tailles volatiles qui sont les terpénoïdes (terpènes) synthétisés à partir d'isoprène, de composés aromatiques de dérivés du phénylpropane (composés phénoliques), ainsi que de composés d'origine divers (Labioud, 2016).

Les terpènes sont la plus grande classe de métabolites secondaires trouvée dans la nature (Figure 6), ils sont principalement présents tant que constituant principale des huiles essentielles, généralement les plus volatiles (Kurihara, 2022).

Seuls les monoterpènes en C10 et les sesquiterpènes en C15 peuvent être extraits par distillation les autres terpènes (diterpènes, triterpènes) n'étant pas entraîné par la vapeur d'eau, ils sont classés selon leurs fonctions (alcool, esters, aldéhyde...) et selon leurs structures (monocyclique, bicyclique...). Citons zingiberène, c'est un sesquiterpène monocyclique (le gingembre) (Zidour, 2019).

Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane sont beaucoup moins fréquents dans les huiles essentielles que les monoterpènes et les sesquiterpènes. Citons l'acide cinnamique et l'aldéhyde cinnamique (la cannelle) (Zidour, 2019).

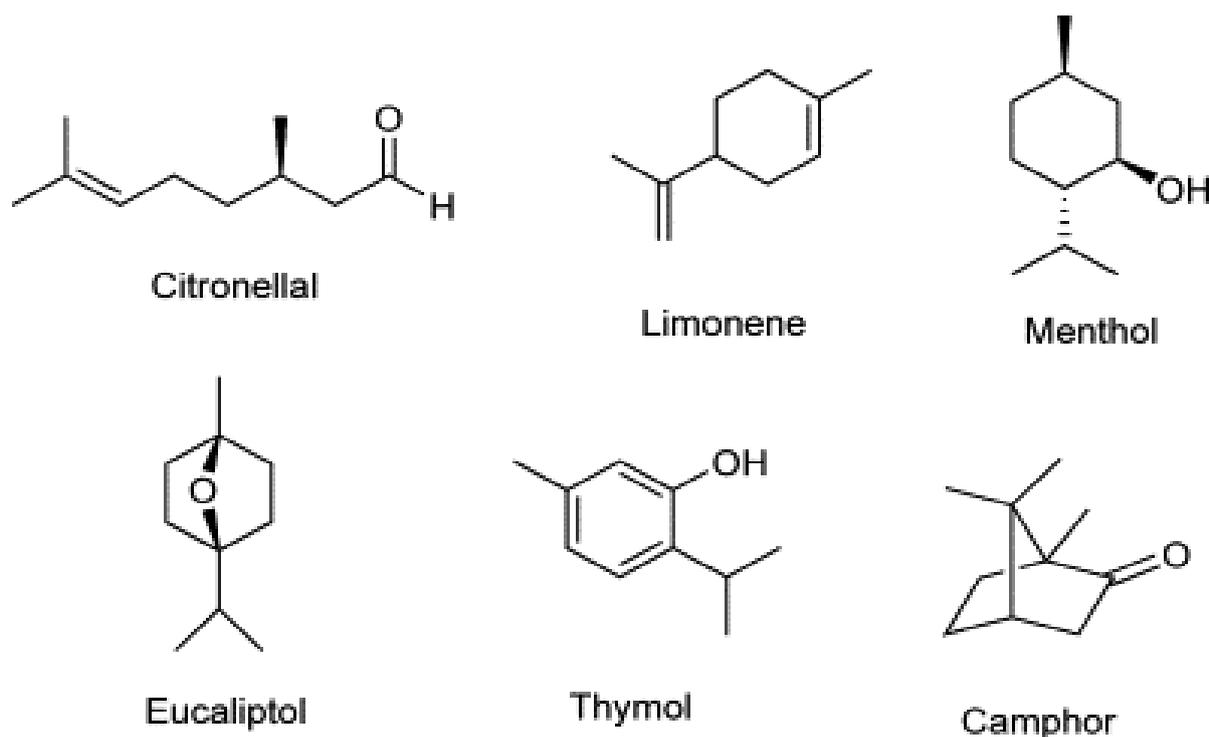


Figure 6 : Quelques exemples de terpène (Azucena et al. 2010).

### 4. Modes d'extraction

L'extraction d'une l'huile essentielles (HE) est une opération complexe et délicate. Elle a pour but de récupérer une substance relativement fragile et présente en faible quantité dans le végétal, et cela sans en altérer la qualité.

Plusieurs méthodes existent pour extraire les huiles essentielles. Elles sont basées principalement sur l'entraînement à la vapeur d'eau, l'hydro-distillation. Le choix de la méthode la mieux adaptée se fait en fonction de plusieurs paramètres tels que la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire, et l'usage de l'extrait et l'arôme du départ au cours de l'extraction (Samate, 2001).

#### 4.1. Entraînement à la vapeur d'eau

C'est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des huiles essentielles, dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. Les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées dans l'essencier, avant d'être séparées en une phase aqueuse et une phase organique. L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant

nuire à la qualité de l'huile. De plus, le parfum de l'HE obtenue est plus délicat et la distillation, régulière et plus rapide. Le plus souvent, une demi-heure permet de recueillir 95% des molécules volatiles, ce qui suffit aux besoins de l'industrie et de la parfumerie, comme pour la lavande. L'emploi en aromathérapie impose de prolonger l'opération aussi longtemps qu'il est nécessaire afin de récupérer la totalité des composants aromatiques volatils (Boukhatem et *al.* 2019).

### 4.2. Hydro-distillation

Selon Bruneton (1999), l'hydrodistillation est la méthode la plus fréquemment utilisée. Elle permet d'isoler les huiles essentielles à l'état pur et de fournir de meilleurs rendements. Elle consiste à mettre la plante en contact avec l'eau dans un ballon lors d'une extraction au laboratoire ou dans un alambic industriel. Le tout est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs sont condensées dans un réfrigérant et les huiles essentielles se séparent de l'eau par différence de densité, les parties insolubles dans l'eau de condensation sont décantées et en raison de sa plus faible densité, l'huile essentielle se place au-dessus de la phase aqueuse. La phase aqueuse contenant les composés hydrosolubles est appelée eau de distillation ou hydrolat (Benayad, 2013).

### 4.3. Enfleurage

L'enfleurage est la méthode traditionnelle et intensive d'extraction des huiles essentielles des fleurs. Dans ce processus, la graisse est déposée sur le pétale de la fleur à des fins d'extraction. Après absorption des huiles essentielles par les graisses des pétales de fleurs, l'alcool est utilisé pour la séparation et l'extraction des huiles essentielles des graisses. À la fin du processus, l'huile essentielle pure est recueillie en évaporant l'alcool (Hanif et *al.* 2019).

### 4.4 Expression à froid

La technique est réservée à l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes d'agrumes en déchirant ces derniers par un traitement mécanique. Elle consiste à rompre ou dilacérer les parois des sacs oléifères contenus dans le mésocarpe situé juste sous l'écorce du fruit, l'épicarpe, pour en alimenter le contenu qui n'a subi aucune modification. Les essences de Citrus ont longtemps été extraites manuellement (Ferhat et *al.* 2016).

### 5. Activité biologique des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont des effets toxiques, répulsifs, anti appétant inhibiteurs la croissance sur les insectes ravageurs (Haridason et *al.* 2017). Les activités insecticides des huiles essentielles sont principalement attribuées aux monoterpénoïdes qui sont généralement volatiles et lipophiles qui peuvent rapidement pénétrer dans les insectes et interférer avec leurs fonctions physiologiques (Reis et *al.* 2014).

Les composants chimiques présents dans les huiles essentielles tels que le thymol, le linalool, le citronellol, le limonène, le carvacrol et le  $\alpha$ - et le  $\beta$ -pinène ont été largement documentés pour être des composés possédant des activités larvicides et adulticides contre différents insectes des produits stockés. La plupart des huiles essentielles procèdent ces activités insecticides physiques et physiologiques en perturbant la structure de la membrane cellulaire, mais pour certaines, des effets neurotoxiques (Boukhalifa et Rouabah, 2020).

En plus de l'activité insecticide, les composés actifs des huiles essentielles possèdent d'autre activité biologique telle que les activités antibactérienne, antifongique, antivirale, antiparasitaire, anti-oxydante et anti-inflammatoire (Shankar et *al.* 2021).

### 6. Présentation de plantes étudiées

#### 6.1. L'ail (*Allium sativum*)

##### 6.1.1 Description botanique

*Allium sativum* est une espèce de plante herbacée, vivace et monocotylédone .elle est assez grande avec de nombreuses feuilles engainant le bas de la tige. Elle peut croitre jusqu'à 50 à 120 cm de hauteur (Gerges Geaga, 2015).

L'inflorescence est rare chez beaucoup de cultivars et n'apparaît qu'occasionnellement en cas de stress. Elle est enveloppée d'une spathe en une seule pièce tombant assez rapidement .les fleurs sont groupées en ombelles. Assez peu nombreuses, elles sont de couleur blanche ou rose et s'épanouissent en été. Le fruit est une capsule à trois loges, mais celle-ci est très rarement produite et la hampe florale donne plus souvent naissance à des bulbilles florales sauf pour les cultivars originaires d'Asie centrale et du Caucase qui sont proches du type sauvage (Paul Iserin et *al.* 1997).

## Généralités sur les huiles essentielles

---

La multiplication végétative est plutôt la règle par le biais des bulbes formés à la base de la tige. Ce sont des bulbes composés de trois à vingt bulbilles arquées appelés caïeux (ou cayeux, ou gousses). Chacun est entouré d'une tunique parcheminée et le groupe d'un même pied est lui-même inclus dans une tunique identique à multiples couches (figure7).

L'ail s'adapte à tous les climats, mais, il donne les meilleures récoltes dans les pays tempérés (Cavagnaro et al. 2007).



**Figure 7 :** *A. sativum* (Chergui, 2018)

### 6.1.2. Position systématique

Selon Cronquist (1981) *A. sativum* est classé comme suit :

**Règne:** Plantae

**Sous-règne:** Tracheobionta

**Division:** Magnoliophyta

**Classe:** Liliopsida

**Sous-classe:** Liliidae

**Ordre:** Liliales

**Famille:** Amaryllidaceae

**Genre:** *Allium*

**Espèce:** *Allium sativum* L., 1753.

### 6.1.3. Origine et répartition géographique

*A. sativum* est originaire de l'Asie Centrale, mais cultivé maintenant dans de nombreuses parties du monde, notamment en Europe, en Afrique du Nord, en Asie, en Amérique du Nord et en Afrique de l'Ouest (Morrison, 1994).

### 6.1.4. L'huile essentielle de l'ail

Outre leurs attributs aromatiques les composés soufrés de l'huile essentielle de l'ail sont également responsables des propriétés médicinales, leurs avantages pour la santé figurant dans les activités anticancéreuses, antidiabétiques, anti inflammatoire, anti microbiennes, anti oxydantes, cardioprotectrices et imunomodulatrices (Arbach et *al.* 2019)

## 6.2. La cannelle (*Cinnamomum cassia*)

### 6.2.1. Description botanique

Arbre toujours vert, à écorce épaisse et rugueuse. Les feuilles sont simples, entières, insérées en hélice (Figure 8(A)). L'inflorescence est une grappe très ramifiée de fleurs blanchâtres, régulières à 6 pétales. Le fruit est une baie ressemblant à celle du laurier noble (Ronbi, 2007). Les branches sont coupées pour la récolte de l'écorce qui sera mise ensuite à sécher après l'avoir dépouillée de son épiderme (Figure 8 (B)). En séchant, elle s'enroule sur elle-même, formant des bâtonnets friables ressemblant à des tubes (Trousseau et *al.* 1870). La partie active, constituée par l'écorce de *C. cassia* conserve souvent une partie du suber; comparée à la cannelle de Ceylan, l'écorce est plus épaisse, la coloration plus foncée l'odeur est moins fine, la saveur moins aromatique (Ronbi, 2007).



