

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 et contrôle des populations d'insectes.

### Thème

**Etude de l'activité bioinsecticide des huiles essentielles de menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) et de la marjolaine à coquilles (*Origanum majorana* L.) à l'égard de *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae).**

*Travail réalisé par:*

M<sup>lle</sup> KACEL Aziza

et

M<sup>lle</sup> BABA AHMED Lydia

*Devant le jury :*

**Présidente :** M<sup>me</sup> AOUAR. M

Professeur

UMMTO

**Promotrice :** M<sup>me</sup> AIT AIDER. F

MCCB

UMMTO

**Co-promotrice :** M<sup>lle</sup> KHELOUL. L

Docteur

UMMTO

**Examinatrice :** M<sup>lle</sup> AISSAOUI. F

Docteur

UMMTO

Promotion : 2021/2022



# 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 Mme Ait-Aider et notre Co-promotrice Melle Khelloul.*

*Nous les remercions vivement pour leur grande aide, leurs précieux conseils, la qualité de leur encadrement et leur disponibilité durant notre préparation. Nous exprimons notre profonde gratitude à Mr KELLOUCHE, d'avoir mis à notre disposition le matériel nécessaire pour l'accomplissement de notre travail.*

*Nous remercions M<sup>me</sup> AOUAR, Professeur à l'UMMTO 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.*



# 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 infaillible.

A mon frère,

Pour ton amour, ta compréhension, ta tendresse, tes encouragements permanents, et ton soutien moral, merci de si bien accomplir ton rôle. Je te dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que tu m'offres quotidiennement et ta bonté exceptionnelle.

A mes chers voisins,

Pour votre soutien permanent, merci d'être toujours là pour moi.

A mes oncles leurs familles et tous ceux qui m'ont encouragé.

A Tina et Yasmine, mes meilleures et uniques amies, je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mes pensées. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je te dédie ce travail et je te souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

A ma binôme Lydia, merci pour ton travail sérieux sans aucune plénitude, ta patience et ta compréhension.

*Aziza*





# 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 infaillible.

A ma précieuse sœur Ryma,

Pour ton amour, ta compréhension, ta tendresse, tes encouragements permanents, et ton soutien moral, merci de si bien accomplir ton rôle. Je te dédie ce travail en reconnaissance de l'amour que tu m'offres quotidiennement et ta bonté exceptionnelle.

A mon cher frère Sofiane,

Ton amour et ton affection ont été pour moi un exemple de persévérance. Je trouve en toi le conseil du frère et le soutien de l'ami. Que ce travail soit l'expression de mon estime pour toi et que Dieu te protège.

A mes chères cousines Lila et Fahima, vous m'avez toujours offert soutien et réconfort, j'exprime envers vous une profonde admiration, reconnaissance et un attachement indéfectible. Je vous dis merci et je vous souhaite bonheur, réussite et prospérité.

A mes chères tantes Zahia, Rabia, Lila et Hayat, aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre amour, soutien et encouragements. Que Dieu tout puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.

A Melissa Si Ahmed, ma meilleure et unique amie, je ne peux pas trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mes pensées. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je te dédie ce travail et je te souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

*Lydia*



## Liste des abréviations

°C .....	Degré Celsius
PR .....	Pourcentage de répulsion
µl .....	Microlitres
Cm .....	Centimètres
Mm .....	Millimètres
G .....	Grammes
GABA .....	Acide gamma-aminobutyrique
Tr .....	Traité
Nt .....	Non traité
ANOVA .....	Analysis of variance

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Histologie d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005). .....	3
<b>Figure 2:</b> Les œufs de <i>T. confusum</i> avec amas alimentaires (G:40×2) (Abahri, 2017). .....	7
<b>Figure 3:</b> La larve de <i>T. confusum</i> (G:40×2) (Originale, 2022). .....	8
<b>Figure 4:</b> La nymphe de <i>T. confusum</i> (G:40×2) (Originale, 2022). .....	9
<b>Figure 5:</b> L'adulte de <i>T. confusum</i> vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) (G:40×2) (Originale, 2022). .....	10
<b>Figure 6:</b> Image de distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de <i>T. confusum</i> (Anonyme, 2018). .....	11
<b>Figure 7:</b> Les dégâts de <i>T. confusum</i> sur la semoule (Originale, 2022). .....	12
<b>Figure 8:</b> Schéma du dispositif de distillation par entrainement à la vapeur d'eau (Li et al., 2014) .....	18
<b>Figure 9:</b> Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Tongnuanchan et al., 2014) .....	19
<b>Figure 10:</b> Photo démonstrative de l'enfleurage (Donahue, 2016). .....	20
<b>Figure 11:</b> Photo démonstrative de l'expression à froid (Louis-Jeune, 2020). .....	20
<b>Figure 12:</b> La menthe poivrée ou <i>Mentha piperita</i> (Originale, 2022). .....	26
<b>Figure 13:</b> Les parties aériennes d' <i>Origanum majorana</i> (Prerna et vasudeva, 2015). .....	28
<b>Figure 14:</b> (A) tamis, (B) balance électronique, (C) autres matériels, (D) micropipette, (E) étuve obscure, (F) loupe binoculaire (Originale, 2022). .....	32
<b>Figure 15:</b> Elevages de masse de <i>T. confusum</i> (Originale, 2022). .....	36
<b>Figure 16:</b> Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> traités par les différentes doses des deux huiles essentielles (Originale, 2022). .....	37
<b>Figure 17:</b> Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2022). .....	39
<b>Figure 18:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes ± écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle d' <i>O. majorana</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition. ....	42
<b>Figure 19:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes ± écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de <i>M. piperita</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition. ....	43
<b>Figure 20:</b> Taux de mortalité (%) (Moyenne ± écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités avec la mixture marjolaine à coquilles × Menthe poivrée, par inhalation, après 24h. ....	46
<b>Figure 21:</b> Taux moyen d'adultes de <i>T. confusum</i> émergents (moyennes ± écart-type) dans les lots traités par inhalation avec l'huile essentielle d' <i>O. majorana</i> . ....	50
<b>Figure 22:</b> Taux moyen d'adultes de <i>T. confusum</i> émergents (moyennes ± écart-type) dans les lots traités par inhalation avec l'huile essentielle de <i>M. piperita</i> . ....	51

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Composition chimique du grain de blé (Feillet, 2000). .....	5
<b>Tableau 2:</b> Les différentes semoules consommées en Algérie (Ben Belkacem et al., 1995)...	5
<b>Tableau 3:</b> Classification botanique de <i>Mentha piperita</i> selon Cronquist (1981). .....	26
<b>Tableau 4:</b> Position systématique d' <i>Origanum majorana</i> (Figueredo, 2007). .....	29
<b>Tableau 5:</b> Caractéristiques des deux huiles essentielles de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquilles.....	34
<b>Tableau 6:</b> Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et al. (1970). .....	40
<b>Tableau 7:</b> Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> . .....	44
<b>Tableau 8:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des deux huiles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> . .....	44
<b>Tableau 9:</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> . .....	45
<b>Tableau 10:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps sur les adultes de <i>T. confusum</i> . .....	45
<b>Tableau 11:</b> Résultats de l'analyse de la variance du paramètre émergence des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec les huiles essentielles de marjolaine à coquilles et de menthe poivrée. ....	52
<b>Tableau 12:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur dose (F1), sur l'émergence des adultes de <i>T. confusum</i> . .....	52
<b>Tableau 13:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps (F2), sur l'émergence des adultes de <i>T. confusum</i> . .....	53
<b>Tableau 14:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des deux huiles essentielles (F3) testées sur l'émergence des adultes de <i>T. confusum</i> . .....	53
<b>Tableau 15:</b> Taux moyen de répulsion des huiles essentielles d' <i>O. majorana</i> et de <i>M. piperita</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et leur classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970). .....	55
<b>Tableau 16:</b> Résultats de l'analyse de la variance pour les tests par répulsion avec les deux huiles essentielles. ....	56
<b>Tableau 17:</b> Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet du facteur dose des deux huiles essentielles testées par répulsion sur les adultes de <i>T. confusum</i> . .....	56
<b>Tableau 18:</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> . .....	56
<b>Tableau 19:</b> Taux moyen de répulsion de la mixture des deux huiles essentielles d' <i>O. majorana</i> et de <i>M. piperita</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et son classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970). .....	57

# Sommaire

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction..... 1**

**Partie I : Synthèse bibliographique**

## **Chapitre 1: Généralités sur le blé**

1. Présentation de la plante hôte : Le blé du..... 3

1.1. Quelques généralités sur le blé dur..... 3

1.2. Taxonomie du blé dur ..... 3

2. Semoule de blé dur ..... 4

2.1. Transformation du blé dur en semoule..... 4

2.2. Définition ..... 4

2.3. La composition biochimique ..... 4

2.4. Les différents types de semoule ..... 5

## **Chapitre 2: Présentation de l'insecte étudié *Tribolium confusum***

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés ..... 6

2. Position systématique..... 6

3. Appellation ..... 7

4. Origine et répartition géographique ..... 7

5. Description des différents stades de développement du *T. confusum* ..... 7

6. La distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de *Tribolium confusum*

..... 10

7. Biologie de <i>Tribolium confusum</i> .....	11
8. Régime alimentaire et dégâts .....	12
9. Les ennemis naturels de <i>T. confusum</i> .....	13
10. Les moyens de lutte contre le <i>T. confusum</i> .....	13
10.1. La lutte préventive.....	13
10.2. La lutte curative.....	13
10.3. La lutte chimique.....	14
10.4. La Lutte biotechnologique.....	14
10.5. La lutte biologique .....	14
10.6. La phytothérapie.....	15

### **Chapitre 3: Les huiles essentielles**

1. Définition .....	16
2. Historique .....	16
3. Modes d'extraction.....	17
3.1. Distillation.....	17
3.1.1. Entraînement à la vapeur d'eau.....	17
3.1.2. Hydro-distillation .....	18
3.2. Enfleurage .....	19
3.3. Expression à froid.....	20
4. Composition chimique des huiles essentielles responsables de l'activité insecticide .....	21
5. Modes d'action des huiles essentielles sur les ravageurs des denrées stockés .....	22
6. Les insecticides d'origine botanique .....	22

## **Chapitre 4: Présentation des plantes aromatiques étudiées**

1. Menthe poivrée ( <i>Mentha piperita</i> ) .....	25
1.1. Origine, culture et distribution de la plante .....	25
1.2. Description botanique .....	25
1.3. Position systématique .....	26
1.4. Utilisation thérapeutique et traditionnelle .....	27
2. Marjolaine à coquilles ( <i>Origanum majorana</i> ).....	27
2.1. Origine, culture et distribution .....	27
2.2. Description botanique .....	28
2.3. Position systématique .....	29
2.4. Utilisation thérapeutique .....	29

## **Partie II : Expérimentale**

### **Chapitre 5: Matériels et méthodes**

1. Matériels.....	31
1.1. Matériels de laboratoire.....	31
1.2. Matériel biologique .....	32
1.2.1. Matériel animal ( <i>T. confusum</i> ) .....	32
1.2.2. Matériel végétal.....	33
2. Méthodes .....	35
2.1. Élevage de masse.....	35
2.2. Test d'inhalation.....	36
2.3. Test de répulsivité .....	38
3. Analyse statistique.....	41

## Chapitre 6: Résultats et discussions

1. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de <i>T. confusum</i> par inhalation.....	42
1.1. Effet de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles ( <i>O. majorana</i> ) à l'égard de <i>T. confusum</i> .....	42
1.2 Effet de l'huile essentielle de la menthe poivrée ( <i>M. piperita</i> ) à l'égard de <i>T. confusum</i> .....	43
1.3. Résultats relatifs à l'effet des traitements sur les émergences des adultes de la première génération de <i>T. confusum</i> .....	49
a) L'effet du traitement avec l'huile essentielle d' <i>O. majorana</i> sur l'émergence des adultes de <i>T. confusum</i> .....	49
b) L'effet du traitement avec l'huile essentielle de <i>M. piperita</i> sur l'émergence des adultes de <i>T.confusum</i> .....	50
2. Résultat des tests par répulsion des deux huiles essentielles de marjolaine à coquilles et de menthe poivrée sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....	54
<b>Conclusion</b> .....	<b>60</b>

### Références bibliographiques

### Résumé

## Introduction

---

Lorsque les aliments frais ne sont pas disponibles, les humains consomment des aliments céréaliers stockés (blé, semoule, farine, orge, céréales...). Ces derniers occupent une partie importante ou majoritaire dans l'alimentation humaine et constituent le groupe de produits agricoles les plus échangés sur les marchés internationaux.

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 denrées stockées sont fortement exposées aux attaques des insectes ravageurs, parmi eux, *Tribolium confusum* (Jacqueline Duval) (Coleoptera : Tenebrionidae). Ces ravageurs causent des dommages aux grains entraînant ainsi des pertes à la fois qualitatives et quantitatives. La principale raison de leur apparition est la présence de climats favorables à leur croissance et à leur survie. Certains ravageurs commencent à endommager les graines au stade de la maturation et continuent pendant le stockage (Pruthi et Singh, 1950).