**Figure 8** : Les feuilles (A) et l'écorce de la cannelle (B) (Google, 2023).

### 6.2.2. Position systématique

Selon Cronquist (1981) *C. cassia* est classée comme suit :

**Règne :** Végétal

**Embranchement :** Spermatophytes

**Sous-embranchement :** Angiospermes

**Classe :** Dicotylédones (Magnoliopsides)

**Ordre :** Laurales

**Famille :** *Lauraceae*

**Genre :** *Cinnamomum*

**Espèce :** *Cinnamomum cassia*

### 6.2.3. Origine et répartition géographique

*C. cassia* est d'origine de Chine, la production mondiale de cannelle de Chine est limitée aux régions basses et humides de l'Asie du Sud et Sud-est (Radha et *al.* 1992).

### 6.2.4. L'huile essentielle de la cannelle

La cannelle de Chine est une épice médicinale extrêmement puissante. Pour ses propriétés curatives de certains troubles digestives, inflammations, maux de tête, pyrexie, nausée, anorexie et du rhume. Elle possède également des vertus aromatiques et stimulantes respiratoires, nerveuses et immunitaires (Auteroche, 1993).

Grâce à sa richesse en cinnamaldéhyde, cette huile possède des effets antioxydants, anti-inflammatoires et également antimicrobiens très élevés. Son action est efficace contre les bactéries, les virus, les champignons et sur les parasites (Shan et *al.* 2005).

## 6.3. Le gingembre *Zingiber officinale*

### 6.3.1. Description botanique

Le gingembre «*Zingiber officinale*» est une grande plante annuelle vivace herbacée appartenant à la famille des zingibéracées. Divisé en deux parties, une partie souterraine,

## Généralités sur les huiles essentielles

présente des rhizomes (Figure 9(B)) horizontaux et ramifiés, avec une peau beige pâle parfumée et juteuse, il devient de plus en plus fibreux avec l'âge (Faivre et *al.* 2006), possède une saveur aromatique, plus ou moins piquante, légèrement amère avec une note citronnée (Eberhard et *al.* 2005). La partie aérienne possède deux sortes de tiges (Figure 9 (A)) ; les hautes tiges qui sont stériles, servent à l'assimilation et portent des feuilles alternes, longues et étroites, alors que les basses tiges servent à la reproduction et ne présentent pas de feuilles (Braga et *al.* 2006). Les feuilles sont de couleur vert clair, persistantes, alternes et lancéolées. Les fleurs se trouvent sous les aisselles des feuilles et elles peuvent être : longues, ovales, ou pointues (Bunga, 2011).



(A)

(B)

**Figure 9 :** *Z. officinale*, A) La plante entière (Randriana, 2005) ; B) Le rhizome (Yagmur et *al.* 2015).

### 6.3.2. Position systématique

Selon Cronquist (1981) *Z. officinale* est classée comme suit

**Embranchement :** Spermaphytes

**Sous-embranchement:** Angiospermes

**Classe:** Monocotylédones

**Ordre:** Scitaminées

**Famille:** Zingibéracées

**Genre:** *Zingiber*

**Espèce:** *Zingiber officinale Roscoe*

### 6.3.3. Origine et répartition géographique

*Z. officinale* est originaire des régions tropicales d'Asie du sud-est (Assih et *al.* 2018), de nos jours, le gingembre est cultivé dans toutes les régions chaudes de la planète. La composition et la qualité des rhizomes de gingembre varient considérablement d'un pays à l'autre, selon les conditions climatiques, la nature du sol et les méthodes de culture (Perotto, 2013).

### 6.3.4. L'huile essentielle de gingembre

L'huile essentielle de gingembre présente une haute performance biologique. Cela est dû à la richesse de l'huile essentielle en composés volatils antioxydants, antibactériens et cytotoxiques (Oueslati et *al.* 2018).

Les principaux composés de l'huile essentielle de gingembre isolés, sont des sesquiterpènes qui ont une action pharmacologique anti-inflammatoire, calmante, sédative et décongestionnante (Demars, 2022), l'huile essentielle de gingembre est utilisée en cosmétique pour ses bienfaits sur la peau; elle protège les cellules contre le syndrome du vieillissement et répare les tissus cutanés. Cette huile favorise également la digestion et est utilisée pour ses propriétés aphrodisiaques (Agbegninou, 2019).

# **Partie 2**

**Matériel et méthodes**

## Matériel et méthodes

---

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au laboratoire d'entomologie appliquée de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Notre travail de recherche consiste à réaliser l'extraction de trois huiles essentielles : la cannelle (*Cinnamomum cassia*), le gingembre (*Zingiber officinale*) et l'ail (*Allium sativum*) puis d'étudier leur activité bioinsecticide contre un redoutable insecte ravageur des stocks *T. confusum*.

### 1. Matériel

#### 1.1 Matériel de laboratoire

- Une étuve réfrigérée et réglée à une température de  $30 \pm 2$  °C et une humidité relative de  $70 \pm 5\%$  qui correspondent à la condition optimale de développement de *T. confusum*
- Un hydrodistillateur (appareil de type Clevenger)
- Une ampoule à décanter de 250ml
- Une chauffe ballon
- Un ballon de 2000ml
- Des micropipettes de doses variables (10ul-100ul, 0,5ul-10ul et 100ul-1000ul).
- Des bocaux en verre pour les élevages de masses des adultes de *T. confusum*
- Des boîtes de pétri en plastiques de 8,5cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur pour les tests de répulsivité
- Des boîtes de pétri en plastiques de 5,2 cm de diamètre et de 1,2 cm de hauteur
- Balance électronique pour les pesés
- Papier filtre
- Flacons en plexiglas de 64ml pour les tests d'inhalations
- L'acétone

## Matériel et méthodes

---

- D'autres outils de manipulations ont été également utilisés (pinceaux, scotch fil fin, aiguille, bassine, ciseaux, étiquettes, tamis).
- Eppendorfs tubes.

### 1.2 Matériel biologique

#### 1.2.1 Matériel animale

La souche d'origine de *T. confusum* provient du laboratoire d'entomologie appliquée II de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

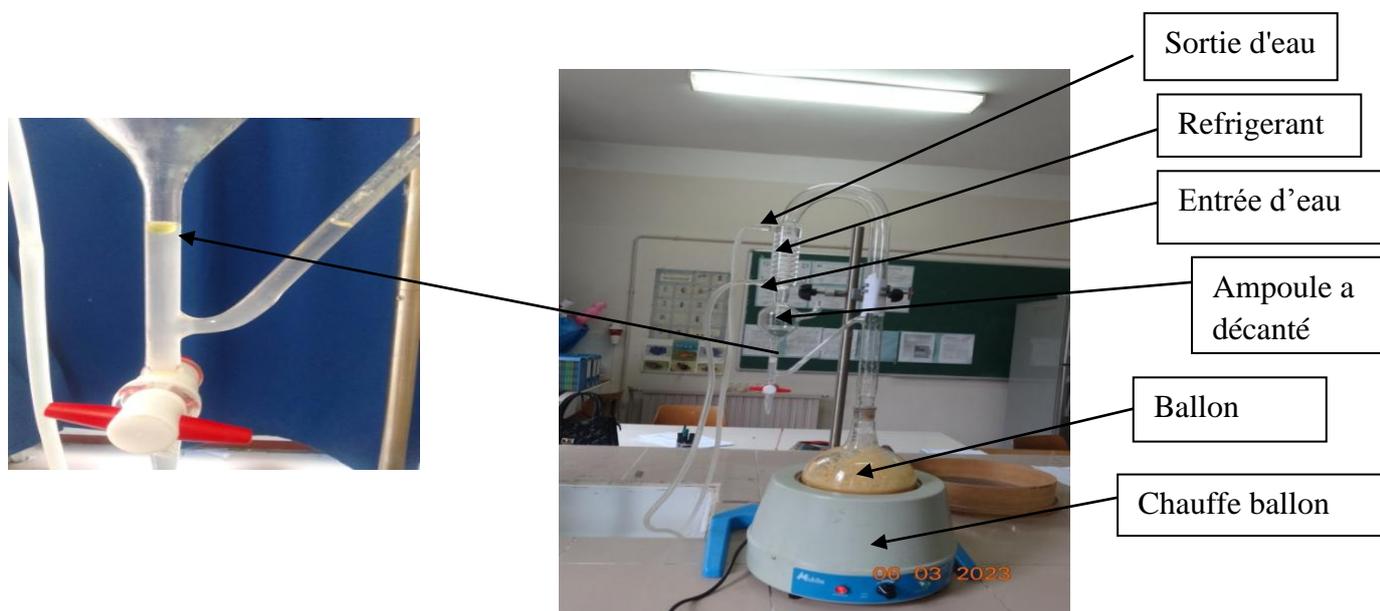
#### 1.2 .2 Matériel végétale

Le matériel végétal utilisé dans cette étude correspond à des huiles essentielles extraites à partir de poudre d'épice de trois plantes : la cannelle (bâtonnets), le gingembre (Rhizomes) et l'ail (bulbes) provenant du marché local de Tizi-Ouzou.

## 2. Méthodes

### 2.1 Extraction des huiles essentielles

Une quantité de 100 grammes de matière végétale de la plante a été introduite dans le ballon de l'appareil Clevenger d'une capacité de 2000 ml contenant 1000 ml l'eau distillée. L'ensemble est porté à ébullition pendant 2h. Les vapeurs chargées d'huile essentielle se condensent à leurs arrivées au niveau du réfrigérant et elles retombent sous forme de gouttelettes dans l'ampoule à décanter en formant avec l'eau un mélange d'eau et d'huile. L'huile essentielle obtenue a été récupérée et conservée dans des eppendorfs recouverts avec du papier aluminium pour éviter tout risque d'altération et de dégradation de ses composants chimiques. Les eppendorfs sont gardés à une température de 4°C (Figure 10).



**Figure 10** : Montage d'un hydrodistillateur de type (Clevenger)

(Laboratoire d'entomologie appliquée, Originale, 2023).

### 2.1.1. Détermination du rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal traité (AFNOR, 1982). Après récupération d'huile essentielle le rendement est calculé par la méthode suivante :

$$R = \frac{m}{m_0} \times 100$$

**R** : rendement en huile essentielle (%).

**m** : masse en gramme de l'huile essentielle.

**m<sub>0</sub>** : masse en gramme de la matière végétale sèche.

### 2.2. Détermination de la composition chimique des huiles essentielles par chromatographie en phase gazeuse de masse (CPG)

La chromatographie sous toutes ses formes représente un moyen d'identification et de séparation très efficace fréquemment utilisée pour l'analyse quantitative et qualitative des huiles essentielles.

## Matériel et méthodes

---

Les analyses chromatographiques ont été effectuées au laboratoire de Technologie Alimentaire de l'ENSA-ex INA, à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse à régulation électronique de Pression, de type Chrompack CP 9002, équipé d'une colonne capillaire en silice fondue de type DB-5 de 30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre et 0,25  $\mu\text{m}$  d'épaisseur de film, d'un détecteur à Ionisation de flamme réglé à 280°C et alimenté par un mélange de gaz H<sub>2</sub>/air et d'un injecteur Split splitless réglé à 250°C.

Le gaz vecteur est l'azote à 1 ml/min. Le mode d'injection est split (Rapport de fuite de 1/50, débit de 66 ml/min). La température de la colonne est programmée de 50°C (3mn) à 250°C à raison de 2°C/min, puis est maintenue à 250°C pendant 10 min. La quantité d'huile essentielle injectée est de 1  $\mu\text{l}$  pour chaque espèce.

La détermination des composés chimiques détectés a été réalisée par comparaison des temps de rétention des pics enregistrés à ceux des étalons disponibles. D'autres pics sont identifiés en se basant sur leurs indices de Kovàts. (IK).

L'indice du Kovàts est nommé d'après le chimiste suisse Ervin Kovàts, qui a présenté ce concept dans les années 1950 tout en effectuant des recherches sur la composition des huiles essentielles. Il est utilisé pour convertir les temps de rétention en constantes indépendantes du système.

### 2.3. Elevage de masse

L'élevage de masse de *T. confusum* est réalisé dans des bocaux en verre dont le couvercle comporte des petits trous d'aération. Chaque bocal est rempli à trois quart de semoule moyenne saine dans laquelle sont introduits des adultes d'âge indéterminé (Figure 11). Les bocaux sont ensuite placés dans une étuve obscure réglée à une température de  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  et avec une humidité relative de  $70 \pm 5\%$ . Au bout d'une semaine, les adultes sont retirés, les œufs sont laissés évoluer jusqu'à l'émergence des adultes de la première génération.