De nos jours, pour lutter contre ces insectes, la lutte chimique qui consiste à utiliser des pesticides est le moyen le plus approprié, que ce soit sur les sols de culture ou dans les bâtiments de stockage. Mais plusieurs recherches de toxicologie, révèlent la répercussion de ces produits dangereux sur la santé humaine et sur l'environnement (Taibi et al., 2003; Delimi et al., 2015).

En effet, l'utilisation des pesticides provoque non seulement des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs, mais porte aussi préjudice sur l'environnement et sur la santé humaine. A ceci s'ajoute des problèmes tels que : le cout de l'insecticide, sa manipulation, son stockage etc. Face à ces divers problèmes relatifs à l'utilisation des pesticides chimiques, l'utilisation des biopesticides est susceptible d'offrir une solution alternative. De nombreuses recherches sont orientées vers ces moyens naturels (Munyuli, 2003; Mukendi et al., 2014; Kanana et al., 2018). Les paysans pratiquaient depuis des siècles, des techniques traditionnelles en ajoutant aux denrées les produits locaux tels que les minéraux, les huiles, les feuilles ou extraits des plantes pour leur protection contre les infestations multiples (Regnault-Roger, 2005).

Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces d'origine botanique et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes (Shaaya

## Introduction

---

et al., 1997). Les huiles essentielles détiennent actuellement une place importante dans les systèmes de lutte, leur rôle dans la recherche phytopharmaceutique dans certains pays du monde n'est plus à démontrer (Lahlou, 2004). Leur action toxique (par contact et inhalation), leur répulsivité, de même que leurs effets néfastes sur le potentiel reproducteur des insectes, ont été à maintes reprises prouvés.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à tester dans les conditions de laboratoire, l'effet bioinsecticide des huiles essentielles de deux plantes, la marjolaine à coquilles (*Origanum majorana*) et la menthe poivrée (*Mentha piperita*) par inhalation et par répulsion sur les adultes de l'insecte ravageur *T. confusum*.

Notre travail s'articule autour de deux parties :

- **Partie I : synthèse bibliographique**

Cette partie introduit et explicite les différents termes abordés dans ce mémoire. Elle comprend quatre chapitres traitant de la plante hôte : le blé dur, l'insecte ravageur : *Tribolium confusum*, un bref aperçu sur les huiles essentielles et une présentation des deux plantes aromatiques testées.

- **Partie II : expérimental, comprends :**

-Chapitre 1 : matériel et méthodes fait le bilan précis des outils, concept et équipements utilisés au cours de ce travail.

-Chapitre 2 : résultats et discussions : dans ce chapitre, nous nous consacrons dans un premier temps à l'explication des résultats expérimentaux obtenus pour l'étude de l'effet direct par les tests de toxicité, mis en valeur par des analyses statistiques, et en deuxième temps à la discussion qui permettra d'insérer les résultats obtenus dans la problématique d'ensemble et de montrer leur pertinence.

Notre travail s'achève par une conclusion générale ainsi que des perspectives.



## 1. Présentation de la plante hôte : Le blé dur

### 1.1. Quelques généralités sur le blé dur

Le blé dur est une céréale de la famille des Graminées, une culture annuelle qui comprend plus de 10 000 espèces différentes. Cette dernière est cultivée depuis les temps préhistoriques par les peuples des régions tempérées pour l'alimentation. La culture du blé dur est largement répartie sur tous les continents, mais on la retrouve présente en Europe et en Asie principalement (Simon, 1989). Le blé dur appartient à la classe des monocotylédones et au genre *Triticum*.

Ses épis sont barbu, la paille souple et fragile et ses feuilles sont larges, il a une amande dure à texture vitreuse (comme le riz) et se fragmente en semoule (Figure 1) (Soltner, 2005).

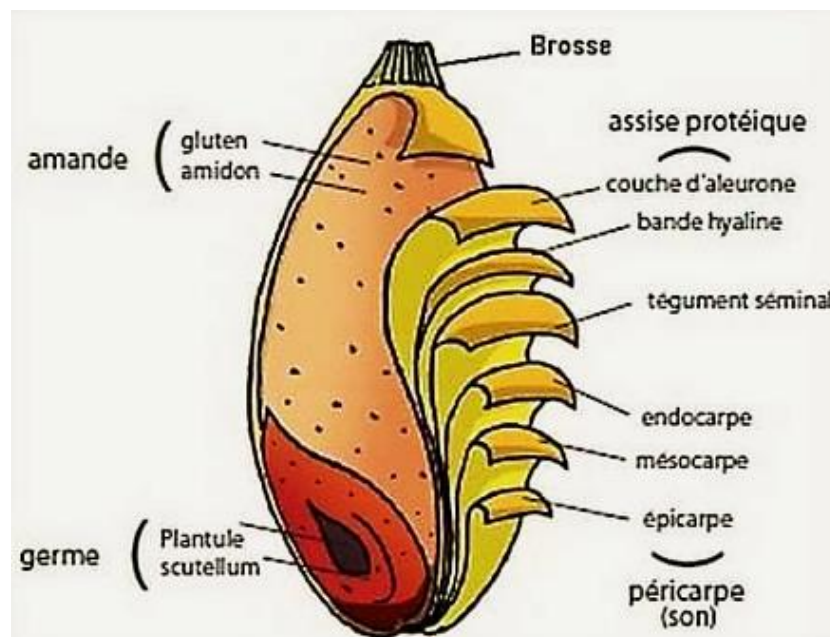


Figure 1: Histologie d'un grain de blé (Surget et Barron, 2005).

### 1.2. Taxonomie du blé dur

Selon Ozenda (2000), le blé est classé comme suit :

- **Règne** : Plantae.
- **Sous règne** : Cormophytes.
- **Embranchement** : Spermaphytes.
- **Sous-embranchement** : Angiospermes.

- **Classe** : Monocotylédones.
- **Ordre** : Poales.
- **Famille** : Poaceae.
- **Genre** : *Triticum*.
- **Espèce** : *Triticum durum* (Desf.)

## 2. Semoule de blé dur

### 2.1. Transformation du blé dur en semoule

La semoule correspond à des morceaux de grains qui sont plus ou moins vêtus d'enveloppes (Doumandji et al., 2003). Le processus de transformation du blé en semoule commence d'abord par deux nettoyages pour débarrasser le blé dur de ses impuretés avant de le stocker en silos. La deuxième étape consiste à trier les grains selon leur taille, leur forme et leur poids. Puis, ses derniers, sont conditionnés en deux étapes : l'humidification qui modifie la structure de l'endosperme et le repos pour préparer les enveloppes avant la mouture. La teneur en eau au départ est de égale à 11 ou 12% puis le grain est humidifié jusqu'à 16 ou 17%. Après la mouture, la semoule est récupérée puis conditionnée. Plusieurs sous-produits sont obtenus comme les "finots" (semoules très fines et très pures), les "gruaux" (gros grains de blé dépouillés de leur enveloppe) et les "issues" comme le son et les pailles (Ikhlef et Laouar, 2020).

### 2.2. Définition

Le Codex Alimentarius définit la semoule comme « le produit préparé à partir de grains de blé dur, par les procédés de fraisage ou de broyage qui consistent à éliminer essentiellement le son et le germe, le reste est broyé à un degré adéquat de finesse » (Codex Alimentarius Standard, 178-1991).

La semoule est constituée par des fragments de l'amande du grain dont la taille géométrique est supérieure à 150 µm (Abecassis et al., 2010).

### 2.3. La composition biochimique

Le grain de blé se compose principalement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain. Il comprend également 10 à 15 % de protéines et 8 à 10 % de pentosanes (polysaccharides non amylacés) principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (Tableau 1). Les protéines se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Feillet, 2000).

Les grains d'amidon sont piégés dans une matrice de protéines. La texture des grains de semoule résulte de la force de cette liaison protéine-amidon. Cette dernière se rompt facilement lorsque le blé est broyé (Hoseney, 1994).

Neron (2000) a rajouté que le taux d'amylose conditionne les propriétés rhéologiques de l'amidon au cours de sa transformation.

**Tableau 1: Composition chimique du grain de blé (Feillet, 2000).**

Nature des composants	Teneur (%ms)
<b>Protéines</b>	10-15
<b>Amidon</b>	67-71
<b>Pentosanes</b>	8-10
<b>Cellulose</b>	2-4
<b>Sucre libre</b>	2-3
<b>Lipides</b>	2-3
<b>Matières minérales</b>	1,5-2,5

#### 2.4. Les différents types de semoule

Il existe plusieurs types de semoule définis principalement d'après leur granulométrie qui varie en fonction du marché et des usages locaux. Les différentes catégories de semoule commercialisées en Algérie sont données dans le (Tableau 2).

**Tableau 2: Les différentes semoules consommées en Algérie (Ben Belkacem et al., 1995).**

Type de semoule	Granulométrie	Destination
SE (semoule extra)	150 à 500	Fabrication des pâtes alimentaires
SGM (semoule grosse Moyenne)	500 à 800	Vendues en l'état pour l'utilisation ménagère, (couscous, galettes)
SG (semoule grosse)	>800	Destinée essentiellement à la fabrication du couscous gros



## 1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés

Les Ténébrionidés constituent l'une des plus vastes familles du règne animal (plus de 15 000 espèces décrites), la couleur des adultes est généralement foncée. Certains Ténébrionidés sont fréquents dans les lieux sombres (caves et celliers, placards des cuisines). Les adultes présentent une grande variété d'aspects, en revanche, les larves ont une forme cylindrique, leur tégument est généralement sclerotinisé. Un certain nombre de ténébrionidés ont été signalés comme nuisibles sur les plantes cultivées et d'autres sur les denrées alimentaires stockées, parmi eux le genre *Tribolium* qui comprend deux espèces principales *T. castaneum* Herbst et *T. confusum* Duval (Delobel et Tran, 1993).

Le *T. confusum* est un coléoptère de couleur brun rougeâtre brillant, il a un corps allongé et ovale d'une longueur de 2,2 à 4,4 mm. La tête et les parties supérieures du thorax sont densément couvertes de piqûres minuscules, ses élytres sont striés dans le sens de la longueur avec de rares ponctuations entre les stries. Les antennes du *Tribolium* s'élargissent progressivement vers la pointe, produisant une massue à quatre segments (Camara, 2009).

Ce ravageur commun 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. Position systématique

Selon Lepesme (1944), *Tribolium 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).

### 3. Appellation

Cette espèce a été décrite pour la première fois par Jacquelin Duval (1868). Le nom commun attribué à ce ravageur en langue française est le Tribolium brun de la farine.

Dans d'autres langues courantes, ce ravageur est connu sous le nom de confused flour beetle, mason beetle en Anglais, «*Tribolio confuso* » escarabajo americano de la harina en espagnol (Delobel et Trans, 1993).

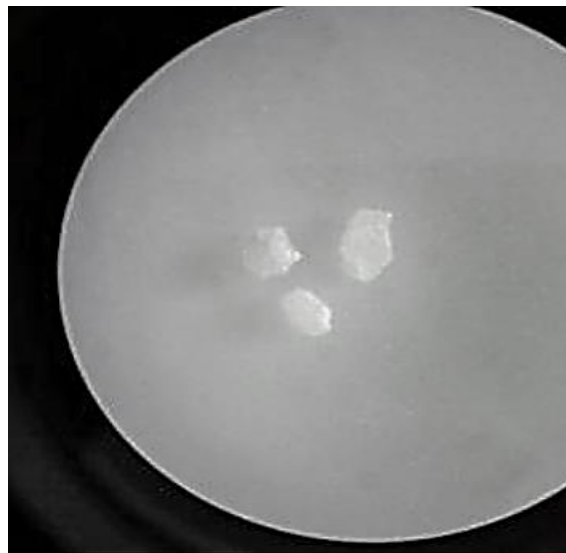
### 4. Origine et répartition géographique

Le Tribolium est d'origine Indo-Australienne (Smith et Whitman, 1992). L'aire de répartition de *T. confusum* est très vaste à travers le monde. Il est généralement distribué dans le monde entier.

Selon Lapesme (1944), cette espèce préfère les régions tempérées et remonte assez loin dans le nord de l'Europe et de l'Amérique.

### 5. Description des différents stades de développement du *T. confusum*

**-L'œuf :** Il est ovalaire et mesure en moyenne 0,6 mm de long (Steffan, 1978). Il est long blanchâtre et presque transparent, sa surface est lisse, elle est recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet d'adhérer à la denrée infestée (Lapesme, 1944) (Figure 2).



**Figure 2 :** Les œufs de *T. confusum* avec amas alimentaires (G:40×2) (Abahri, 2017).

**-La larve :** Elle est de couleur jaunâtre, vermiforme et son corps est recouvert d'un tégument assez mou, taché de jaune sur le dessus et couvert de nombreuses soies. Ce dernier

s'achève par une paire d'urogomphes de couleur rousse. Le nombre de mues est de 4 au minimum, 11 au maximum, varient selon de nombreux facteurs : température, humidité, qualité de l'alimentation, etc. (Steffan, 1978) (Figure 3).