Les élevages de masses permettent de fournir un nombre suffisant d'adultes de la première génération (âgés de 1 à 7 jours) pour les différents essais biologiques.



**Figure 11** : Elevage de masse de *T. confusum* (Originale, 2023).

### 2.4. Tests d'inhalation

Ce test consiste à évaluer l'effet par inhalation de trois huiles essentielles sur la mortalité des adultes de *T. confusum* en adoptant le protocole expérimental suivant :

Les tests de toxicité par inhalation ont été réalisés dans des flacons en plexiglas de 64 ml de volume à des temps d'exposition de 24h, 48h et 72h. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque dose, ainsi que pour les témoins (Figure 12).

Des morceaux de papier filtre (n°2) ont été suspendus à l'aide d'un fil à la face inférieure de couvercle de chaque flacon et ont été imprégnés avec les doses appropriées d'huile essentielle (8, 12, 16 et 20ul) à l'aide d'une micropipette.

20 individus de *T. confusum* sont introduits dans chaque flacon contenant 3g de semoule parallèlement, un témoin est réalisé sans huile.

## Matériel et méthodes

A la fin de l'expérience, les insectes sont retirés des flacons et mis dans des boîtes de pétri et le comptage des individus morts est effectué 24 h de après traitement.



**Figure 12 :** Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum*

Traitées par les différentes doses des trois huiles essentielles (originale, 2023).

### 2.5. Test de répulsivité

Ce test consiste à étudier l'effet répulsif des trois huiles essentielles de la cannelle, de gingembre et de l'ail sur les adultes de *T. confusum*, en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre (N°2).

Pour cela nous avons découpé en deux parties égales un disque de papier filtre de 8,5 cm de diamètre, l'une des parties est traitée avec l'une des huiles essentielles à différentes doses (2, 4 ,6 et 8ul) diluée dans 0,5 ml d'acétone et la deuxième ne reçoit que de l'acétone (trois répétitions pour chaque dose).Après évaporation du solvant, nous rassemblons les deux parties traitées et non traitées par une bande adhésive et nous les plaçons dans une boîte de pétri.

20 adultes (*T. confusum*) sont ensuite déposés au centre de la boîte. Au bout d'une demi- heure, nous comptons le nombre de *Tribolium* présents sur la partie du disque traitée avec l'huile essentielle et le nombre d'individus présents sur la partie traitée uniquement avec l'acétone (Figure 13).



**Figure 13:** Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de *T. confusum* (originale, 2023).

Le pourcentage de répulsion (PR) induit par les huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum*, est calculé selon la formule de MC Donald et *al.* (1970) :

$$\text{PR (\%)} = \frac{[\text{NT} - \text{Tr}]}{[\text{NT} + \text{Tr}]} \times 100$$

**NT:** nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'acétone uniquement.

**Tr:** nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'huile essentielle diluée dans l'acétone.

## Matériel et méthodes

Le pourcentage de répulsion moyen pour chaque huile essentielle est calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives, selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970) qui sont indiqués dans le tableau (1).

**Tableau 1 : Pourcentage de répulsivité selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970).**

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	$PR \leq 0,1\%$	Très faiblement répulsif
Classe 1	$0,1\% < PR$	Faiblement répulsif
Classe 2	$20\% < PR \leq 40\%$	Modérément répulsif
Classe 3	$40\% < PR \leq 60\%$	Moyennement répulsif
Classe 4	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
Classe 5	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif

### 3. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis aux tests de l'analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification à l'aide du logiciel stat box version 6,40.

Lorsque cette analyse montre des différences significatives entre les différents traitements, elle est complétée par le test de NEWMAN et KEULS, au seuil  $P = 5\%$  afin de déterminer les groupes homogènes (Dagnelie, 1975). Selon la valeur de la probabilité ( $p$ ), nous avons :

$P > 0,05$  : différence non significative.

$0,01 < P \leq 0,05$  : différence significative.

$0,001 < P \leq 0,01$  : différence hautement significative.

$P \leq 0,001$  : différence très hautement significative.



# **Partie 3**

**Résultats et discussion**

## Résultats et discussions

### 1. Le rendement en huile essentielle

Les résultats de rendement d'extraction des trois huiles essentielles ont montré que les huiles de la cannelle et de gingembre présentent le plus fort taux (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Résultats de rendement des trois huiles essentielles extraites.

Huiles essentielles	Masse d'HE obtenue par extraction (M)	Masse de la matière végétale utilisée (Ms)	Rendement (%)	Aspect
La cannelle	0,75g	100g	0,75%	liquide mobile.
Le gingembre	0,69g	100g	0,69%	liquide mobile.
L'ail	0,08g	100g	0,08%	Liquide.

L'huile essentielle de la cannelle obtenue après hydrodistillation a un aspect liquide, mobile, d'une coloration jaunâtre et à odeur camphrée, alors que l'huile essentielle de gingembre est liquide, de couleur jaune clair dégageant un parfum très épicé, frais et légèrement citronné. En ce qui concerne l'huile essentielle de l'ail, elle a un aspect liquide, de couleur jaune très claire et d'une odeur très prononcée et piquante .

### 2. Résultats de l'analyse chromatographique en phase gazeuse (CPG) des huiles testées

Les résultats des analyses des huiles essentielles de la cannelle, de gingembre et de l'ail sont présentés sous forme de chromatogrammes. Le chromatogramme de chaque huile essentielle comporte plusieurs pics : 21 pics pour la cannelle 27 pour le gingembre et 8 pour l'ail. Les composés majoritaires trouvés dans l'huile essentielle de *C. cassia* sont: Cinna aldéhyde (82%), Benzoate de benzyle (2,65%), eugénol (2,07%) et Acétate de Cinnamyle (1,83%) (Tableau 3).

Pour l'huile essentielle de *Z. officinale* , les composés majoritaires sont:  $\alpha$ -Zingéberine (18, 64%), beta - Zingéberine (12, 50%) et Ar- Curcumène (10, 42%) (Tableau 4).

## Résultats et discussions

Alors que pour l'huile essentielle d'*A. sativum* les composés majoritaires sont :Diallyl sulfide (54,22%), Diallyl Trisulfide (20,18%)et Mono sulfure de Diallyl (6,02%) (Tableau 5).

**Tableau 3** : Analyse qualitative et quantitative de l'HE de la cannelle par la CPG.

Constituants	Tr (mn)	Teneur %
$\alpha$ – pinène	12,42	0,54
Camphène	13,22	0,25
Benzaldéhyde	13,87	0,15
$\beta$ -pinène	14,88	0,27
$\alpha$ -terpène	17,43	0,010
Para-Cymène	16,93	0,034
Limonène	18,24	0,23
Béta .phellandrène	18,53	0,32
$\gamma$ -Terpinene	20,28	0,04
Terpinolene	22,32	0,02
Linalol	23,32	0,09
Bornéol	27,54	0,34
Terinene.4-ol	28,73	0,16
$\alpha$ -terpinéol	29,72	0,21
<b>Cinnamaldehyde</b>	<b>36,17-----37,04</b>	<b>82</b>
Thymol	41,76	0,18
<b>Eugénol</b>	<b>42,61</b>	<b>2,07</b>
Beta Caryophyllene	45,33	0,43
Alpha-Humulène	47,11	0,82
<b>Acétate de Cinnamyle</b>	<b>50,58</b>	<b>1,83</b>
<b>Benzoate de Benzyle</b>	<b>50,05</b>	<b>2,65</b>

## Résultats et discussions

**Tableau 4:** Analyse qualitative et quantitative de l'HE de Gingembre par la CPG.

Constituants	Tr (mn)	Teneur%
A-Thujéne	11,70	0,17
$\alpha$ – pinène	12,43	2,85
Camphene	13,37	8,89
$\beta$ -pinène	14,83	0,14
Bèta .Myrcene	15,84	0,86
$\alpha$ – Phellandrène	16,65	1,44
A-Terpenène	17,43	0,77
Para-Cymène	17,98	0,50
Limonène	18,50	9,67
1.8 Cinéole	18,68	2,37
$\gamma$ -Terpinene	20,25	0,08
Terpinolene	20,32	0,36
Linalol	23,32	0,36
Bornéol	27,97	1,01
Terpinen-4.ol	28,70	0,17
$\alpha$ -terpinéol	29,75	0,50
Nérol	32,49	0,17
Citral	34,32	0,15
Thymol	36,98	0,58
Eugénol	41,00	0,19
Acétate de Geranyle	43,06	0,48
Beta Caryophyllene	45,254	0,12
Germacrène D	48,96	0,38

## Résultats et discussions

<b>Bêta –Zingiberine</b>	<b>49,89</b>	<b>12,50</b>
<b><math>\alpha</math>-Zingiberine</b>	<b>50,74</b>	<b>18,64</b>
Bizabolene	51,52	9,08
<b>Ar-Curcumene</b>	<b>52,57</b>	<b>10,42</b>

**Tableau 5 :** Analyse qualitative et quantitative de l'HE de l'ail par la CPG.

Constituants	Tr (mn)	Teneur%
A-Thujéne	11,14	1,97
$\alpha$ – pinène	12,32	0,23
Camphene	13,17	0,33
<b>Diallyl Trisulfide</b>	<b>21,73</b>	<b>20,18</b>
Diallyl Tetrasulfide	22,97	3,62
Alpha Terpéneol	30,55	0,97
<b>Diallyl sulfide</b>	<b>37,86</b>	<b>54,22</b>
<b>Mono sulfure de Diallyl</b>	<b>51,72</b>	<b>6,02</b>

## Résultats et discussions

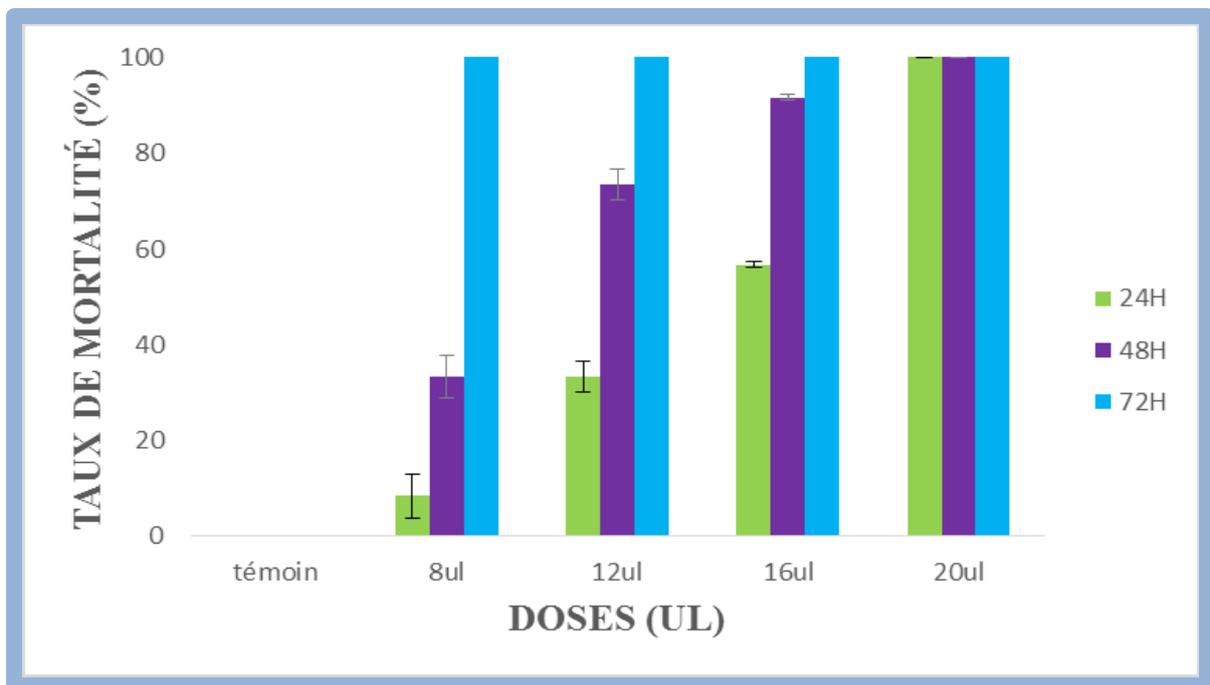
### 3. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum* par inhalation

#### 3.1. Effet de l'huile essentielle de l'ail à l'égard de *T. confusum*

La toxicité d'huile essentielle de l'ail augmente avec l'augmentation de la dose, l'effet fumigant de cette huile essentielle s'observe dès la plus faible dose utilisée (8ul), après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 8,33%, ce taux dépasse les 30% en augmentant les doses (figure14).