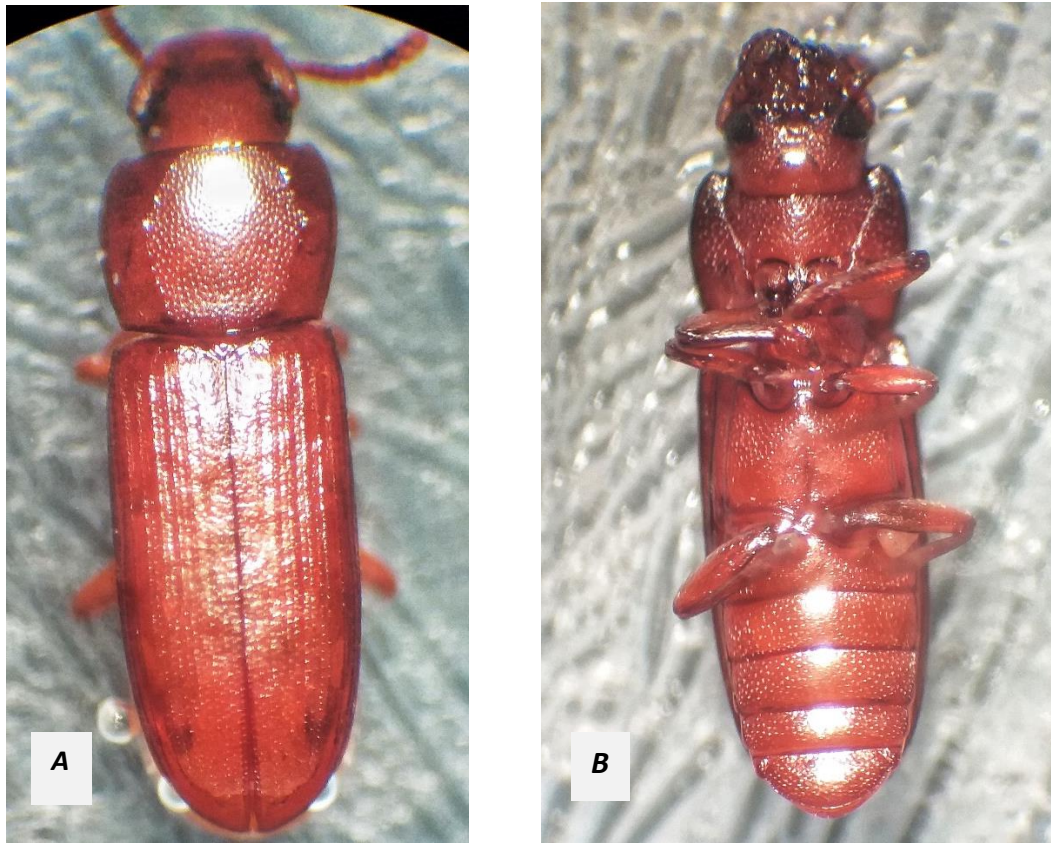
**Figure 3 : La larve de *T. confusum* (G:40×2) (Originale, 2022).**

**-La nymphe :** Elle est nue d'une couleur blanche à jaune pâle avec une tête déprimée sous le pronotum. La puppe mâle mesure environ 3,25 - 4,15 mm de longueur (du bord antérieur du pronotum jusqu'aux urogomphes) et 0,95 - 1,25 mm de largeur, tandis que la puppe femelle est d'une longueur d'environ 3,6 - 4,0 mm et d'une largeur d'environ 0,25 - 1 mm. L'abdomen nymphal conique est le dernier segment qui a deux structures pointues, ce sont les urogomphes (Figure 4) (Zohry, 2007).



**Figure 4 : La nymphe de *T. confusum* (G:40×2) (Originale, 2022).**

**-L'adulte ou l'imago :** Les adultes de *T. confusum* sont des coléoptères allongés, brun rougeâtre dont la longueur du corps varie de 4,0 à 4,5 mm et la largeur de 1,0 à 1,2 mm. Les mâles et les femelles sont morphologiquement indiscernables. La tête est visible de dessus et le thorax légèrement parallèle à ses côtés. Les pattes sont courbées, les tarsi postérieurs sont formés de quatre articles et l'antenne composée de 11 anneaux ont une forme cylindrique (Zohry, 2007) (Figure 5).



**Figure 5 : L'adulte de *T. confusum* vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) (G:40×2) (Originale, 2022).**

### **6. La distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de *Tribolium confusum***

Les Triboliums adultes mâles et femelles sont pratiquement identiques. Le sexage des coléoptères se fait habituellement au stade pupale, où les mâles et les femelles ont des caractéristiques différentes. Tout sexage doit être fait sous un microscope optique, puisque les coléoptères de la farine sont minuscules et leurs appendices sont encore plus petits. La nymphe doit être sur son dos avec la face ventrale vers le haut. Au bout de l'abdomen, il y a les urogomphes. Sur le dessus des urogomphes et un peu plus loin l'abdomen il y a deux petites projections plus petites appelées les papilles génitales. Sur les femelles, les papilles génitales sont pointées, avec deux points plus foncés sur la pointe de chacune, et à peu près la moitié de la taille de l'urogomphes. Chez les mâles, les papilles génitales sont trapues, jointes et à peine perceptibles (Anonyme, 2018) (Figure 6).

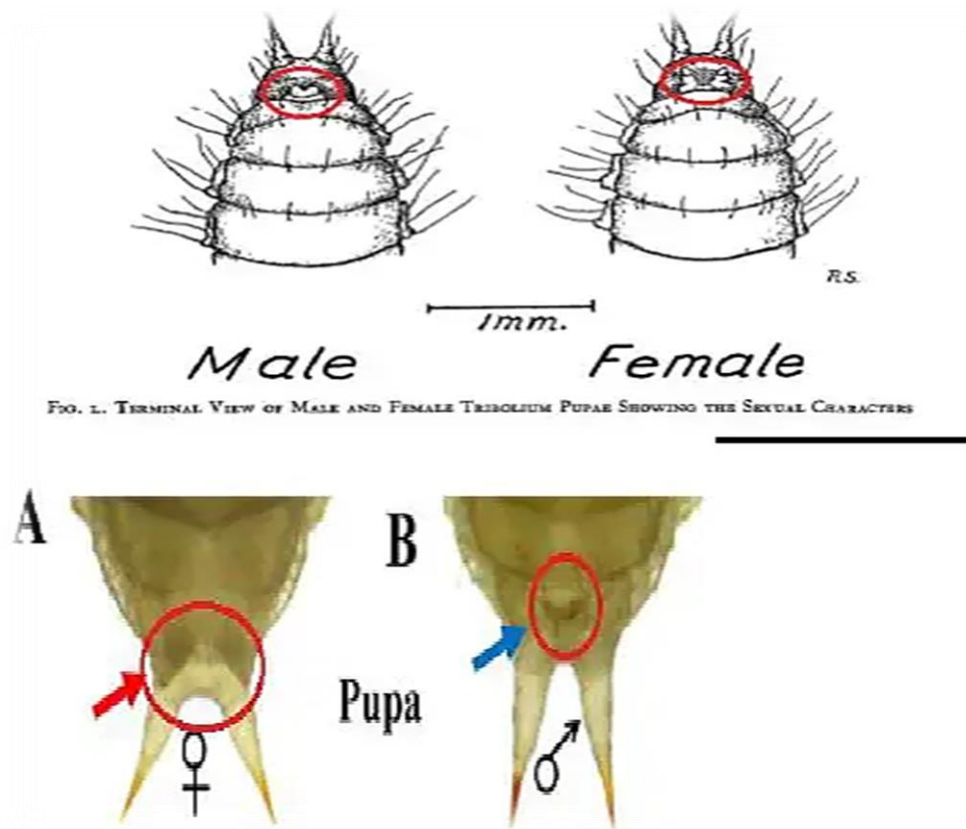


Figure 6: Image de distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de *T. confusum* (Anonyme, 2018).

### 7. Biologie de *Tribolium confusum*

Les femelles sont très prolifiques, elles pondent environ 450 œufs sur les matières alimentaires (farine, grains cassés) auxquelles ils adhèrent grâce à une sécrétion collante, dans des conditions optimales de 30 ou 33°C pour 70% d'humidité relative. La longévité de l'insecte dépasse généralement 6 mois et peut atteindre 4 ans. Les œufs éclosent au bout de 5 à 12 jours, ils sont déposés en vrac sur les graines et sont difficiles à déceler, les larves circulent librement dans les denrées infestées et puis se nymphosent (Delobel et Tran, 1993).

Le premier accouplement a lieu environ 2 jours après l'émergence des imagos et dure de 3 à 15 minutes. Les jeunes larves passent par 5 à 12 stades larvaires selon des conditions de température et d'humidité. Les larves circulent librement dans la denrée infestée où elles se nymphosent en petites nymphes nues blanches qui deviennent graduellement jaunes puis brunes. L'émergence de l'adulte a lieu six jours après la nymphose à 32,5°C et une humidité relative de 70 %, la durée du cycle est de 24 à 26 jours. C'est une espèce dont l'optimum thermique se situe entre 32°C et 35 °C. Son développement s'arrête au-dessous de 22°C, le cycle évolutif est fortement prolongé en temps froid. En absence d'alimentation, *T. confusum* exerce le cannibalisme, il dévore les œufs et les larves de son congénère (Steffan in Scotti, 1978).

### 8. Régime alimentaire et dégâts

Le *Tribolium* recherche surtout les denrées amylacées pulvérulentes comme la farine, le son, les issues... etc (Lepesme, 1944). Les adultes sécrètent une substance riche en quinones, elle 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).

D'après Steffan (in Scotti, 1978), les adultes sont très polyphages, ce sont des cléthrophages secondaires, car les larves et les adultes se nourrissent surtout de brisures, elles attaquent les grains endommagés. Souvent, l'infestation par le *Tribolium* favorise le développement de moisissures, qui contribuent à réduire considérablement la qualité et la valeur du grain (Figure7).

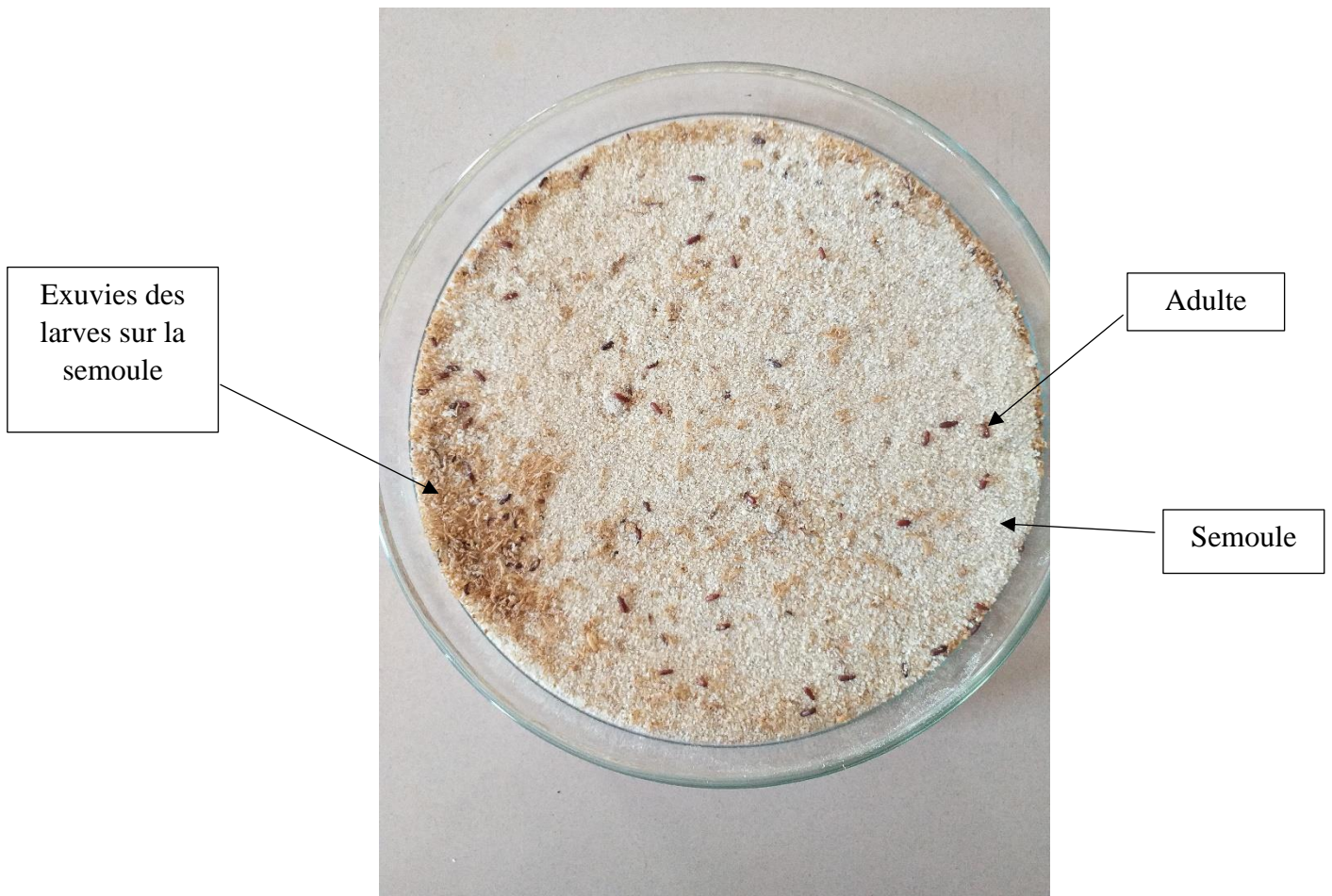


Figure 7 : Les dégâts de *T. confusum* sur la semoule (Originale, 2022).