L'huile essentielle de l'ail a provoqué 100% de mortalité chez les adultes de *T. confusum* après 24h d'exposition à la plus forte dose (20ul), alors que pour les trois autres doses le 100% de mortalité est atteint après 72 h d'exposition.

Les résultats de l'activité insecticide par inhalation de l'huile essentielle de l'ail à l'égard des adultes de *T. confusum* sont représentés dans la figure suivante :

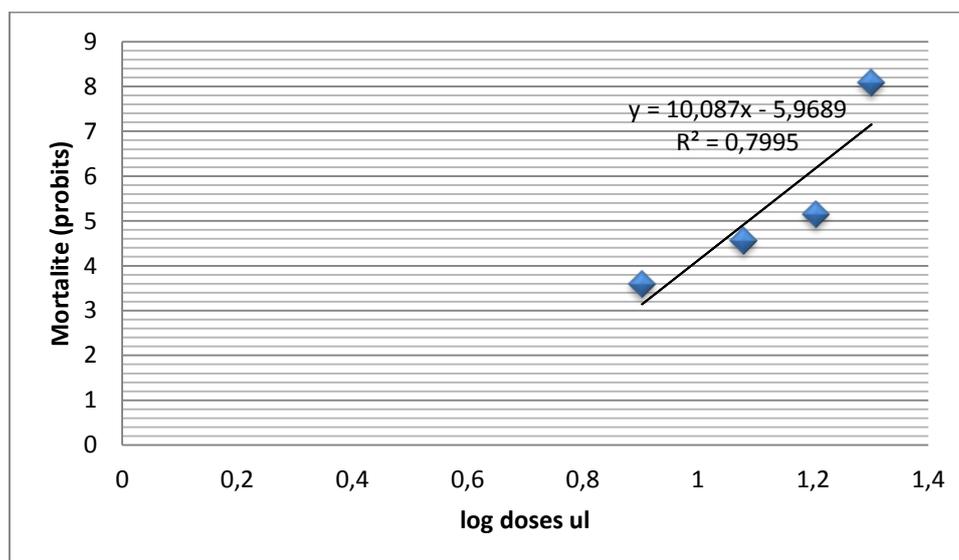


**Figure 14 :** Taux de mortalité moyen (moyenne  $\pm$  écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de l'ail en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

## Résultats et discussions

Pour évaluer la réelle efficacité de cette huile, nous avons déterminé la dose létale engendrant 50% de mortalité ( $CL_{50}$ ) chez *T. confusum*, cette dose est obtenue à partir du tracé de la droite de régression des probits en fonction des logarithmes des doses (figure 15).

La concentration létale 50 de l'huile essentielle de l'ail après 24h d'exposition, est de 14,6 ul, ce résultat indique que cette huile essentielle exerce un effet toxique sur *T. confusum*.



**Figure 15 :** Droite de régression de la mortalité en probits en fonction de log des doses.

### 3.2. Effet des huiles essentielles de la cannelle et de gingembre à l'égard de *T. confusum*

Les huiles essentielles de la cannelle et de gingembre n'ont montré aucune mortalité sur les adultes de *T. confusum* même à la plus forte dose (20ul) et pour les trois temps testés (24, 48 et 72h)

Nous avons augmenté les doses des deux huiles essentielles en allant jusqu'à 100ul, les résultats étaient négatifs pour les temps 24h et 48h et une très faible mortalité a été enregistrée à 72 h d'exposition (5% pour la cannelle et 30% pour le gingembre).

### 4. Résultats des tests par répulsion des trois huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum*

Les résultats du test de répulsion sont consignés dans le (tableau 6).

Globalement les trois huiles ont montré un effet répulsif à l'égard des adultes de *T. confusum*. Nous constatons que la répulsivité varie selon l'huile, la plus grande moyenne de répulsivité est obtenue avec l'huile essentielle de *A. sativum* avec un taux moyen de 64,16%,

## Résultats et discussions

selon le classement MC Donald, cette huile essentielle appartient à la classe IV. En ce qui concerne les huiles de *C. cassia* et *Z. officinale*, les taux moyens de répulsivité enregistrés ne dépassant pas les 50% (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Taux moyen de répulsion des huiles essentielles de *C. cassia*, de *Z. officinale* et de *A. sativum* à l'égard des adultes de *T. confusum* et leur classement selon Mc Donald et al. (1970).

Huile essentielle	Doses				Taux moyen de répulsivité(%)	Classe de répulsivité	propriété
	2ul	4ul	6ul	8ul			
<i>C. cassia</i>	33,33	36,66	40	43,33	38,33	II	Modérément répulsive
<i>Z. officinale</i>	33,33	43,33	46,66	60	45,83	III	Moyenne<ment répulsive
<i>A. sativum</i>	56,66	60	63,33	76,66	64,16	IV	Répulsive

### 5. Les résultats de l'analyse statistique

#### 5.1 Résultats de l'analyse statistique pour les tests d'inhalation avec les trois huiles essentielles

Les résultats obtenus des tests d'inhalation sont soumis à une ANOVA à trois critères de classification (dose, temps d'exposition et huile).

Les résultats de l'analyse révèlent l'existence d'une différence très hautement significative ( $P= 0,0000$ ) pour les effets des facteurs: dose, temps et huile essentielle ainsi que pour les interactions entre les facteurs dose  $\times$  temps, dose  $\times$  huile et temps  $\times$  huile. L'interaction des trois facteurs est également très hautement significative ( $p=0,0000$ ) sur la mortalité des adultes (Tableau 7).

## Résultats et discussions

**Tableau 7 :** Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des trois huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

	<b>S.C.E</b>	<b>DDL</b>	<b>C.M.</b>	<b>TEST F</b>	<b>PROBA</b>	<b>E.T.</b>	<b>C.V.</b>
<b>VAR.TOTALE</b>	186449.2	134	1391.412				
<b>VAR.FACTEUR1 (doses)</b>	17882.56	4	4470.641	182.89	0		
<b>VAR.FACTEUR 2 (temps)</b>	4066.984	2	2033.492	83.188	0		
<b>VAR.FACTEUR 3 (huiles)</b>	107201.4	2	53600.72	2192.757	0		
<b>VAR.INTER F1*2</b>	3733	8	466.625	19.089	0		
<b>VAR.INTER F1*3</b>	35765.22	8	4470.652	182.89	0		
<b>VAR.INTER F2*3</b>	8134.125	4	2033.531	83.19	0		
<b>VAR.INTER F1*2*3</b>	7465.891	16	466.618	19.089	0		
<b>VAR.RESIDUELLE 1</b>	2200	90	24.444			4.944	24.81%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans 5 groupes homogènes A, B, C, D et E. La dose 20 $\mu$ l, la plus efficace, est classée dans le groupe homogène A. Les autres doses sont classées chacune dans un groupe homogène à part (Tableau 8).

## Résultats et discussions

**Tableau 8** : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

Doses	Moyenne	Groupes homogènes				
20ul	33.333	A				
16ul	27.593		B			
12ul	22.963			C		
8ul	15.741				D	
Témoin	0					E

Le test de Newman et Keuls, classe également les temps d'exposition dans les groupes homogènes suivants: dans le groupe A, est classé le temps d'exposition le plus long (72h), dans le groupe B (48h), enfin dans le groupe C (24h) (Tableau 9).

**Tableau 9** : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur Temps sur les adultes de *T. confusum*.

Temps d'exposition	Moyenne	Groupes homogènes		
72h	26.667	A		
48h	19.889		B	
24h	13.222			C

Le test de Newman et Keuls a classé l'huile essentielle d'*A. sativum* dans le groupe homogène A enregistrant une forte mortalité de 59,778%, suivi des huiles essentielles de cannelle et de gingembre classées dans le groupe B sans aucune mortalité enregistrée. (Tableau10).

## Résultats et discussions

**Tableau 10 :** Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des trois Huiles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

Huiles essentielles	Moyennes	Groupes homogènes	
<i>A. sativum</i>	59.778	A	
<i>C. cassia</i>	0		B
<i>Z. officinale</i>	0		B

### 5.2 Résultats de l'analyse statistique des tests par répulsion avec les trois huiles essentielles

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence non significative pour le facteur dose ( $P=0.44846$ ) et une différence significative pour le facteur huile ( $P=0.04772$ ) et l'interaction entre ces deux facteurs (dose  $\times$  huile) n'est pas significative ( $P=0.99$ ) (Tableau11).

**Tableau 11 :** Résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsion avec les trois huiles essentielles testées.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>VAR.TOTALE</b>	20988.89	35	599.683				
<b>VAR.FACTEUR1 (Doses)</b>	1700.002	3	566.667	0.919	0.44846		
<b>VAR.FACTEUR 2 (Huiles)</b>	4238.891	2	2119.445	3.437	0.04772		
<b>VAR.INTER F1*2</b>	249.997	6	41.666	0.068	0.99		
<b>VAR.RESIDUELLE 1</b>	14800	24	616.667			24.833	50.22%

Le test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5%, a classé l'efficacité des huiles essentielles testées. *A. sativum* est la plus toxique et se trouve dans le groupe homogène A, par contre, *C. cassia* est la moins toxique, elle est classée dans le groupe homogène B (Tableau12).

## Résultats et discussions

**Tableau 12** : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile essentielle testée par répulsion sur les adultes de *T. confusum*.

Huiles essentielles	Moyennes	Groupes homogènes	
<i>A. sativum</i>	64.167	A	
<i>Z. officinale</i>	45.833	A	B
<i>C. cassia</i>	38.333		B

## 6. Discussion

### 6.1. Le rendement d'extraction

L'huile essentielle de chaque plante est caractérisée par sa couleur, son odeur et son rendement d'extraction.

Dans notre travail, le rendement en huile essentielle de l'ail est de 0,08 %, notre résultat est similaire à celui de Bengahroura et *al.* (2019) qui ont utilisé des bulbes de l'ail dans leur extraction.

Tandis que boughdad et *al.* (2008) ont obtenu un rendement en huile essentielle de l'ail qui est de 0,32% du poids frais des caïeux.

Pour l'huile essentielle de *Z. officinale*, le rendement obtenu après extraction est de 0,69%, Nos résultats se rapprochent de ceux obtenus par Khellaf, (2017) qui ont obtenu un rendement de 0.76% pour la plante séchée .Tandis qu'Aoun et *al.* (2022) ont obtenu un rendement qui varie entre 0,22% - 0,25 %.

Le rendement en huile essentielle de la cannelle est de 0,75% par extraction, Ce rendement est inférieur à celui trouvé par Djilaili et *al.* (2017) qui est de 0,96% et benghenima et *al.* (2017) qui est de l'ordre de 1,18%.

Le rendement dépend de plusieurs facteurs à savoir l'espèce, le milieu de récolte, la période de récolte, la durée de séchage, les pratiques culturales et la technique d'extraction (Svoboda et *al.* 1999).

### 6.2. Les analyses chromatographiques par la phase gazeuse CPG

Nos résultats d'analyse chromatographique ont montré que l'huile essentielle de l'ail est très riche en composés soufrés (84,66%), nos résultats se rapprochent de plusieurs études qui ont montré que l'huile essentielle de l'ail est constituée majoritairement de composés soufrés (Boughdad *et al.* 2008, Khadri, 2009 et Zidour-boubchiche, 2019).

Les composés majoritaires d'huile essentielle de l'ail testée sont : Dialyl sulfide (54,22%), Dialyl Trisulfide (20,18%) et Mono sulfure de Dialyl (6,02%). La composition chimique de l'huile essentielle extraite des bulbes frais de l'ail est différente de celle de nos résultats, en effet ses principaux composants sont : diallyl disulfide 38,37%, diallyl trisulfide 29,96%, et méthyle allyl trisulfide 8,2% (Zidour –Boubechiche, 2019).

Khadri, (2009) a montré que l'allyl méthyl trisulfide (34.61%) et le diallyl disulfide (31.65%) constituent les composants majoritaires de huile essentielle de l'ail, et que les autres composants identifiés sont d'un pourcentage relativement faible .Les travaux réalisés par Palermo *et al.* (2021) révèlent que l'huile essentielle de l'ail était principalement composée de composés soufrés (99,8%), comme le disulfure de diallyle (30,09%), le trisulfure de diallyle (22,70%), le tétrasulfure de diallyle (13,17 %) et le sulfure de diallyle (11,09 %).

Pour l'huile essentielle de la cannelle la chromatographie a montré qu'elle est très riche en composés phénylpropanoïdes tel que le Cinnamaldehyde et l'eugénol. Les composés majoritaires trouvés dans notre huile essentielle sont: Cinnamaldehyde (82%), eugénol (2,07%), Benzoate de benzyle (2,65%), Acétate de Cinnamyle (1,83%). Nos résultats sont proches de ceux de Haddi *et al.* (2017) qui ont montré que l'écorce de cannelle contient jusqu'à 4% d'huile essentielle, composée principalement de cinnamaldéhyde (60% -75%), d'eugénol (1% -10%), d'acétate de cinnamyle (1% -5%).

Selon chen *et al.* (2020) le trans-cinnamaldehyde est le composant majeur de l'huile essentielle extraite de l'écorce de la cannelle de chine avec un taux de 78,3%.

L'huile essentielle de *C. cassia* est obtenue à partir des différentes parties de la cannelle, y compris l'écorce, les feuilles, les graines, les brindilles, les bourgeons, etc. Toutes les parties ont montré une concentration variable de composés actifs. L'écorce contient environ 65% à 80% de cinnamaldéhyde et 5% à 10% d'eugénol. Tandis que les feuilles de cannelle constituent de l'eugénol comme composé majeur avec une concentration variant de 70% à 95% et le cinnamaldéhyde d'environ 1 % à 5% (Liaqat *et al.* 2023).

## Résultats et discussions

---

L'analyse chromatographique de l'huile essentielle de gingembre a montré qu'elle est très riche en Sesquiterpènes, les composés majoritaires de notre huile essentielle de *Z. officinale* sont :  $\alpha$ - Zingiberine (18, 64%), beta - Zingiberine (12, 50%), Ar- Curcumene (10,42%), Limonène (9, 67%), Bizabolene (9, 08%), Canphene (8, 89%).

Selon Zahi et al. (2021) le composé principal de l'huile essentielle de gingembre est le zingiberène (40,7%), le gèranial (8,9%), l'élémol (5,9%), et le camphre (4,3%). Dans le même contexte (Amvam et al. 1991; Hubert, 2005 et Riyazi et al. 2007) confirment par leurs travaux que les principaux constituants de l'huile essentielle de gingembre sont marqués par la forte présence de zingibérène avec 37,58% et le gèranial avec 38,96%.

### 6.3. Traitement par fumigation

Les résultats de tests par fumigation sur les adultes de *T. confusum* ont montré un effet insecticide important pour l'huile essentielle de l'ail et aucun effet insecticide pour les huiles essentielles de cannelle et de gingembre. Pour chaque huile testée, les analyses statistiques indiquent qu'il existe une variation très hautement significative des taux de mortalité des insectes qui dépendent de l'huile, des doses utilisées et de la durée d'exposition. Ces variations peuvent être expliquées par la composition chimique de l'huile essentielle et le comportement du ravageur.

Nos résultats sont en accord avec les travaux de plusieurs auteurs qui ont mis en évidence l'action des huiles essentielles par inhalation sur la mortalité des ravageurs des denrées stockées.

Les travaux de Kheloul (2020) ont montré que la mortalité des adultes de *T. confusum* varie en fonction de l'huile essentielle appliquée par inhalation. Parmi les six huiles essentielles utilisées, l'eucalyptus, le myrte et le romarin sont avérés les plus toxiques avec une mortalité de 100% à la dose 250  $\mu$ l, en 24h d'exposition seulement.

Dans une étude portée sur le même insecte, Gad, (2021) a constaté une forte activité insecticide de cinq huiles essentielles qui augmente avec le temps d'exposition *Origanum vulgare*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Schinus molle*, *Citrus paradisi* et *Artemisia monosperma*

L'huile essentielle de cannelle testée ne présente aucun effet insecticide sur les adultes de *T. confusum*, même à plus forte dose, à notre connaissance peu d'études ont été réalisées sur l'effet insecticide de l'huile essentielle de cannelle sur les adultes de *T. confusum*.

## Résultats et discussions

---

Cependant, nos résultats se rapprochent des travaux d'Helen (1985) qui a rapporté que l'huile de cannelle et l'extrait de cannelle ont montré une très faible toxicité par contact sur les adultes de *T. confusum*.

Contrairement à nos résultats, Rakesh et al. (2020) ont montré que l'huile essentielle de cannelle provoque un effet insecticide intéressant vis-à-vis des adultes de *T. castaneum* par contact, avec une CL50 de 0,098 µl/L, après 72 h d'exposition.

Işıkber et al. (2009) ont également enregistré une forte activité insecticide de l'huile essentielle de cannelle par fumigation à l'égard des œufs de *T. confusum* avec un taux de mortalité de 100% à la dose 20µl, après 24h d'exposition.

Certaines études effectuées sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées avec notre huile (Yunho et al. 2020, Brito et al. 2021) confirment que l'huile essentielle *C. cassia* provoque une forte activité insecticide par fumigation à l'égard du charançon et de *Callosobruchus maculatus*. D'autres travaux ont été réalisés sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées avec d'autres espèces de cannelle (kathirvelu et al.2020, Rakesh et al. 2020, Ali et al. 2009) ont montré que l'huile essentielle *Cinnamomum zeylanicum* a un effet insecticide important par fumigation vis-à-vis de *T. castaneum*, *R. dominica* et les œufs de *T. confusum*.

L'huile essentielle de *Z. officinale* testée ne présente aucun effet insecticide sur les adultes de *T. confusum* par fumigation, nos résultats concordent avec ceux de Zahi et al. (2021) qui ont confirmé que l'huile essentielle de gingembre ne manifeste aucun effet insecticide par fumigation sur les adultes de *T. confusum*.

Contrairement à nos résultats al quarni et al. (2018) ont démontré la toxicité par fumigation de l'huile essentielle de gingembre à l'égard des adultes de *T. confusum* avec 90% de mortalité à la dose 400µl, après 24h d'exposition.

Ismail et al. (2018) ont également montré l'effet insecticide de l'huile essentielle de gingembre par contact à l'égard des adultes de *T. confusum* et *T. castaneum*, avec un taux de mortalité de 49% et 53,3% respectivement.

Certaines études ont été réalisées sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées. Selon abdel-rahman et al. (2018) l'huile essentielle de gingembre a une toxicité importante vis-à-vis les adultes de *T. castaneum* par contact avec une CL50 de 0,72µl /l. Owabali et al. (2009) ont testé l'huile essentielle de gingembre sur *Sitophilus zeamais*, la toxicité était très

## Résultats et discussions

---

faible par fumigation. Saheb et *al.* (2017) ont rapporté que l'huile essentielle de gingembre a causé une mortalité de 98,67% par fumigation vis-à-vis de *Sitophilus oryzae*, après 24 h d'exposition.

L'absence d'effets notables pour les huiles essentielles de la cannelle et de gingembre peut être liée à une concentration insuffisante d'huiles essentielles ou à la résistance de cette espèce de ravageur.

Selon Wand Khalis, (2013) les espèces de *Tribolium* sont classées parmi les insectes ravageurs les moins sensibles et souvent plus difficiles à tuer que les autres coléoptères des produits stockés, bien que l'ordre de toxicité varie en fonction de l'insecticide en particulier.

Lorsque les adultes sont traités avec l'huile essentielle de l'ail, une toxicité marquée dès la dose 8  $\mu\text{l/l}$  a été notée avec une CL50 de 14,6  $\mu\text{l}$ , après 24h d'exposition, nos résultats concordent avec ceux de plusieurs auteurs, Palermo et *al.* (2021) qui ont démontré la toxicité de l'huile essentielle de l'ail par fumigation chez les adultes de *T. confusum*, Quarni et *al.* (2018) ont également rapporté que l'huile essentielle de l'ail est très efficace à l'égard de *T. confusum*, avec un taux de mortalité de 80% à la dose 400 $\mu\text{l/l}$ , après 24h d'exposition et la CL50 enregistrée après 24h d'exposition est de 1,13  $\mu\text{l/l}$ .

De même Gozek (2007), Mona et *al.* (2009) ont démontré la toxicité de l'huile essentielle de l'ail à l'égard des adultes de *T. confusum* par fumigation et par contact.

Tandis que Isikber et *al.* (2016) ont montré que le test de fumigation sur les différents stades de développement de *T. confusum*, a provoqué des taux de mortalités faible chez les larves et les adultes 8,33% et 6,67% respectivement et un taux de mortalité de 100% pour les œufs et les nymphes en utilisant à la dose 10 $\mu\text{l}$ , après 24h d'exposition.

L'huile essentielle de l'ail a également prouvé son efficacité sur d'autres insectes ravageurs des grains stockés, comme *T. castaneum* avec une CL50 de 2,09 mg/kg (Elbrense et *al.* 2022) ainsi que *R. dominica* avec une CL50 de 1,857  $\mu\text{l/l}$  (Sajja et *al.* 2014).

L'activité insecticide de l'huile essentielle de l'ail testée est probablement due à ses composés majoritaires (sulfure d'allyle, diallyldisulfure et trisulfure de diallyle), Plusieurs études ont révélé que l'huile essentielle de l'ail et ses principaux composants avaient une toxicité élevée en fumigation contre les insectes des grains entreposés (Huang et *al.* 2000; Karci, 2006 ; Gozek, 2007).

## Résultats et discussions

---

Selon Isikber (2016) le composé majoritaire de l'huile essentielle de l'ail diallyldisulfure a un effet insecticide par fumigation élevé contre le *T. confusum*, en provoquant une mortalité de 88,33%, après 24 d'exposition.

Saglam, (2013) a montré que le disulfure de diallyl, le composé majeur de l'huile essentielle de l'ail a un effet insecticide par fumigation très élevé à l'égard des adultes de *T. confusum* en provoquant une mortalité de 100% ,après 24h d'exposition.

Plata-Rueda et al. (2017) ont déterminé que les composants majeurs de l'huile essentielle de l'ail (diallyl disulfide et diallyl sulfide) causent des effets létaux et sublétaux et induisent des symptômes d'intoxication et de nécrose.

L'activité insecticide de l'huile essentielle de l'ail peut être due aussi à la forte odeur que dégage cette huile. Adedire et Ajayi, (1996) expliquent que cette huile serait insecticide due à la forte odeur émanant de *A. sativum* qui perturbe la respiration de *S. zeamais* par suffocation.

Les travaux de Suleiman (2013) expliquent cette efficacité par le fort arôme que dégage *A. sativum* qui jouerait un rôle anti-appétant pour *S. zeamais*, l'empêchant de s'alimenter.

Selon Boate et Abalis (2020) l'insecte exposé à l'huile essentielle d'ail a affiché une altération de l'activité locomotrice, contractions musculaires et paralysie résultant d'un effet toxique sur le système nerveux des insectes, l'effet de la toxicité des huiles essentielles sur les insectes a indiqué une action neurotoxique avec hyperactivité, hyperextension des jambes et abdomen et effet de choc rapide ou immobilisation.

### 6.4. Traitement par test de répulsivité

Les résultats obtenus révèlent que les trois huiles testées repoussent les adultes de *T. confusum* en au fur à mesure que la dose augmente.

Nos résultats concordent avec ceux d'Abdelaziz et al. (2009) qui ont montré l'effet répulsif de l'huile essentielle de l'ail sur les adultes de *T. confusum*, avec un taux moyen de répulsivité de 80,4%.

Nos résultats concordent également avec ceux de Chabi et al. (2022) qui ont rapporté que l'huile essentielle d'*A. sativum* est classée comme répulsive avec un taux moyen de répulsivité de 59.99% sur les adultes de *S. oryzae*.

## Résultats et discussions

---

Auger et *al.* (2002) ont noté la possibilité de l'utilisation des composés allélochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides. Les composés allélochimiques du genre *Allium* présente des propriétés répulsives et des effets anti-appétent vis-à-vis des insectes. Ils ont été évalués et testés sur les insectes des denrées stockées. Les composés comme les Thiosulfonates sont testés sur *C. maculatus*, *S. oryzae* et *S. granarius* et autres lépidoptères.