## 9. Les ennemis naturels de *T. confusum*

Selon Lepesme (1944), quelques arthropodes tendent à limiter l'activité des Triboliums en particulier les acariens et Béthylides :

- **Les acariens :**

- *Pediculoides ventricosus*.

- *Acarophenax tribolii* Newp.et Duv.

- *Blattisocius keegani* et *Blattisocius tarsalis* (prédateurs des œufs).

- **Les Béthylides : (Ordre : Hymenoptera)**

- *Holepyris syvanidis* (syn : *Rhabdepyris zea*) et *Scleroderma immigrans* Bridw qui parasitent les larves.

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

Il existe plusieurs méthodes différentes de lutte et de prévention contre le *T.confusum*:

### 10.1. La lutte préventive

Cette méthode consiste en une hygiène rigoureuse des moyens de transport, et des machines de récolte. Un nettoyage convenable est recommandé dans les locaux de conservation ainsi qu'une vérification des crevasses et des endroits qui peuvent recouvrir des insectes. Les grains doivent être séchés avant le stockage. Ces mesures sont indispensables pour réduire ou empêcher toute infestation (Ducom, 1982 in Semsar, 2013).

### 10.2. La lutte curative

#### ➤ La lutte physique

La lutte physique fait appel au froid, à la chaleur, aux radiations ionisantes et aux matières inertes (Fleurat-Lessard, 1987).

- **La chaleur :** Les insectes sont sensibles aux températures élevées, il suffit de leur imposer une température de 55°C durant quelques minutes pour détruire les adultes (Labeyrie, 1962). La température de 34°C provoque un taux de mortalité de 65% et les adultes formés sont anormaux (Serpeille, 1991).
- **Le froid:** Les basses températures ralentissent l'activité biologique et provoquent la mort de certains ravageurs. À une température inférieure à 6°C, la larve ne peut pas pénétrer à l'intérieur de la graine (Serpeille, 1991 in Semsar,

2013). À une température de -1°C, les insectes ne peuvent pas survivre plus d'un mois (Labeyrie, 1962 in Semsar, 2013).

- **Stockage sous atmosphère inerte** : Le stockage sous les gaz carboniques et l'Azote, ne laisse aucune chance pour les insectes de survivre (Gwinner et al., 1996 in Semsar, 2013). Il s'agit d'abaisser le taux d'oxygène de l'atmosphère inter granulaire jusqu'à un taux létal pour les insectes (<1% d'O<sub>2</sub>) (Semsar, 2013).

### 10.3. La lutte chimique

L'utilisation des produits phytosanitaires pour la lutte contre les ravageurs des denrées stockées est le moyen le plus utilisé et le plus efficace. Cela malgré les problèmes de résistance qu'elle provoque chez l'insecte et malgré les effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine (Dajoz, 2002 in Semsar, 2013). La lutte chimique comprend les fumigants et les insecticides de contact.

- **Les fumigants** : Les insecticides à forte tension de vapeur sont des fumigants. Ils sont destinés à un traitement curatif de choc qui atteint même les formes cachées des insectes. Ils détruisent rapidement le développement des œufs, des larves et des nymphes des insectes ravageurs contenus dans les grains (Kellouche, 1987 in Semsar, 2013).
- **Les insecticides de contact** : Le substrat est recouvert d'une pellicule de produit insecticide (les organochlorés, les organophosphorés, les pyréthrinoides de synthèse ou les carbamates) qui agit plus ou moins rapidement et plus ou moins longtemps sur les insectes (Dajoz, 2002 in Semsar, 2013).

### 10.4. La Lutte biotechnologique

Les moyens utilisés dans cette méthode sont les phéromones de synthèse qui provoquent un dérèglement du comportement des adultes par confusion de substances odorantes répulsives. Ces régulateurs de la croissance des Insectes (IRG) sont efficaces à tel point que la descendance devient incapable de se reproduire (Gwinner et al., 1996 in Semsar, 2013).

### 10.5. La lutte biologique

Les moyens biologiques consistent notamment à réduire les populations des insectes ravageurs, en utilisant leurs ennemis naturels tels que les prédateurs les parasites ou des

agents pathogènes (Bactéries, champignons...ect), ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales, des huiles végétales et des huiles essentielles (Seck, 1991).

### **10.6. La phytothérapie**

Selon Vincent et Coderre (1998), la phytothérapie joue un rôle très important dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Elle se base sur l'utilisation des parties actives des plantes appelées bio-insecticides, qui remplacent les insecticides chimiques nocifs pour l'humain et pour l'environnement. Ils se trouvent sous plusieurs formes :

- Extraits organiques et aqueux.
- Poudres de plantes.
- Huiles végétales.
- Huiles essentielles.

## 1. Définition

Les huiles essentielles, autrement dit les « essences » ou « essences aromatiques végétales » sont des substances liquides, odorantes, volatiles et de consistance huileuse contenues dans des plantes (Lardry et Haberkorn, 2003).

Ces dernières sont des mélanges naturels complexes de métabolites secondaires volatils (Kalemba et Kunicka, 2003). Elles sont extraites à partir de différentes parties de la plante (feuilles, graines, bourgeons, fleurs de brindilles, écorces, bois, racines, tiges ou de fruits) par divers procédés, mais également à partir de gommés qui s'écoulent du tronc des arbres (Burt, 2004).

Au point de vue chimique, il s'agit de mélanges extrêmement complexes. Les huiles essentielles (HE) sont constituées de différents composants terpènes, esters, cétones, phénols, et d'autres éléments (Benayad, 2013).

Les huiles essentielles doivent leur nom à ce qu'elles sont très réfringentes, hydrophobes et lipophiles. Elles ne sont que très peu solubles ou pas du tout dans l'eau et on les retrouve dans le protoplasme sous forme d'émulsion plus ou moins stable qui tend à se collecter en gouttelettes de grosse taille. Par contre, elles sont solubles dans les solvants des lipides (acétone, sulfure de carbone, chloroforme, etc.) et dans l'alcool (Benayad, 2013).

## 2. Historique

L'utilisation des plantes aromatiques remonte à la nuit des temps. Que ce soit à des fins domestiques, alimentaires ou dans un but thérapeutique évident, l'homme s'est toujours intéressé dans son environnement, à cette source végétale généreuse et accessible (Laguerre, 2015).

Les huiles essentielles sont connues depuis des millénaires pour leur action bénéfique sur l'homme. Quatre mille ans avant J.C, les égyptiens utilisaient déjà les huiles comme parfums dans les momifications des corps. Il faudra attendre le XVI<sup>ème</sup> siècle pour voir apparaître la généralisation de la production et de l'utilisation des huiles essentielles, grâce aux travaux sur les huiles essentielles de romarin, de bois de genévrier, de lavande (Lamaty et al., 1997).

Selon Ntezurubanza (2000), l'histoire de l'aromathérapie, qui est celle des huiles essentielles, peut se résumer en quatre époques suivantes :

- L'époque où les plantes aromatiques ont été utilisées telles quelles ou sous forme d'infusion ou de décoction.

- Celle dans laquelle les plantes aromatiques étaient brûlées ou mises à infuser ou à macérer dans une huile végétale. À cette époque, intervient la notion d'activité liée à la substance odorante.

- La troisième époque correspond à la recherche de l'extraction de cette substance odorante. Apparaît alors le concept d'huile essentielle qui aboutit à la création et au développement de la distillation.

- Enfin la dernière, qui est la période moderne dans laquelle la connaissance des composants des huiles essentielles intervient et explique les effets physiques, chimiques, biochimiques, physiologiques, voire électroniques des arômes végétales.

### **3. Modes d'extraction**

L'obtention des huiles essentielles fait appel à différentes méthodes. La technique à employer devrait être choisie selon les caractéristiques de l'huile essentielle (Crespo et al., 1991).

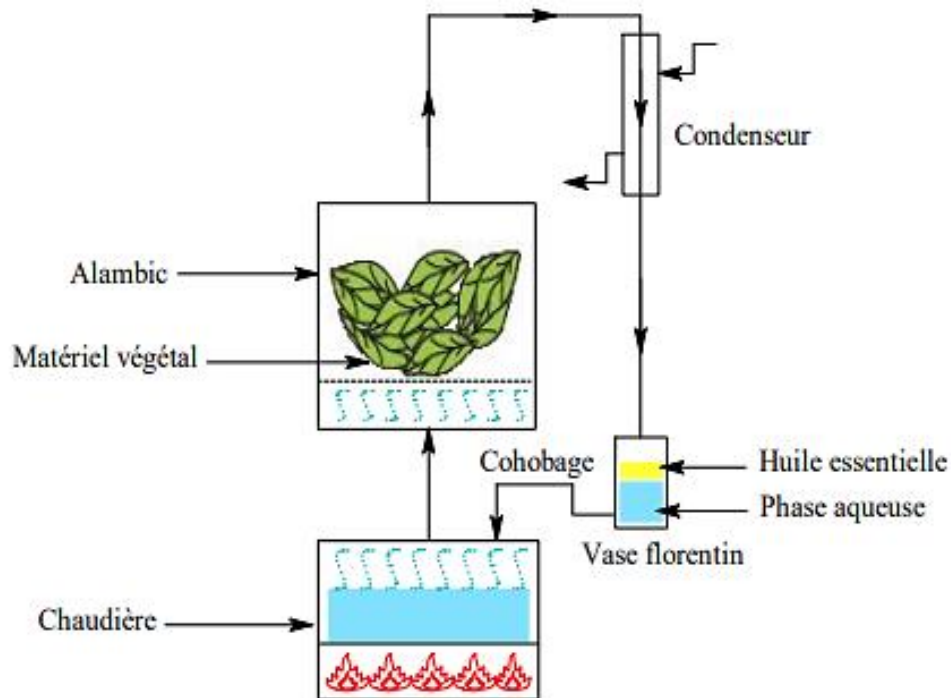
#### **3.1. Distillation**

De manière générale, la distillation est une technique de séparation qui se base sur la différence de densité entre un liquide et la vapeur engendrée. Elle implique la condensation de la vapeur et la récupération des fractions liquides résultantes (Garnero, 1996).

Il existe en effet deux différents procédés utilisant ce principe : l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydro-distillation.

##### **3.1.1. Entraînement à la vapeur d'eau**

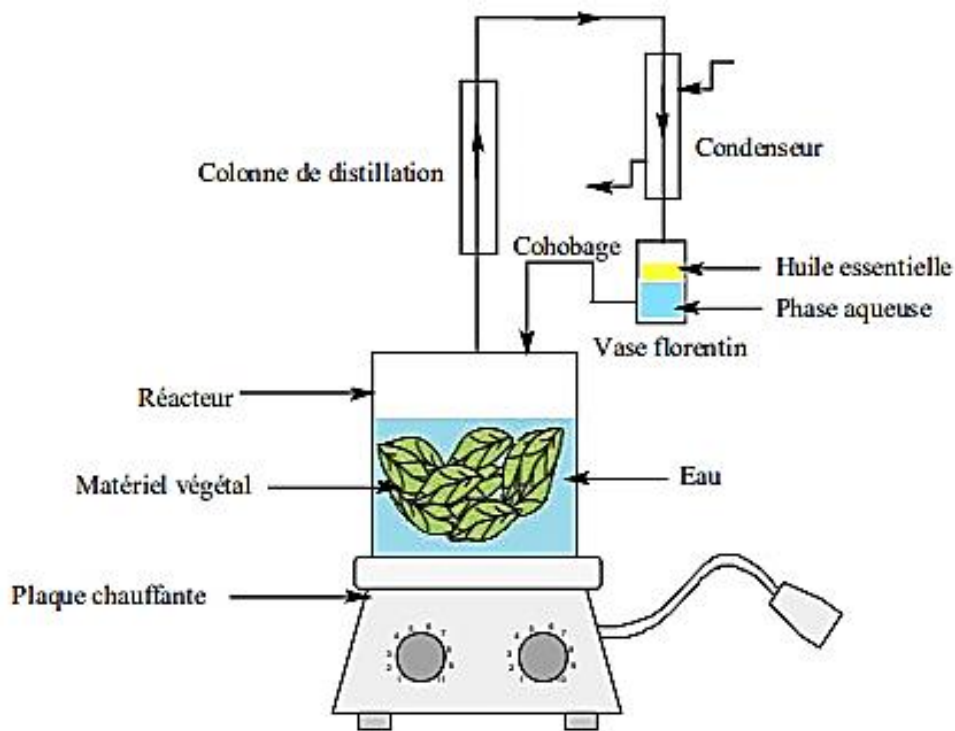
Le but de cette méthode est d'entraîner avec la vapeur d'eau les constituants volatils des produits bruts. La vapeur détruit la structure des cellules végétales, libère les molécules contenues et entraîne les plus volatiles en les séparant du substrat cellulosique. La vapeur chargée de l'essence de la matière première distillée, se condense dans le serpentin de l'alambic avant d'être récupérée dans un essencier (vase de décantation pour les huiles essentielles). Les parties insolubles dans l'eau de condensation sont décantées pour donner l'huile essentielle surnageante (Benayad, 2013) (Figure 8).



**Figure 8: Schéma du dispositif de distillation par entraînement à la vapeur d'eau (Li et al., 2014).**

### 3.1.2. 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) (Figure 9).



**Figure 9:** Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Tongnuanchan et al., 2014).

### 3.2. Enfleurage

L'enfleurage est l'un des plus anciens procédés. Il consiste à déposer les plantes en particulier les organes très fragiles (fleurs d'oranger, de jasmin, pétales de rose,...) qui ne supportent pas la chaleur entraînée par la distillation, sur une couche de graisse animale qui se sature en essence. On épuise ensuite le corps gras par l'alcool qui récupère les senteurs et qui sera ensuite évaporé sous vide. Ce procédé dure plusieurs jours le temps que l'huile essentielle soit absorbée par la graisse (France-Ida, 1996) (Figure 10).



**Figure 10: Photo démonstrative de l'enfleurage (Donahue, 2016).**

### **3.3. Expression à froid**

Un procédé purement mécanique, aussi appelé « pression à froid » ou « grattage », il s'agit du procédé d'extraction le plus simple et le plus limité : il est principalement utilisé pour les agrumes (citron, orange, mandarine, ...) (Buronzo, 2008). Le principe de cette technique est basé sur la rupture ou la dilacération des parois des sacs oléifères contenues dans l'écorce des fruits et sur la pression du contenu de ces sacs sur les parois (Lucchesi, 2005) (Figure 11).



**Figure 11: Photo démonstrative de l'expression à froid (John F et al., 2020).**

#### 4. Composition chimique des huiles essentielles responsable de l'activité insecticide

L'activité biologique d'une huile essentielle est liée à sa composition chimique, aux groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et à leurs effets synergiques (Dorman et Deans, 2000).

Les activités insecticides des huiles essentielles sont principalement attribuées aux monoterpénoïdes qui sont généralement volatils et lipophiles qui peuvent rapidement pénétrer dans les insectes et interférer avec leurs fonctions physiologiques (Reis et al., 2014). En outre, 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 (Tripathi et al., 2002).

Les huiles essentielles de plusieurs plantes aromatiques sont très riches en Camphène, 1,8-Cinéole, alpha-Thuyone, Isochrysanthone et bêta-Thuyone, ce qui explique ces propriétés insecticides. Ces composés ont été caractérisés par leur activité biocide et répulsive contre de nombreux ravageurs des denrées stockées (Kellouche et al., 2010 ; Mansour et al., 2015). Les huiles essentielles représentent une piste d'avenir et les recherches sur ce sujet sont nombreuses, les travaux d'Obeng-Ofori et al. (1997) ont pu démontrer des propriétés insecticides de 1,8-cinéole, le linalool, l'eugénol,  $\alpha$ -terpinéol et le cymol sur plusieurs insectes ravageurs primaires des céréales stockées en particulier sur *T. confusum*, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) et *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae).

Les travaux de Kordali et al. (2005) ont indiqué que le terpinen-4-ol est le composant le plus toxique aux adultes de *Sitophilus granarius* exposés à l'huile d'*Artemisia herba alba*. En outre, cette composante présente une toxicité prometteuse sur les charançons de riz (*Sitophilus oryzae* L.) et une toxicité relativement forte sur les larves et les adultes du coléoptère *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Ce même composé a été également signalé comme composé insecticide sur *T. confusum* (du Val) ainsi que sur *S. granarius*. Cavalcanti et al. (2004) ont mentionné que les monoterpénoïdes (eugénol et 1,8-cinéole) ont montré une bonne activité larvicide contre les insectes ravageurs des denrées stockées (Boukhalfa et al., 2020).

Dans certains cas, l'utilisation des huiles essentielles dans le domaine phytosanitaire peut s'avérer délicate en raison de la multiplicité des profils photochimiques qu'elles présentent (Roger et al., 2002).

### **5. Modes d'action des huiles essentielles sur les ravageurs des denrées stockés**

Les activités des huiles essentielles décrites sur les insectes des denrées stockées sont variées : larvicides, adulticides, répulsifs ou inhibiteurs de croissance. Plusieurs travaux ont montré que la plupart des huiles essentielles agissent en perturbant la structure de la membrane cellulaire mais, pour certaines, des effets neurotoxiques ont pu être mis en évidence, dus à des interactions avec des neurotransmetteurs tels que le GABA (acide gamma-aminobutyrique) et l'octopamine, ou par inhibition de l'acétyl cholinesterase. Enfin, certaines huiles essentielles peuvent potentialiser l'action d'autres molécules en inhibant les cytochromes P450 qui, normalement les détoxifient (Iteipmai, 2013).

Par leur volatilité et leur petite taille, beaucoup des constituants des huiles essentielles interagissent avec les récepteurs d'odeur des insectes, déclenchant des comportements variés : fuite, attraction, oviposition, etc (Tripatji et al., 2009; Roger et al., 2012).

Bien que d'autres chercheurs rapportent que les mécanismes d'action des huiles essentielles sont d'ordre physiologique ou physique. Les huiles essentielles ont des effets anti appétant, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et acariens (Chiasson et Beloin, 2007). Bouzouita et al. (2008) ont prouvé que l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea* testée sur un insecte ravageur des denrées stockées *T. confusum* manifeste un effet anti appétant intéressant.

En général, les huiles essentielles sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus interférant avec les neurotransmetteurs des arthropodes (Fanny, 2008).

Des effets physiques de certaines huiles essentielles ont été mis en évidence. Isman (2000) suppose que les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous étant donné que plusieurs huiles essentielles semblent plus efficaces contre ce genre d'arthropodes.

### **6. Les insecticides d'origine botanique**

Dans la recherche des méthodes alternatives de lutte, le règne végétal offre beaucoup de possibilités. Depuis l'Antiquité, les végétaux et produits végétaux ont été présentés à afficher

non seulement de leurs avantages pharmacologiques, mais d'autres propriétés biologiques, y compris les activités de pesticides (Auger et al., 2004; Khoshnoud et Khayamy, 2008).

Les plantes peuvent fournir des solutions de rechange potentielles aux agents actuellement utilisés contre les insectes parce qu'elles constituent une source riche en produits chimiques bioactifs. Beaucoup d'efforts ont été donc concentrés sur les matériaux dérivés de plantes pour les produits potentiellement utiles en tant qu'agents commerciaux de lutte contre les insectes (Kim et al., 2003). Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces d'origine botanique et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes (Shaaya et al., 1997).

Les plantes aromatiques et médicinales constituent une ressource naturelle renouvelable, c'est-à-dire que l'apparition ou la disparition des plantes se fait périodiquement et continuellement dans des saisons définies par la nature (Adli et Yousfi, 2015).

Parmi les 800 000 espèces de plantes prospérant sur la planète, un nombre relativement important synthétise des composants aromatiques. Parmi ces plantes, certaines (seulement 10 %) sont dites aromatiques et capables de produire des huiles essentielles. Elles sont donc composées de molécules odorantes et volatiles. C'est dans les organes producteurs de la plante qui sont les feuilles, les fruits, les graines, les racines, l'écorce et les fleurs, que l'on retrouve ces molécules caractéristiques (Franchomme et al., 2001).

Il existe plusieurs familles des plantes à huiles essentielles. Parmi elles la famille des Lamiacées, qui est l'une des familles les plus importantes utilisées comme insecticides.

- **La famille des Lamiaceae**

La famille des Lamiacées connue également sous le nom des Labiées, dérivé du nom latin "labium" qui signifie lèvre, en raison de la forme particulière des corolles (Bouhaddouda, 2016).

La famille des Lamiacées est l'une des premières familles à être distinguée par les botanistes. Les lamiacées sont des angiospermes dicotylédones appartenant à l'ordre des Lamiales. Cette famille comprend environ 260 genres et plus de 6 500 espèces (Spichiger et al., 2004). Ce sont des plantes à fleurs herbacées ou arborescentes très parfumées (Silvant, 2014). 40% des espèces de la famille des Lamiaceae contiennent des composés qui possèdent des propriétés aromatiques. Les espèces de cette famille sont bien connues pour leur rôle essentiel

dans la production des huiles essentielles auxquelles leur activité biologique a été attribuée (Verse, 2007).

L'origan, le thym, la menthe, le romarin et la sauge appartiennent à cette famille et sont les plantes aromatiques les plus populaires dans les remèdes traditionnels et modernes et dans les industries alimentaires et pharmaceutiques (Nieto, 2017). Ces plantes sont bien connues pour leur teneur en huile essentielle et en composés phénoliques auxquels leur activité biologique était attribuée (Hanana et al., 2017).

Dans la flore de l'Algérie, les Lamiacées sont représentées par 28 genres et 146 espèces. Certains genres sont de détermination délicate en raison de la variabilité extrême des espèces (Bendif, 2017).

## 1. Menthe poivrée (*Mentha piperita*)

### 1.1. Origine, culture et distribution de la plante

*Mentha*×*piperita* est un hybride issu d'un croisement spontané entre *Mentha aquatica* (la menthe aquatique) et *Mentha spicata* (la menthe verte), c'est à ce titre qu'une petite croix sépare le nom de genre (*Mentha*) du nom de l'hybride issu du croisement (*piperita*). Elle doit son nom latin (*piperita*) qui signifie « poivrée » à son odeur très caractéristique fortement poivrée et froide, en raison de l'huile essentielle que contiennent ses feuilles (Baudoux, 2002).

La menthe poivrée a été identifiée et décrite en 1696 à Meacham, près de Londres, où cet hybride est apparu, d'où son deuxième nom : English Mint.

La menthe poivrée est originaire de l'Angleterre. Elle est cultivée presque dans le monde entier : en Europe centrale et du Sud, Amérique du Sud et du Nord, Asie, Afrique du Nord. En effet, elle se rencontre sur tous les continents et s'adapte à tous les climats hormis les plus extrêmes. Elle aime les terrains frais, argileux et calcaires, et peut être cultivée en climat montagnard tempéré et humide d'une altitude allant jusqu'à 900-1000 m, à condition d'arroser pendant la sécheresse d'été (Zybak, 2000).

### 1.2. Description botanique

C'est une plante sauvage, herbacée vivace, rampante, à tiges quadrangulaires ascendantes pouvant atteindre 1,20 m de haut. Ses feuilles sont opposées, ovales, aiguës et dentées, généralement d'une belle couleur verte, souvent ridées, parfois duveteuses, à partir desquelles se dégage une forte odeur caractéristique facilement reconnaissable. Les fleurs, qui poussent en grappes à l'aisselle des feuilles sont de couleur rose, les tiges sont de couleur pourpre (Morigane, 2007) (Figure 12).



Figure 12 : La menthe poivrée ou *Mentha piperita* (Originale, 2022).

### 1.3. Position systématique

La systématique de la plante est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Classification botanique de *Mentha piperita* selon Cronquist (1981).

<b>Règne</b>	Plantes
<b>Embranchement</b>	Cormophytes
<b>Sous embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Magnoliopsidées
<b>Sous Classe</b>	Asteridées
<b>Ordre</b>	Lamiales
<b>Famille</b>	Lamiacées
<b>Genre</b>	<i>Mentha</i>
<b>Espèce</b>	<i>Mentha x piperita</i>

### 1.4. Utilisation thérapeutique et traditionnelle

#### ▪ Trouble digestif

La menthe poivrée est excellente pour le système digestif, elle stimule la sécrétion des sucs digestifs et de la bile, et décontracte les muscles intestinaux. Elle atténue nausées, ballonnements et colites. Son action antispasmodique sur le colon est efficace en cas de diarrhée et de constipation (Youcef, 1990 ; Iserin, 2001).