Elnabawy et *al.* (2021) ont rapporté que les composants volatiles actifs sont des composés sulfurés fabriqués par la dégradation rapide l'allicine, et que ce dernier était un composant principal et avait des effets répulsifs sur certains insectes nuisibles.

Ismail et *al.* (2018) ont rapporté que l'huile essentielle de gingembre présente un effet répulsif hautement significatif, avec un taux moyen de 95,83%, appartenant à la classe V sur les adultes de *T. confusum*.

Selon Abdel- Rahman et *al.* (2018) l'huile essentielle de gingembre à un effet répulsif sur les adultes de *T. castaneum*, le taux de répulsivité est de 45,08% à une concentration de 2%, après 24h d'exposition.

Maedeh et *al.* (2012) ont évalué la toxicité et la répulsion de l'huile essentielle de *Z. officinale* contre *T. castaneum*, l'effet répulsive de cette huile est élevée même à de faibles concentrations, il est de l'ordre de 85 % à 1,6 µL/L d'air.

Helen, (1985) a montré que l'huile essentielle de *C. cassia* repousse les adultes de *T. confusum*, aux doses 400ug et 600ug.

Selon Rakesh, (2019) l'huile essentielle de la cannelle présente un potentiel de répulsivité remarquable ( $IR < 1$ ) à l'égard de *T. castaneum*. Avec les différentes concentrations utilisées après 30 minutes d'exposition, ceci est peut être dû à la présence des dérivés de l'acide cinnamique comme composant majeur.

D'autres espèces d'huiles essentielles de cannelle comme celle de *Cinnamomum zeylanicum* s'est révélés très répulsives à l'égard de *C. maculatus* avec un taux de répulsion de 90% (Kellouche et *al.* 2010).

D'après Haddi et *al.* (2017) la cannelle a été suggérée comme répulsif contre les insectes. L'huile essentielle de cannelle et leurs composants, tels que le cinnamaldéhyde, sont des composés insecticides qui ont été utilisés contre une variété d'insectes.

# **Conclusion**

## Conclusion

---

---

### Conclusion

Au cours de notre travail nous avons réalisé l'extraction de trois huiles essentielles des poudres de l'ail, du gingembre et de la cannelle par la technique d'hydro distillation, cette méthode est simple dans son principe et ne nécessite pas un appareillage coûteux.

Les résultats de rendement d'extraction des trois huiles essentielles ont montré que les huiles essentielles de la cannelle et de gingembre présentent le plus fort rendement avec un taux de 0,75% et 0,69%, respectivement tandis que le rendement de l'huile essentielle de l'ail est très faible avec un taux de 0,08%.

Nous avons déterminé aussi la composition chimique des trois huiles essentielles testées par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats ont montré que chez la cannelle, le composé majoritaire est le Cinnamaldehyde avec un taux de 82%, alors que chez le gingembre, c'est le bêta-Zingiberine avec un taux de 18,64%. En ce qui concerne l'ail, le composé majoritaire est le Dialyl sulfide avec un taux de 54,22%.

Nous avons tenté d'évaluer la bio efficacité de nos trois huiles essentielles par deux modes d'action : inhalation et répulsion à l'égard des adultes de *T. confusum*.

Les résultats obtenus pour les tests d'inhalation ont montré que l'activité insecticide des huiles essentielles d'*A. sativum*, *C. cassia* et *Z. officinale* contre *T. confusum*, varie en fonction de la nature de l'huile essentielle testée, des concentrations utilisées, ainsi que la durée d'exposition aux traitements.

L'huile essentielle de l'ail a montré une forte activité insecticide à l'égard de *T. confusum*, nous avons obtenu une mortalité de 100% avec la dose 20 $\mu$ l, après 24h d'exposition, alors que les huiles essentielles de la cannelle et de gingembre n'ont montré aucune mortalité sur les adultes de *T. confusum* même à la plus forte dose (20 $\mu$ l) et pour les trois temps testés. L'estimation de la CL50 après 24h d'exposition à l'huile essentielle d'*A. sativum* a donné une valeur égale à 14,6  $\mu$ l. Pour les autres huiles essentielles, la CL50 n'a pas pu être déterminée.

Les huiles essentielles des trois plantes aromatiques testées par répulsion semblent avoir toutes les trois un effet répulsif considérable à l'égard des adultes de *T. confusum*. Le calcul du pourcentage de répulsion par la méthode de Mc Donald et al. (1970) a permis de

## Conclusion

---

constater que l'huile essentielle d'*A. sativum* est répulsive, appartenant à la classe IV avec un taux de répulsion moyen de 64,16% et l'huile essentielle de *Z. officinale* manifeste une répulsivité moyenne avec un taux de 45,83% appartenant à la classe III tandis que l'huile essentielle de *C. cassia* manifeste une répulsivité modérée avec un taux de 38,33%, appartenant à la classe II.

Il ressort de notre étude que l'huile essentielle de l'ail en comparaison à celles de la cannelle et de gingembre présente l'effet le plus toxique par inhalation et par répulsion. Ce pouvoir bioactif observé chez l'huile essentielle de l'ail semble être le résultat de l'un ou de plusieurs éléments constituant de cette essence végétale.

L'étude de l'activité insecticide des huiles essentielles sur un organisme nuisible aux produits stockés *T. confusum* a montré que les huiles essentielles testées n'ont pas la même activité insecticide et cela est dû à la composition chimique de chaque huiles et de leurs composés actifs.

Ce travail basé sur l'utilisation des plantes aromatiques comme insecticides ouvre de grandes perspectives de recherches, il serait intéressant de :

- Tester d'autre technique d'extraction et leur influence sur les caractéristiques physico-chimique des huiles essentielles.
- Voir l'effet de nos huiles essentielles sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées d'étudier la résistance des insectes vis-à-vis des huiles essentielles ainsi que leurs composants majeurs pour connaître le ou les composé (s) responsable (s) de l'activité insecticide observée chez ces ravageurs
- Tester nos huiles essentielles à grande échelle afin d'évaluer leur efficacité dans le milieu naturel en interaction avec les facteurs biotiques et abiotiques et envisager leur exploitation en tant que biopesticides.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- **Abd El-Aziz, M. F. et El-Sayed, Y.A., 2009.** Toxicity and biochemical efficacy of six essential oils against *Tribolium confusum* (du val) (Coleoptera: Tenebrionidae). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. 2 (2): 1 – 11p.
- **Abdel-Rahman, Y.A. and Mahmoud, M. A., 2018.** Toxic and Repellent Effects of Four Plant Oils against the Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Plant Protection and Pathology. Page 277-281.
- **Adedire, C.O. and Ajayi, T.S., 1996.** Assessment of the insecticidal properties of some plant extracts as grain protectants against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. Nigerian Journal of Entomology. 13:93 -101p.
- **Agbegninou, G.B., 2018.** étude, conception et réalisation d'une éplucheuse de gingembre .université dabomey-calavy.
- **Aidani, H., 2015.** Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire Master. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen Algérie Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers. 82 p.
- **Ali, M.A., Mohamed, D.S., El-Sayed, H.S. and Elsayed, A.M., 2017.** Antifeedant activity and some biochemical effects of garlic and lemon essential oils on *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Entomology and Zoology Studies 2017; 5(3): 1476-1482.
- **Ali, W .K. and Mohammed, H.H., 2013.** Toxic Effect of Some Plant Extracts on the Mortality of Flour Beetle *Tribolium confusum* (Duval) (Coleoptera: Tenebrionidae), Entomol Ornithol Herpetol ISSN: 2161-0983 EOH an open access journal.academia.edu.3p.
- **Ali, S., Sagheer, M., Hassan, M., Abass, M., Hafeez, M., Farooq, M., Hussain, D., Saleem, M. and Ghaffar, M., 2014.** Insecticidal activity of turmeric (*Curcuma longa*) and garlic (*Allium sativum*) extracts against red flour beetle, *Tribolium castaneum*: A safe alternative to insecticides in stored commodities. Journal of Entomology and Zoology Studies 2014; 2 (3): 201-205

## Références bibliographiques

---

- **Al-Qarni, N.A., Faraj Allah, A. A., Mahmoud, M., Alghamdi, K.M., Al-Solami, H. M., AlAnwar, Y., 2018.** Pesticidal repercussions of different plants oil on larvae and adult of *tribolium confusum* (jaquelin du val). Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, Vol.6 No.4 pp.661-668 ref.25.
- **Amari, N., 2014.** Etude du choix de ponte de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche, et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte. Mémoire de magistère pp 23, 23, 25 peanuts science and technologie T. X. pp: 655 – 688.
- **Angelini, D.R., Jockusch, E.L., 2008.** Relationships among pest flour beetles of thegenus *Tribolium* (Tenebrionidae). Molecular Phylogenetics and Evolution, Volume 46, Issue 1, January 2008, Pages 127-141.
- **Aoun, S., Hafsa, A., 2022.** Potentiel anti-oxydatif et antimicrobien de Gingembre (*Zingiber officinale*). Mémoire de Master. Université Larbi Tébessi (Tébessa).87 p.
- **Arabach, M., Santana, T.M., Moxham, H., Tinson, R., Anwar, A., Groom ,M. et Hamilton, C.J., 2019.** Antimicrobial garlic derived diallyl polysulfanes:Interactions with biological thiols in *Bacillus subtilis* .*Biochimica et Biophysica Acta-Genaral Subjects* 1863(6),1050-1058.
- **Arrab, R., 2016.** Effet insecticide des plantes *Meliaazedarach*.I et *Peganum harmala* L.sur l'insecte des céréales stockées *Tribolium castanum* herbest (Coleoptera, Tenebrionidae).Memoire de Magister 89p, université Farhat Abbas Sétif.
- **Assih, A., Nenonene, Y .A., Tchabi, A., Fiaboe, K. R., Akantetou, K. P., (2018).** Effets De La Fertilisation Sur Les Nématodes Parasites Et Le Rendement En Rhizomes Frais Du Gingembre, *Zingiber officinale* *Rosc.* European Scientific Journal. Ed : Vol.14, No.24 (228) : pp 217.
- **Auger, J., Dugravot, S., naudim, A., Abo-Ghalia, Pierre, D., Thibout, E., 2002.** Utilisation des composés allelochimiques des *Allium* eu tant qu'insecticides, IOBC Wprs bulletin, 25 9, 295, 308.

## Références bibliographiques

---

- **Auteroche, B., 1993.** Une plante familière de la pharmacopée chinoise: Le cannellier - *Cinnamomum cassia*. Presl. (Gui). Méridiens; 101: 87-98. Publication country France
- **Bagade, R. P., Jadhav, A.D., Chavan, R.V., 2020.** Toxicity and repellency of four plant essential oils against *Tribolium castaneum*(Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) International Journal of Tropical Insect Science 41, pages1505–1512.
- **Bardeau, F., 2009.** les huiles essentielles, propriété et utilisation de l'aromathérapie. Book, Edition lanore Paris : 33-35p.
- **Belmouaz, A., 2004.** Contrôle phytosanitaire et surveillance des denrées stockées. Agréage et protection phytosanitaire. Ed. O.A.I.C. (Office Interprofessionnel des Céréales); pp 18-34
- **Benayad, N., 2013.** Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines. Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse thèse de doctorat Chimie Organique Université Mohammed V – Agdal pp47, 48.
- **Bengahroura, C., Ouhib, M., 2019.** Extraction, Caractérisation et Les effets Thérapeutiques de l'Huile Essentielle d'Ail (*Allium sativum*). Memoire de Master 76p. Université Ibn Khaldoun(Tiaret).
- **Benghenima, S., 2017.** Contribution à l'étude de l'effet inhibiteur de l'huile essentielle et de l'hydrolat de la cannelle de Chine (*Cinnamomum cassia*) vis-à-vis des biofilms de *Candida albicans*, Mémoire de Master 35p. Université Aboubekr Belkaïd (TLEMCEM).
- **Benlameur, Z., 2016.** Les ravageurs des denrées stockées et leur impact sur la santé humaine. Thèse de Doctorat ,150p .Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach Alger.
- **Boughdad, A et Douiri, F., 2008.** Utilisation des huiles essentielles de l'ail en protection des légumineuses stockées contre *callosobruchus maculatus*. afpp – 8<sup>ème</sup> conférence internationale sur les ravageurs en agriculture montpellier – 22 et 23 octobre 2008.10p
- **Boukhalfa, H. et Rouabah, I., 2020.** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées (Recherche bibliographique). Mémoire de Master 45p Université Mohamed El Bachir El Ibrahimy B.B.A.