- **Douleur**

Elle est utilisée pour soulager les maux de tête. Elle traite les parasites de la peau (démangeaisons cutanées) ainsi que l'inflammation des voies respiratoires et de la muqueuse buccale. Elle soulage les symptômes du rhume et de la toux, les douleurs rhumatismales musculaires et névralgiques (Hammami et Abdesselem, 2005).

- **Infection**

L'huile essentielle diluée est utilisée en inhalation ou en massages légers sur la poitrine en cas d'identification bronchique. La plante entière est efficace en cas de gastro-entérites (Iserin, 2001).

## **2. Marjolaine à coquilles (*Origanum majorana*)**

### **2.1. Origine, culture et distribution**

La Marjolaine ou l'origan de jardin (*O. majorana.L*) est une plante aromatique cultivée comme plante d'assaisonnement pour ses feuilles odorantes. C'est une espèce qui par aspect se rapproche de l'origan commun (*Origanum vulgare*). On l'appelle parfois marjolaine des jardins, marjolaine officinale, marjolaine à coquilles, origan de Crète, dictame, thym de berger, thé rouge (Dubois et al., 2006).

Elle est originaire du bassin méditerranéen (Iserin, 2001), de Chypre et du sud de la Turquie (Ietswaart et al., 1980), *O. majorana* est une plante aromatique cultivée dans le monde entier pour sa saveur, son huile essentielle et son arôme d'herbe dans diverses régions d'Inde, de France, d'Europe du Nord et des régions tropiques (Iserin, 2001; Vasudeva et Goel, 2015). Elle est également cultivée dans de nombreux pays d'Amérique, d'Asie et en Europe occidentale. Elle se trouve de manière subspontanée dans son habitat d'origine, où elle pousse généralement dans des zones sèches rocheuses et calcaires à des altitudes de 100 à 1500 m. Elle est cultivée comme herbe médicinale dans les jardins, en pots ou à l'extérieur (Ietswaart et al., 1980).

Cette dernière nécessite un sol fertile, riche, chaud et bien drainé. Elle requiert aussi des arrosages fréquents et tolère les sols acides, neutres et alcalins. De plus, elle a besoin du plein soleil et peut être cultivée sans ombre ou à mi- ombre. Elle est sensible au froid, vivace dans un climat plus chaud (Nurzyńska-Wierdak et al., 2015 ; Vasudeva et Goel, 2015).

## 2.2. Description botanique

C'est une espèce herbacée vivace très proche de l'origan. Elle est d'environ 30 cm de haut, ligneuse à la base, pubescente et possède des feuilles simples, opposées, pétiolées, ovales, allongées, à bords lisses, mesurant environ 2 cm de long sur 1 cm de large et recouvertes d'un duvet blanchâtre. Elle a une racine pivotante tortueuse plus ou moins ramifiée. Sa tige à des sections quadrangulaires, dressée, ramifiée, de coloration rougeâtre. Ses fleurs sont hermaphrodites, petites, à deux lèvres blanches ou rosées disposées en groupes serrés à l'aisselle des feuilles avec deux bractées en forme de cuillère (Schaal, 2010; Chenna et al., 2018) (Figure 13).

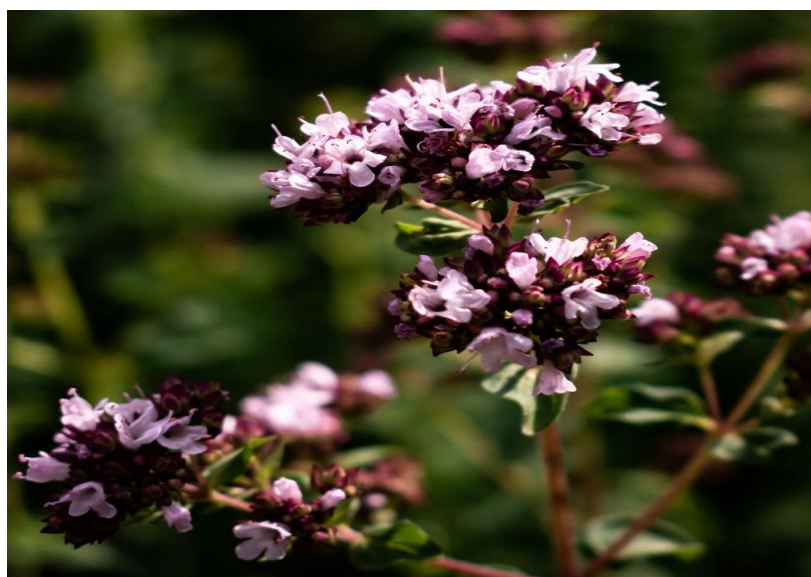


Figure 13 : Les parties aériennes d'*Origanum majorana* (Prerna et vasudeva, 2015).

## 2.3. Position systématique

La classification taxonomique d'*O. majorana* selon (Figueredo, 2007) est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Position systématique d'*Origanum majorana* (Figueredo, 2007).

<b>Règne</b>	Plantes
<b>Embranchement</b>	Spermaphytes
<b>Sous-embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotylédones
<b>Sous-classe</b>	Gamopétales

<b>Ordre</b>	Lamiales
<b>Famille</b>	Lamiacées
<b>Sous-famille</b>	Népétoïdées
<b>Genre</b>	<i>Origanum</i>
<b>Espèce</b>	<i>Origanum majorana</i> L.

#### 2.4. Utilisation thérapeutique

*O. majorana* est une plante très populaire utilisée dans notre région. Elle possède des applications très vastes tant dans le domaine alimentaire que celui de la médecine.

La marjolaine possède des vertus stomachiques, toniques, calmantes, diurétiques, et expectorantes. Elle a des propriétés stimulantes et antispasmodiques sédatives et elle est utilisée pour les troubles digestifs (Guerra-boone et al., 2015). Elle soulage les flatulences et les problèmes respiratoires (Paul, 2001) et elle est connue aussi pour ses propriétés anaphrodisiaques, antiseptiques, antitoxiques (Kahoulia, 2010). Elle est utilisée comme médicament antiasthmatique et antiparalytique, elle a également été utilisée pour traiter le cancer (Chishti, 2013), le rhume et la rhinite. Elle s'est avérée aussi efficace contre les crampes, la dépression, les maux de tête et les vertiges (Fathy et al., 2009).



La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au laboratoire d'Entomologie Appliquée de la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomique de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

L'étude effectuée vise à étudier le pouvoir insecticide de deux huiles essentielles *Mentha x piperita* et *Origanum majorana*, contre un redoutable insecte ravageur des stocks *T. confusum*.

## 1. Matériels

### 1.1. Matériel de laboratoire

Pour la réalisation de nos expériences, nous avons utilisé les outils et appareils suivants :

- Une étuve réfrigérée et réglée à une température de  $32 \pm 1$  °C et une humidité relative de  $60 \pm 5\%$ , qui correspondent aux conditions optimales de développement de *T. confusum* (Figure 14).
- Des bocaux en verre pour les élevages de masse des adultes de *T. confusum* ;
- Des flacons en plexiglas de 64 ml pour les tests par inhalation des huiles essentielles ;
- Des boîtes de Pétri en plastique de 8,5 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur pour les tests de répulsivité ;
- Des boîtes de Pétri en plastique de 5,2 cm de diamètre et de 1,2 cm de hauteur ;
- Une micropipette pour le pipetage des huiles essentielles ;
- Une loupe binoculaire ;
- L'acétone comme solvant ;
- Une balance électronique pour peser le substrat ;
- Papier filtre pour les tests par inhalation et de répulsivité ;
- D'autres outils de manipulations ont été également utilisés (pinceaux, scotch, fil fin, aiguille, bassine, ciseaux, étiquettes, tamis...).



Figure 14: (A) tamis, (B) balance électronique, (C) autres matériels, (D) micropipette, (E) étuve obscure, (F) loupe binoculaire (Originale, 2022).

## 1.2. Matériel biologique

### 1.2.1. Matériel animal (*T. confusum*)

Les individus de *T. confusum* utilisés proviennent d'un élevage de masse réalisé sur de la semoule, à partir d'une souche issue du laboratoire d'Entomologie Appliquée de la

faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### 1.2.2. Matériel végétal

#### ➤ Le substrat

Le substrat alimentaire utilisé dans nos tests est la semoule moyenne. Cette dernière provient du marché local. Elle est préalablement conservée dans le réfrigérateur pendant toute la période expérimentale afin d'éviter toute contamination.

#### ➤ Les huiles essentielles utilisées

Pour la réalisation de notre étude, nous avons testé deux huiles essentielles, *Mentha piperita* et *Origanum majorana*, qui proviennent d'un point de vente du laboratoire Français Aroma-Zone situé à Tizi Ouzou.

Le choix de ces huiles a été justifié par plusieurs critères à savoir leur disponibilité dans la région, leur utilisation en pharmacologie et leur activité insecticide relatée par la bibliographie.

Nos huiles essentielles sont conservées dans un flacon en verre coloré à fermeture étanche à une température de 5°.

#### ❖ **Caractéristiques des huiles essentielles de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquilles**

Selon le site officiel du laboratoire Aroma Zone (Anonyme, 2021), les caractéristiques de l'huile essentielle de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquilles sont les suivantes (Tableau 5) :

**Tableau 5 : Caractéristiques des deux huiles essentielles de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquille**

<b>Caractéristiques</b>	<b>l'huile essentielle de la menthe poivrée</b>	<b>l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles</b>
<b>Procédé d'obtention</b>	Distillation complète par entraînement à la vapeur d'eau.	Distillation complète par entraînement à la vapeur d'eau.
<b>Partie de la plante extraite</b>	Parties aériennes.	Parties aériennes.
<b>Qualité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Huile essentielle botaniquement et biochimiquement définie (HEBBD).</li> <li>- 100% pure (exempte d'autres huiles essentielles proches).</li> <li>- 100 % naturelle (non dénaturée avec des molécules de synthèse).</li> <li>- 100% intégrale (non décolorée, non déterpénée, non rectifiée).</li> <li>- Pays d'origine: France (Provence).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Huile essentielle botaniquement et biochimiquement définie (HEBBD).</li> <li>- 100% pure (exempte d'autres huiles essentielles proches).</li> <li>- 100 % naturelle (non dénaturée avec des molécules de synthèse).</li> <li>- 100% intégrale (non décolorée, non déterpénée, non rectifiée).</li> <li>- Pays d'origine : Egypte.</li> </ul>
<b>Culture</b>	biologique, certifiée par Ecocert FR-BIO-01	biologique, certifiée par Ecocert FR-BIO-01
<b>Propriétés organoleptiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspect : liquide très fluide.</li> <li>- Couleur : incolore à jaune pâle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspect : liquide mobile limpide.</li> </ul>

	-Odeur : herbacée, fraîche, mentholée, puissante.	-Couleur : jaune pâle à foncé. -Odeur : douce, fine, chaude et délicate.
<b>Densité</b>	0.901 - 0.916.	0.88 - 0.91.
<b>Point éclair</b>	67°C	55°C
<b>La composition chimique</b>	-Monoterpénols: menthol (40.31%). -Oxydes terpéniques: 1,8-cinéole (6.35%), menthofuran (1.96%). -Monoterpénones: menthone (25.94%), pulégone (0.70%). -Esters terpéniques: acétate de menthyle (5.21%).	-Monoterpénols: terpinèn-4-ol (22.99%), (Z)-thujanol (14.77%). -Monoterpènes: gamma-terpinène (13.78%), alpha-terpinène (8.53%).

## 2. Méthodes

### 2.1. Élevage de masse

L'élevage de masse est réalisé dans des bocaux en verre. Chaque bocal est rempli à moitié de semoule dans laquelle sont introduits des mâles et des femelles d'âges indéterminés. Le couvercle du bocal est perforé de petits trous d'aération (Figure 15). Les bocaux sont ensuite placés dans une étuve obscure et réglée à une température de  $32 \pm 1$  °C et une humidité relative de  $60 \pm 5\%$ . Au bout d'une semaine, les adultes sont retirés, les œufs sont laissés évoluer jusqu'à émergence des adultes de la première génération. Les adultes âgés de moins de 7 jours sont utilisés dans les différents tests biologiques.



Figure 15 : Elevages de masse de *T. confusum* (Originale, 2022).