## Références bibliographiques

---

- **Boukhatem, M. N., Ferhat, A., et Kameli, A., 2019.** Méthodes D'extraction Et De Distillation Des Huiles Essentielles : Revue Agrobiologia (2019) 9(2): 1653-1659.
- **Braga, M.E.M., Moreschi, S.R.M., Meireles, M.A.A. (2006).** Effects of Supercritical Fluid Extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. Starches, Carbohydrate Polymers, (63): pp 346.
- **Brito, R.de.C., Fontes, L.da.S., da Silva, P.H.S, Santana, C.de.S., Barbosa, D.R. S., 2021.** Essential oils from *Betula lenta*, *Cinnamomum cassia*, *Citrus aurantium* var. *Amara* and *Acorus calamus* as biopesticides against cowpea weevil .International Journal of Tropical Insect Science.9p.
- **Bruneton, J., 1999.** Huiles essentielles. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Edition Tec & Doc, 3<sup>édition</sup>, Lavoisier, Paris, France.
- **Bunga, R., 2011.** JAHE (*Zingiber officinale*.) Status Teknologi Hasil Penelitian JAHE. Ed : Miftahudin and Efiana. (158): pp 04-05-06.
- **Burkill, H.M., 1994.** The useful plants of west tropical Africa. Book, Volume 2: Families EI. Royal Botanic Gardens. 648 P.
- **Calmont, B. et Soldati, F., 2008.** Découverte de *Tribolium madens* (Charpentier, 1825) dans le département du Puy-de-Dôme (France) ; clé de détermination et distribution des espèces du genre *Tribolium* en France (Coleoptera, Tenebrionidae). R.A.R.E., T. XVII (2), 2008 : 1 – 7.
- **Caragnaro, P.F., Camargo, A., Galmarini, C.R., Philipp, W. S., 2007.** Effect of Cooking on Garlic (*Allium sativum* L.) Antiplatelet Activity and Thiosulfinates Content. Journal of Agricultura, 55, 4, 1280–1288.
- **Chabi, A.A et Kheffache, F., 2022.** Extraction des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et *Allium sativum* : Activité antioxydante et effet sur le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* : Coleoptera Curculionidae) ravageur des denrées stockées. Mémoire de Master en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 76p.
- **Chehat, F., 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blé en Algérie. Projet PAMLIM «Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation» Alger: 7-9.

## Références bibliographiques

---

- **Chen, G., Fengrui, S., Shougui, W., Weiwen, W., Jipeng, D., Fei, G., 2020.** Enhanced extraction of essential oil from *Cinnamomum cassia* bark by ultrasound assisted hydrodistillation. Chinese Journal of Chemical Engineering Volume 36, August 2021, Pages 38-46
- **Cronquist, A., 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia Univ. Press. New York.1262 P.
- **Cruz et Diop., 1989.** Génie agricole et développement : technique d'entreposage. Bulletin des services agricoles de la FAO, 74, 3-20.
- **Dajoz, R., 2002.** Les coléoptères carabidés et ténébrionidés : écologie et biologie. Ed. Lavoisier, Paris. Ouvrage de 522 p.
- **Delobel, A., et Tran, M., 1993.** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, IRD Editions, p : 275-280 et 345-346.
- **Demars, V., 2022.** Gingembre Zingiber officinale Roscoe, Dans Hegel 2022/3 (N° 3), pages 236 à 239.
- **Djaalali, S., Bayoud, H., 2020.** Étude bibliographique de l'effet larvicide de l'huile essentielle d'*Artemisia campestris* à l'égard de *Culex pipiens* : Morphométrie. Mémoire de Master.68p Université Larbi Tébessi- Tébessa, Algérie.
- **Djebri, A., Douib, B., 2020.** Étude bibliographique de l'effet larvicide de l'huile essentielle d'*Artemisia campestris* à l'égard de *Culex pipiens* : Aspect toxicologique. Mémoire de Master 109p. Université Larbi Tébessi-Tébessa, Algérie.
- **Djilaili, I., Kharroubi, S., Slimane, F., 2017.** Evaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de la cannelle de Chine (*Cinnamomum cassia*) Mémoire Master. Université Ibn Khaldoun (Tiaret).60p
- **Djilani, A., & Dicko, A., 2012.** The therapeutic benefits of essential oils. Book: Nutrition, wellbeing and health. 156-178p .
- **Eberhard, T., Robert, A., Annelise, L., 2005.** Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed : Tec et Doc (522): pp 259-260-263.
- **Elbrense, H., El Hussein, I., Abo El makarem, H., Abo Arab, R. and El Kholy, S., 2022.** Insecticidal, Antifeedant and repellent efficacy of certain essential oils

## Références bibliographiques

---

against adult rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal Biology* 2022, 11(1), 3.

- **Faivre, Cl., Le jeune, R., Staub, H. et Goetz, P., 2006.** Zingiber Officinale Roscoe. *Phytotherapie* (4), pp 99-102.
- **Feillet, P., 2000.** Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p.
- **Ferhat, M. A., Boukhatem, M. N., Hazzit, M., & Chemat, F., 2016.** Rapid extraction of volatile compounds from Citrus fruits using a microwave dry distillation. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 753-781
- **Fianko, J.R., Donkor, A., Lowor, S.T.,Yeboah, P.O., Glover, E.T., Adom T.,Faanu, A., 2011:** Health risk associated with pesticide contamination of fish from the densu river basin in Ghana. *Journal of Environmental Protection*, 2(2), P115-123.
- **Fleurat-Lessard, F., 1987.** Évolution des méthodes de détection et de protection des grains par des procédés physiques. Institut national de la recherche agronomique, pont de la Maye(France). Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, compte rendu. 1987, pp 449-458 ; ref : 2 p.
- **Gad, H.A., Hamza, A.F., Abdelgaleil, S.A.M., 2021.**Chemical composition and fumigant toxicity of essential oils from ten aromatic plants growing in Egypt against different stages of confused flour beetle, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *International Journal of Tropical Insect Science*. Volume 42, pages 697–706.
- **Gerges Geaga, A., 2015.** Les Bienfaits de l’Ail sur la Santé. *Human & Health*. 31:46-47.
- **Good, N.E., 1933.** Biology of the flour beetles, *Tribolium confusum* Duv. And *T. ferruginaeum*. Fab. *Journal of Agricultural. Research* 46: 327-334.
- **Good, N.E., 1936.** The flour beetles of the genus *Tribolium*, Book 62pp. Ag Econ Search.
- **Gözek, N., (2007).** Fumigant Toxicity of Garlic and Onion Essential Oils and their Active Components Against Life Stages of Confused Flour Beetle, *Tribolium confusum* du Val. Master Thesis. University of Kahramanmaraş Sütçü Imam Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Plant Protection, 46 pp. (Only Abstract in English).

## Références bibliographiques

---

- **Guèye, M.T., Seck, D., Wathelet, J-P., Lognay, G., 2011** : Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 15(1), 183-194.
- **Haddi, K., Faroni, L. R.A. and Oliveira, E. E., 2017.** Cinnamon Oil, Book: Green Pesticides Handbook, 1st Edition.p:34.
- **Hanif, A.M., Nisar S., Khan, G.S., Mushtaq, Z. and Zubair, M., 2019.**Essential Oils Book: Essential Oil Research 3-17p: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial.
- **Helen, C. F. S., 1985.** Laboratory evaluation of biological activity of *cinnamomum cassia* to four species of stored-product insects. *Journal of Entomological Science* (1985) 20 (2): 247–253.
- **Iserin, P., Masson, M., Restellini, J.-P., 1997.** Encyclopédie des plantes médicinales. Larousse Bordas. 336 p.
- **Işıkber, A.A., Özgür, S., M Kubilay, E., Hasan, T., Salman, K., 2016.** Fumigant toxicity and joint action of garlic essential oil and its main compound, allyl disulphide with certain modified atmospheres against confused flour beetle, *Tribolium confusum*. Pp. 08–15. (Eds.) Proceedings of the 10th International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products (CAF2016), CAF Permanent Committee Secretariat, Winnipeg, Canada.
- **Işıkber, A .A. & Nihal, Ö., & Özgür, S., 2009.** Susceptibility of eggs of *Tribolium confusum*, *Ephestia kuehniella* and *Plodia interpunctella* to four essential oil vapors,*Phytoparasitica* (2009) 37:231–239.
- **Ismail, E.H., 2018.** Toxicity, repellency and latent effects of some medicinal oils against *Tribolium confusum* and *T. castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae),*Biological and Geological Sciences Dept., Fac. of Education, Ain Shams Univ., Egypt. Journal of Entomology and Zoology Studies* 2018; 6(3): 1337-1347.
- **Jouault, S., 2012.** La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité, le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Univ: Lorraine, faculté de Pharmacie, 137p.

## Références bibliographiques

---

- **Jurgen, K., Heina, S & Werner, K., 1981-** Maladies, Ravageurs et mauvaises herbes des cultures Tropicales, Vol 23(1),P 1-13
- **Kanana, P. T. D., Muniengi, B. I., 2018.** Effet insecticide des poudres de quelques plantes sur la conservation des semences de maïs contre les charançons *Sitophilus zeamais* Motsch. Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture 2018 ; 1(2), 10-13.
- **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.
- **Kathirvelu, C.A.S., Maline, B., Raja,A.G. and Kavitha, A., 2020.** Effect of Fumigation on *Rhyzopertha dominica* F. and *Tribolium castaneum* H. in Stored Products Using Essential Oils,Annals of Agri-Bio Research 25(2): 258-262, 2020
- **Kellouche, A., 2005.** Etude de la bruche du pois chiche *Callosobruchus maculatus*. F (Coleoptera: Bruchidae). Thèse de Doctorat : Entomologie. Tizi Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 154p.
- **Kellouche, A., Ait Aider, F., Labdaoui, K., Moula, D., Ouendi, K., Hamadi, N., Ouramdane, A., Frerot, B. et Mellouk, M., 2010.** Biological activity of ten essential oils against cowpeabeetle, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae), Int. J.Integ. Biol., 2010, Vol 10. P 86-89.
- **Kergoat, G.J., Bouchard, P., Clamens, A.L., Abbate, J.L., Jourdan, H., Jabbour-Zahab, R., Genson, G., Soldati, L. and Condamine, F.L., 2014.**Cretaceous environmental changes led to high extinction rates in a hyperdiverse beetle family. BMC Evolutionary Biology.13p.
- **Khadri, S., 2009.** Evaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de l'ail cultivé (*Allium sativum*) de l'est algerien vis-à-vis de différentes souches de *oseudomonas aeruginosa*. Mémoire Magister 100p, Université Badji Mokhtar.
- **Khellaf, N.E.H., 2017.** Effet Des Propriétés Physicochimiques Et Du Pouvoir Antibactérien De L'huile Essentielle De Zingiber Officinale « Formes Fraiche Et Séchée », Mémoire Master 66p, UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM.

## Références bibliographiques

---

- **Khelloul, L., 2020.** Etude de la biologie et de la sensibilité à l'action de quelques huiles essentielles de *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera: Tenebrionidae), un insecte ravageurs des denrées alimentaires entreposées. Thèse de doctorat en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 163 p.
- **Kurihara, F., 2022.** Essential oils and vegetable oils induced dermatitis Version of Record: 5P.
- **Labiod, R., 2016.** Valorisation des huiles essentielles et des extraits de *Satureja calamintha nepeta* : activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide. Thèse de Doctorat 126p. Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie.
- **Lale, N.E.S. et Vidal, S., 2003:** Simulation studies on the effects of solar heat on egg-laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) in stored bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. Journal of Stored Prod. Res. 39, 447-458.
- **Lardry, J.M. et Haberkorn, V., 2007-** L'aromathérapie et les huiles essentielles,. Kinesither Rev 2007; (61):14-17.
- **Lepesme, P., 1944** .Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed. P. Le chevalier, Paris, pp. 61 - 67.
- **Liaqat, A., Ahsan, S., Fayyaz, M. S. , Ali, A., Ashfaq, S. A., Khan, S., Khan, M. A., Mehmood, T., Khaliq, A., Chughtai, M. F. J., Asgari, S., Parzadeh, M., Nejad, A.S. M. and Nayik, G. A., 2023.** chapitre 14 : Cinnamon essential oil. Book : Essential Oils, Extraction, Characterization and Applications 2023, Pages 377-390.
- **Lord, J.C., Campbell, J.F., Sedlacek, J.D. and Vail, P.V., 2007** Application and evaluation of entomopathogens for managing insects in stored products. In: Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology. Book (Eds.), pp. 677–693.
- **Maedeh, M., Hamzeh, I., Hossein, D., Majid, A. & Reza, R K., 2012.** Bioactivity of Essential Oil from *Zingiber officinale* (Zingiberaceae) Against Three Stored-Product Insect Species. Journal of Essential Oil Bearing Plants Pages 122-133.
- **Magan, N. et Olsen, M., 2004.** Mycotoxines in food. Detection and control, Woodhead publishing in Food Science and Technology, P .190. Book, 203p.

## Références bibliographiques

---

- **Matthews, E. G., Lawrence, J. F., Bouchard, P., Steiner, W. E. Jr. and Ślipiński, S. A., 2010.** Tenebrionidae Latreille, 1802, pp. 574–659. In: Beutel, R. G., Leschen, R.A.B., and J.F. Lawrence (eds.) – Handbook of Zoology. A Natural History of the Phyla of the Animal Kingdom. Vol. IV – Arthropoda: Insecta. Part 38. Coleoptera, Beetles. Vol. 2: Systematics (Part 2), Walter de Gruyter GmbH & Co., Berlin/New York, Chapter 11.14.
- **Seddik, M., (2010).** Analyse physico-chimique, chromatographique et spectroscopique de l'huile essentielle d'Ammodendron Verticillata de la région d'Adrar. Étude de son activité biologique et anti-oxydante. Mémoire de Magister. Université d'Oran Es-Senia, Algérie. 122 F
- **Guèye, M.T ., Seck, D., Wathelet, J.P., Lognay, G., 2011:** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique, Journal of Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 183-194p
- **Mossa, A., 2016.** Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. Journal of Environmental Science and Technology, 9(5), 354-378.
- **Moussi, T ., 2017.** Utilisation de la poudre végétal du Romarin, Eucalyptus, Marrube et des micro-organismes dans cadre de la lutte contre *Tribolium confusum* .Université M'Hamed Bouguera ,10p.
- **Nanfack, F. M., Dongmo, Y. Z., et Fogang M.A. R., 2015.** Les insectes impliqués dans les pertes post-récolte des céréales au Cameroun : méthodes actuelles de lutte et perspectives offertes par la transgénèse. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 9(3): 1630-1643
- **Ntezurubanza, L., (2000).** Les huiles essentielles du Rwanda. Laboratoire d'analyse et de séparation des essences végétales, Canada, 27: 57-247.
- **Oueslati, S., Gharsalli, W., Abdelkarim, M., Ben Aissa-Fennira, F., Ksouri, R., 2018.** Evaluation biochimique et exploration des potentialités antioxydantes, antibactérienne et anticancéreuse de Zingiber officinale. Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 54 (1), 3561-3568.

## Références bibliographiques

---

- **Owabali, M.S., Oladimedji, M.O., Lajide, L., Singh, G., Marimuthu, p. et Isidorov, V. A., 2009.** Bio efficacité de trois huiles essentielles contre *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) et *Callosobruchus maculatus* (Fabricius). E.J.E.A.F., Che., n°14, pp.828-835.
- **Ozkaya, H., Ozkaya, B .and Colakoglu, A.S., 2009.** Technological properties of a variety of soft and hard bread wheat infested by *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium confusum* du Val. Journal of Food Agriculture & Environment 7: 166-179.
- **Palermo, D., Giulia, G., Laudani, F., Palmeri, V. and Campolo, O., 2021.** Essential Oil-Based Nano-Biopesticides: Formulation and Bioactivity against the Confused Flour Beetle *Tribolium confusum*. Special Issue, "Sustainable Defense Strategies for Pest Management". Journal of Sustainability, 2021, Number : 974.
- **Pavela, R., Benelli, G., 2016.** Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. Trends in plant science. Pages 1000-1007.
- **Plata-Rueda, A., Martínez, L.C., Santos, M .H .D., Fernandes, L.F., Wilcken, F. C., Soares, M. A., Serrão, J.E.& Zanuncio, C. J., 2017.** Insecticidal activity of garlic essential oil and their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal Scientific Reports 7:46406 DOI: 10. 1038/srep 46406.
- **Pretty, J., Hine, R., 2005:** Pesticide use and the environment in The pesticide detox - Towards a More Sustainable Agriculture. Earth scan: London, Sterling,book .293 p.
- **Pruthi, H. S., Singh, M., 1950.** Pests of stored grain and their control. Special number. Indian journal of Agricultural Science. 1-52 p.
- **Radhakrishnan, V. V., Madhusoodnan, K. J., Kuruvilla, K. M., 1992.** Cinnamon – the spicy bark. Spice India, 5(4): 12 – 13.
- **Reis, S.L., Mantello, A.G., Rossete, E.A.G., Cardoso, A. M., Beleboni, R.O., 2014.** Insecticidal and repellent activity of typical monoterpenes from plant essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Fabr. 1775). BMC Proceedings. 8(4), 115. Unit of Biotechnology - Ribeirão Preto University.

## Références bibliographiques

---

- **Ronbi, M., Robert, D., 2007.** 120 plantes médicinales : Composition, Mode d'action et intérêt thérapeutique. Book Edition Alpen Monaco - [3<sup>e</sup> édition], (527) p.
- **Ryckwaert, P. et Fabre, F., 2002.** lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraichères à la réunion. Fifth Annual Meeting of Agricultural Scientists p : 99-103.
- **Sağlam, Ö., Özder, N., 2013.** Fumigant toxicity of monoterpenoid compounds against the confused flour beetle, *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. (Coleoptera: Tenebrionidae). Original article, Türk. entomol. derg., 2013, 37 (4): 457-466
- **Saheb– Bouriah, D., 2017.** Efficacité insecticide de quelques huiles essentielles sur *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera; Curculionidae), et contribution à la mise au point d'une formulation. Thèse doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'el Harrach Alger.
- **Salim, H. A., Mahdi, M .H., Zedan, D. A. and Rosoki, B.O ., 2019.** Insecticidal and repellent activities of five plant extracts against stored grain pest *Tribolium confusum* (Jacquelin du val), 1868 (Coleoptera: Tenebrionidae). Journal of Physics: Conference Series 1294 (2019) 092034.p7.
- **Schuster, C.L. et Smeda, R.J., 2007.** Management of *Amaranthus rudis* S. in glyphosate resistant corn (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Crop Prot*, 26, 1436-1443. The Official Journal of the International Association for the Plant Protection Sciences.
- **Seck, D., 2009.** Stockage, conservation et transformation des récoltes en zones tropicales. Notes de cours. 31 P, BP. 379 Ngaparou (Sénégal).
- **Semsar, 2013.** Effet insecticide de l'huile végétale d'argan (*Argania spinosa*) à l'égard de deux insectes ravageurs du blé. UMMTO.
- **Shan, B., Cai, Y.Z., Sun, M. and Corke, H., 2005.** Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agriculture and food chemistry*; 53:7749-7759.
- **Shankar, S., Prasad, S., Owaiz, M., Yadav, S., Manhas, S. and Yaqoob, M., 2021.** Essential oils, components and their applications. *Journal of Plant Archives* Vol. 21, Supplement 1, 2021 pp. 2027-2033.

## Références bibliographiques

---

- **Stephou, V.K., Tjamos, S.E., Paplomatas, E.J., Athanassiou, C.G., 2012.** Transformation and attachment of *Beauveria bassiana conidia* on the cuticle of *Tribolium confusum* and *Sitophilus oryzae* in conjunction with diatomaceous earth. *Journal of Pest Science*, 85: 387–394. Prévention des ravageurs.
- **Suleiman, M., Majeed, Q. and Aiki, I. P., 2013.** Efficacy of Four Plant Powders against *Sitophilus zeamais* Motschulsky [Coleoptera: *Curculionidae*] On Sorghum Grains. *International Journal of Applied Research and Technology*. 2(6): 130 – 138.
- Swartz, S., 2019. Pest Prevention: The Foundation of Integrated Pest Management. Echo development notes (edn) | edn issue, 145.9p
- **Trousseau, A., Pidoux, H., 1870.** Traité de thérapeutique et de matière médicale. Book 8<sup>ème</sup> éd, 800p. Tome 2. Paris.
- **Ukoroije, R.B and Otoyoy, R.A., 2020.** Review on the Bio-insecticidal Properties of Some Plant Secondary Metabolites: Types, Formulations, Modes of Action, Advantages and Limitations, *Asian Journal of Research in Zoology*. 28-42P
- **Waongo, A., Yamkoulga, M., Dabir-Binso, C.L., Ba, M.N., Sanon, A., 2013.** Conservation post-récolte des céréales en zone sud-saoudienne du Burkina Faso: Perception paysanne et évaluation des stocks .*International Journal of Biological and Chemical Sciences*, P1157-1167.
- **Yang, Y., Isman, MB. and Tak, J-H., 2020.** Insecticidal Activity of 28 Essential Oils and a Commercial Product Containing *Cinnamomum cassia* Bark Essential Oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Insects* **2020**, 11, 474, Natural Products to Control Insect Pests.
- **Zahi, M.E.H., Mouhouche, F. and Hazzit, M., 2021.** Insecticidal activity of three essential oils combined to mineral substances against *tribolium confusum* duval 1868 (coleoptera, tenebrionidae) 10p. *Revue Agrobiologia* (2021) 11(1): 2336-2345.
- **Zidour, Z., 2019.** Etude des propriétés biologiques des huiles essentielles d'*Allium sativum*. l. extraits par procédé hybride innovant. Thèse de doctorat, 126p. Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
- **Zohry, N. M. H.; 2017.** Scanning Electron Morphological Studies of *Tribolium Confusum* Jacquelin Du Val (Coleopteran: Tenebrionidae). *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 78 (6): 13.

## Résumé

La présente étude a pour objectif la réalisation de l'extraction de trois huiles essentielles la cannelle (*Cinnamomum cassia*), de gingembre (*Zingiber officinale*) et l'ail (*Allium sativum*) et d'évaluer leur toxicité par inhalation et par répulsion sur les adultes de *Tribolium confusum* dans les conditions de laboratoire.

Nos résultats indiquent que l'huile essentielle de l'ail exerce une toxicité importante par inhalation sur les adultes de *T. confusum*. Tandis que les deux autres huiles essentielles n'ont aucun effet toxique sur les adultes de *T. confusum*. En effet, l'huile essentielle de l'ail entraîne une mortalité de 100%, après 24 h d'exposition à la dose de 20 µl.

Les trois huiles manifestent une activité répulsive à l'égard de ce ravageur, avec des pourcentages de répulsion de 38,33% pour l'huile essentielle de la cannelle 45,83% pour l'huile essentielle de gingembre et 64,16% pour l'huile essentielle de l'ail.

De ce fait, l'huile essentielle de l'ail peut être utilisée comme bioinsecticide, afin de réduire les pertes causées par ce ravageur dans les stocks.

**Mots-clés:** *Tribolium confusum*, huiles essentielles, bioinsecticide.

## Abstract

The present study aims to carry out the extraction of three essential oils cinnamon (*Cinnamomum cassia*), ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*) and to evaluate their toxicity by inhalation and by repulsion on adults of *Tribolium confusum* under laboratory conditions.

Our results indicate that garlic essential oil exerts significant inhalation toxicity on *T. confusum* adults. While the other two essential oils have no toxic effect on adults of *T. confusum*.

Indeed, garlic essential oil causes 100% mortality, after 24 hours of exposure to a dose of 20 µl.

The three oils show repellent activity against this pest, with repulsion percentages of 38.33% for cinnamon essential oil, 45.83% for ginger essential oil and 64.16% for garlic essential oil.

Therefore, garlic essential oil can be used as a bioinsecticide, in order to reduce losses caused by this pest in stocks.

**Keywords:** *Tribolium confusum*, essential oils, bioinsecticide.