## 2.2. Test d'inhalation

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

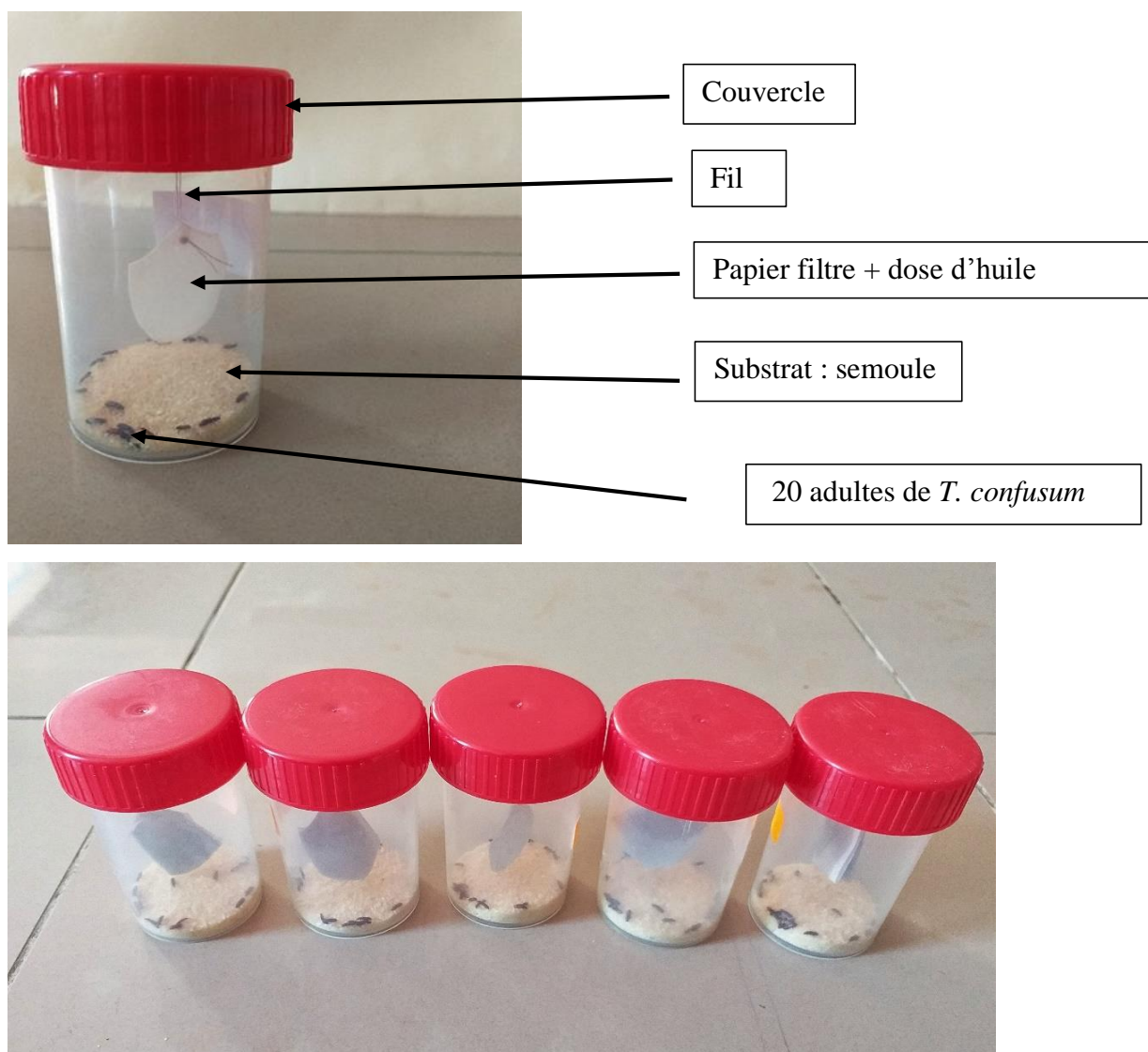
Nous avons utilisé des flacons en plexiglas de 64 ml de volume et à la face inférieure du couvercle de chaque flacon, nous avons fixé du fil auquel est attaché un morceau de papier filtre imbibé de l'huile essentielle de menthe poivrée ou de marjolaine à coquilles à différentes doses (20, 30, 40, 50 et 60  $\mu$ l) à l'aide d'une micropipette.

Vingt adultes de *T. confusum* âgées de 0 à 7 jours sont introduits dans chaque flacon contenant 3g de semoule. Parallèlement, un témoin est réalisé sans huile (Figure 16).

Pour chaque dose, nous avons varié la durée d'exposition : 24h, 48h, 72h et 96h. Cinq répétitions ont été réalisées pour chaque dose, ainsi que pour les témoins.

A la fin de l'expérience, les insectes sont transférés dans des petites boîtes de Pétri et le comptage des individus morts est effectué 24h après le traitement.

Après le comptage des individus, ces derniers sont retirés des boîtes de Pétri tout en laissant la semoule dans une étuve obscure pour observer après 40 jours les émergences des adultes de *T. confusum*.



**Figure 16: Dispositif expérimental du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* traités par les différentes doses des deux huiles essentielles (Originale, 2022).**

- **L'effet par inhalation du mélange des deux huiles essentielles après 24h**

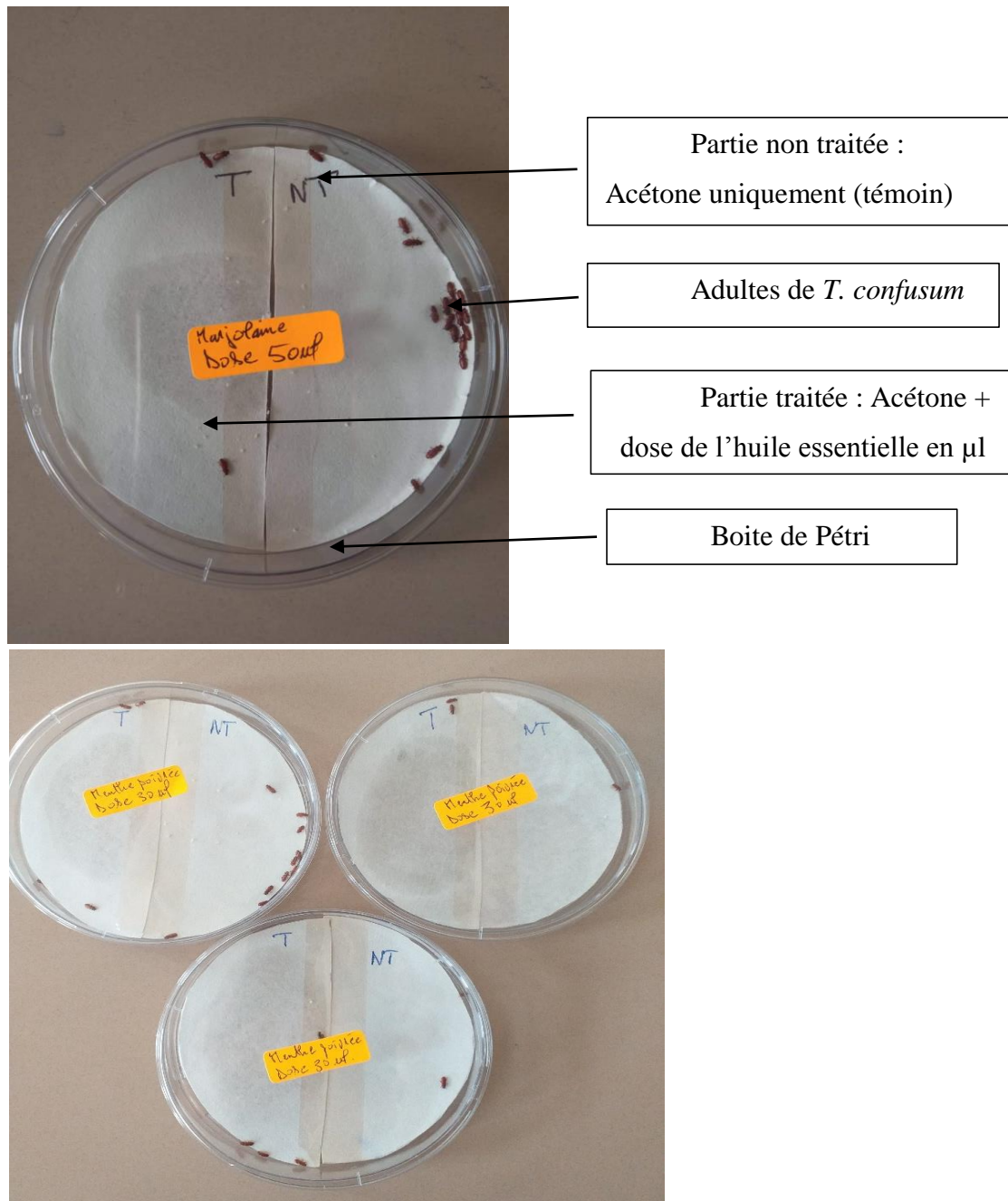
Pour cela, nous avons suivi le même protocole expérimental que le test d'inhalation décrit auparavant. Pour la réalisation du mélange nous avons imbibé le papier filtre avec la mixture des deux huiles essentielles qui est composée de la concentration létale 50 ( $CL_{50}$ ) de l'huile essentielle de marjolaine qui est de 29,6  $\mu$ l avec la plus forte dose de l'huile essentielle de la menthe poivrée qui est de 60  $\mu$ l.

La  $CL_{50}$  n'a pas pu être calculée pour l'huile essentielle de la menthe poivrée, car les mortalités obtenues sont trop faibles.

### 2.3. Test de répulsivité

Ce test consiste à étudier l'effet répulsif des deux huiles essentielles de la marjolaine à coquilles et de la menthe poivrée sur les adultes de *T. confusum*, en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

- Pour cela nous avons découpé en deux parties égales des disques de papier filtre de 8,5 cm de diamètre, l'une des parties est traitée (Tr) avec l'une des huiles essentielles à différentes doses (20, 30, 40, 50 et 60  $\mu$ l) diluées dans 0,5 ml d'acétone, l'autre est traitée uniquement avec le même volume d'acétone (NT).
- Après évaporation du solvant, les deux parties traitées et non traitées sont rassemblées par une bande adhésive et placées au fond d'une boîte de Pétri de 8.5 cm de diamètre et 1.5 cm de hauteur (Figure 17).
- Vingt *Tribolium*s adultes sont ensuite déposés au centre de la boîte de Pétri. Trois répétitions sont réalisées pour chaque dose.
- Au bout d'une demi-heure de traitement, nous comptons le nombre des individus présents sur la partie du disque traitée uniquement avec l'acétone et l'autre partie traitée avec l'huile essentielle diluée dans l'acétone.



**Figure 17: Dispositif expérimental du test de répulsivité sur les adultes de *T. confusum* (Originale, 2022).**

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) :

$$PR\% = \frac{Nt-Tr}{NT+Tr} \times 100$$

**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.

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 indiquées dans le tableau 5.

**Tableau 6 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et al. (1970).**

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
<b>Classe 0</b>	$PR \leq 0.1\%$	Très faiblement répulsif
<b>Classe I</b>	$0.1\% < PR$	Faiblement répulsif
<b>Classe II</b>	$20\% < PR \leq 40\%$	Modérément répulsif
<b>Classe III</b>	$40\% < PR \leq 60\%$	Moyennement répulsif
<b>Classe IV</b>	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
<b>Classe V</b>	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif

- **L'effet par répulsivité du mélange des deux huiles essentielles après 24h**

Après avoir testé la répulsivité des deux huiles essentielles séparément, nous avons aussi testé la répulsivité du mélange des deux huiles. Pour cela, nous avons préalablement dilué la CL50 de l'huile essentielle de marjolaine à coquilles qui est de 29,6 µl et la dose la plus forte de la menthe poivrée qui est de 60µl, dans 0,5ml d'acétone. Cette mixture a été utilisé dans la partie traitée (Tr) du teste, dans l'autre partie non traitée (NT) nous avons utilisé uniquement le même volume d'acétone.

Après évaporation du solvant, vingt adultes de *T. confusum* âgés de 0 à 7 jours ont été déposés au centre de la boîte Pétri et trois répétitions ont été réalisées.

Au bout d'une demi-heure de traitement, nous comptons le nombre d'individus présents sur la partie du disque traitée uniquement avec l'acétone et l'autre partie traitée avec le mélange d'huiles essentielles diluées dans l'acétone.

### 3. Analyse statistiques

La CL50 correspond à la qualité de la substance toxique entraînant la mort de 50% d'individus d'un même lot. Elle est déterminée par le logiciel statistique SPSS, version 20.

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification à l'aide du logiciel statbox version 6.40 et ceci afin de déterminer l'action de l'huile essentielle vis-à-vis des adultes de *T. confusum* et analyser les différents paramètres étudiés.

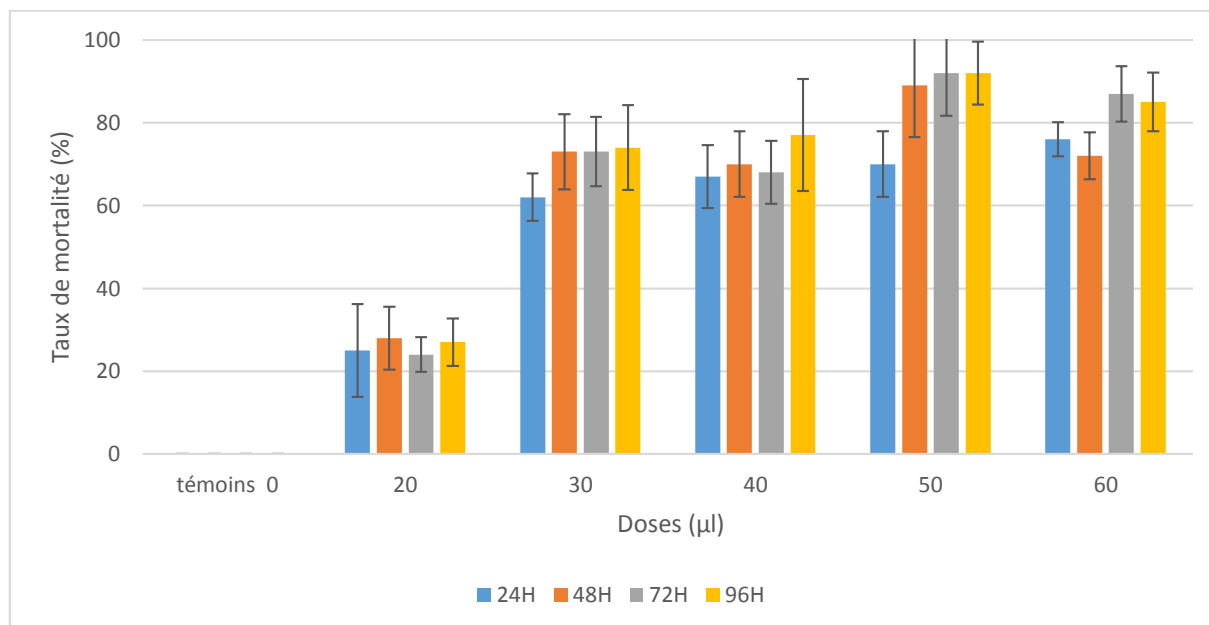
Lorsque cette analyse montre des différences significatives entre les différents traitements, elle est complétée par le test de Newman et Keuls au seuil de 5%, afin de déterminer les groupes homogènes (Dagnelie, 1975). Selon la valeur de la probabilité (P), nous avons:

- $P > 0.05$             ➔ il n'y a pas de différence significative ;
- $0.01 < P \leq 0.05$    ➔ il y a une différence significative ;
- $0.001 < P \leq 0.01$  ➔ il y a une différence hautement significative ;
- $P \leq 0.001$         ➔ il y a une différence très hautement significative.

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

### 1.1 Effet de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles (*O. majorana*) à l'égard de *T. confusum*

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



**Figure 18 : Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle d'*O. majorana* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.**

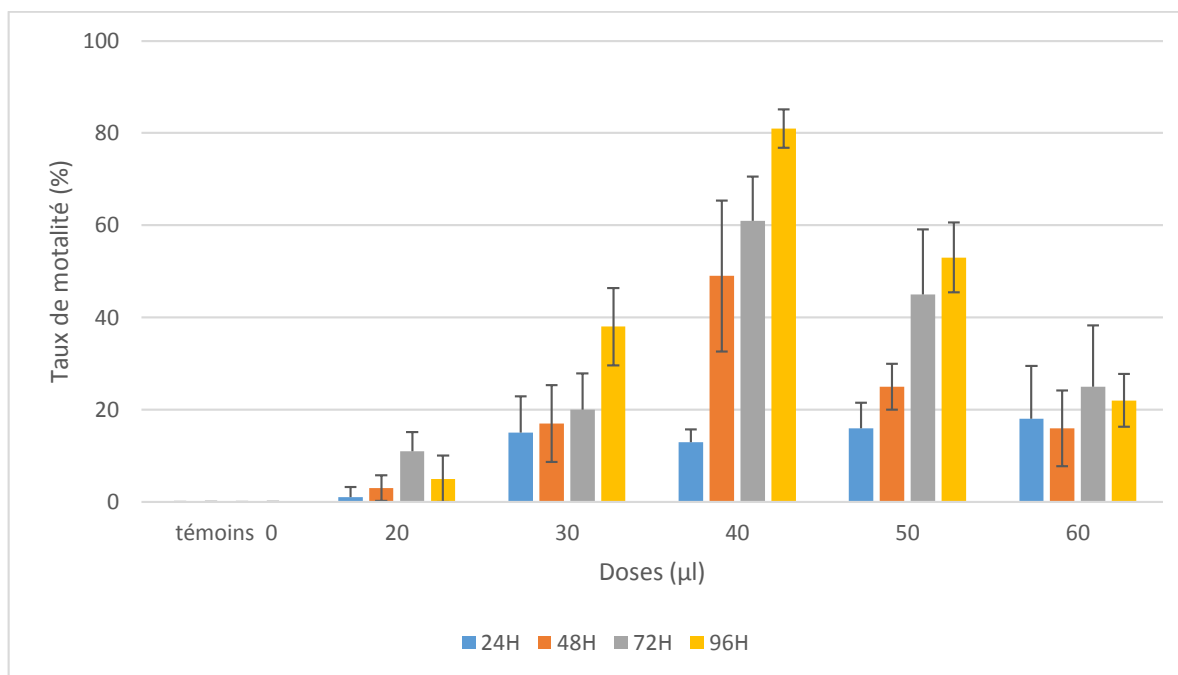
Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de la marjolaine a une activité insecticide par inhalation vis-à-vis des adultes de *T. confusum*.

L'effet fumigant de cette huile essentielle s'observe dès la plus faible dose utilisée (20 µl) après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 25%, ce taux dépasse les 60% en augmentant les doses. Le taux de mortalité le plus élevé (92%) est enregistré avec la dose 50 µl et après 72h et 96h d'exposition, alors que dans les lots témoins aucune mortalité n'a été observée.

La  $CL_{50}$  de l'huile essentielle d'*O. majorana* par inhalation après 24h d'exposition a pu être déterminée, elle est de l'ordre de 29,6 µl. Ce résultat indique que cette huile essentielle exerce un effet toxique sur *T. confusum* par inhalation.

## 1.2 Effet de l'huile essentielle de la menthe poivrée (*M. piperita*) à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide de l'huile essentielle de la menthe poivrée sur les adultes de *T. confusum* sont représentés dans la figure 19.



**Figure 19 : Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de *M. piperita* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.**

Les résultats obtenus avec l'huile essentielle de *M. piperita* montrent que cette dernière a provoqué une faible mortalité vis-à-vis des adultes de *T. confusum*. En effet, le taux de mortalité ne dépasse pas 20% même avec la plus forte dose 60  $\mu$ l, après 24h d'exposition. Le taux moyen de mortalité des adultes dans les lots témoins, qui n'ont subi aucun traitement est nul.

Cependant, le taux de mortalité est très faible (au-dessous de 50%), ainsi la concentration létale 50 ( $CL_{50}$ ) n'a pas été déterminée.

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 révèle l'existence d'une différence très hautement significative ( $P= 0,0000$ ) pour les effets des facteurs : dose, temps et huile essentielle d'exposition, ainsi que pour les interactions entre les facteurs dose  $\times$  temps, dose  $\times$  huile et

temps × huile. L'interaction des trois facteurs est également très hautement significative ( $p=0,0000$ ) sur la mortalité des adultes (Tableau 7).

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

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>VAR.TOTALE</b>	249583,3	239	1044,281				
<b>VAR.FACTEUR 1 (dose)</b>	123724,5	5	24744,9	418,961	0		
<b>VAR.FACTEUR 2 (temps)</b>	9720,781	3	3240,26	54,862	0		
<b>VAR.FACTEUR 3 (huile)</b>	63700,34	1	63700,34	1078,524	0		
<b>VAR.INTER F1*2 (dose × temps)</b>	6432,977	15	428,865	7,261	0		
<b>VAR.INTER F1*3 (dose × huile)</b>	27828,41	5	5565,683	94,234	0		
<b>VAR.INTER F2*3 (temps × huile)</b>	2323,828	3	774,609	13,115	0		
<b>VAR.INTER F1*2*3 (dose × temps × huile)</b>	4512,414	15	300,828	5,093	0		
<b>VAR.RESIDUELLE 1</b>	11340	192	59,063			7,685	19,62%

Le test de Newman et Keuls classe l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles (*O. majorana*) dans le groupe homogène A enregistrant une mortalité moyenne de 55,46%, elle manifeste une toxicité supérieure à celle de la menthe poivrée (*M. piperita*) du groupe homogène B avec une moyenne de 22,87% (Tableau 8).

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

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
<b>2.0</b>	<i>O. majorana</i>	55,46	A	
<b>1.0</b>	<i>M. piperita</i>	22,87		B

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. Les doses 40  $\mu$ l et 50  $\mu$ l, les plus efficaces sont classées

dans le même groupe homogène A. Les autres doses sont classées chacune dans un groupe homogène à part (Tableau 9).

**Tableau 9 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
4.0	D3= 40 µl	60,75	A				
5.0	D4= 50 µl	60,25	A				
6.0	D5= 60 µl	50,125		B			
3.0	D2= 30 µl	46,5			C		
2.0	D1= 20 µl	17,375				D	
1.0	D0= 0 µl	0					E

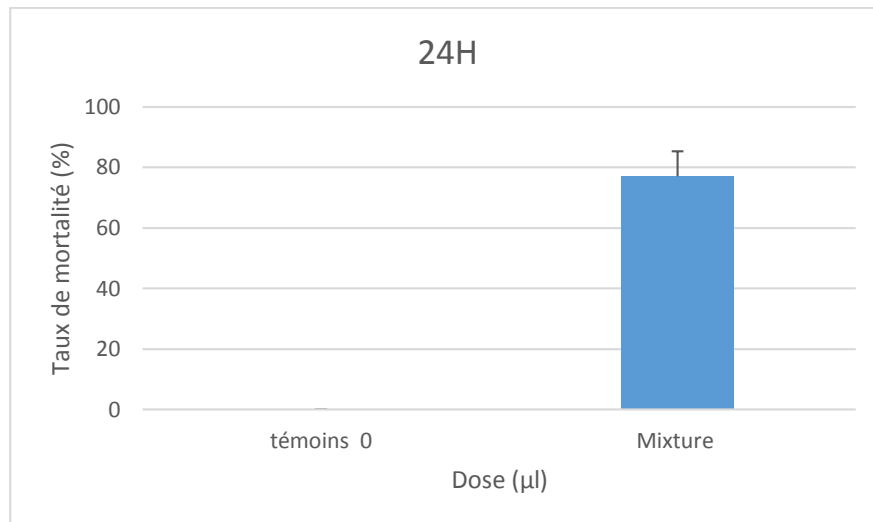
Le test de Newman et Keuls, au seuil de significations de 5%, classe les temps d'exposition dans les groupes homogènes suivants: dans le groupe A, est classé le temps d'exposition le plus long (96h), dans le groupe B (72h), dans le groupe C (48h) et enfin dans le groupe D (24h) (Tableau 10).

**Tableau 10 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps sur les adultes de *T. confusum*.**

F2	LIBELLE S	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES				
4.0	96h	47,417	A				
3.0	72h	42,167		B			
2.0	48h	36,833			C		
1.0	24h	30,25					D

❖ **Résultat du test d'inhalation de la mixture Marjolaine à coquilles × Menthe poivrée après 24h sur les adultes de *T. confusum***

Les résultats du test par inhalation de la mixture des deux huiles essentielles après 24h d'exposition sur les adultes de *T. confusum* sont représentés dans la figure 20.



**Figure 20 : Taux de mortalité (Moyenne  $\pm$  écart-type) des adultes de *T. confusum* traités avec la mixture marjolaine à coquilles  $\times$  Menthe poivrée, par inhalation, après 24h.**

Les résultats obtenus avec la mixture de la  $CL_{50}$  de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles avec la plus forte dose de l'huile essentielle de la menthe poivrée après 24h, ont montré que cette dernière exerce une activité insecticide vis-à-vis des adultes de *T. confusum* avec un taux de mortalité égale à 77%. Par contre, dans les lots témoins le taux de mortalité des adultes de *T. confusum* est égal à zéro.

## Discussion

Les résultats obtenus à travers cette étude montrent une nette différence dans l'efficacité des deux huiles essentielles testées. À cet effet, l'huile essentielle de marjolaine à coquilles paraît plus efficace comparée à celle de la menthe poivrée. 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 (Myrtaceae), le myrte (Myrtaceae) et le romarin (Lamiaceae) se sont avérés les plus toxiques avec une mortalité de 100% à la dose 250 µl, en 24h d'exposition seulement.

Dans une étude portée sur le même insecte, Recep et al. (2008) ont constaté une forte activité insecticide de l'huile essentielle de *Salvia hydrangea* (Lamiaceae) avec un taux de mortalité de 75% à une forte concentration qui est de 40µl, après 96h d'exposition.

De même, l'effet toxique par inhalation des huiles essentielles de romarin et de la menthe verte sur les adultes de *T. confusum* a été démontré par Benazzedine (2010). Les deux huiles ont provoqué une mortalité de 100% après 24h d'exposition au traitement.

Dans le présent travail, l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles présente un effet insecticide sur les adultes de *T. confusum* avec une CL<sub>50</sub> égale à 29,6 µl. A notre connaissance, peu d'études ont été réalisées sur l'effet insecticide de l'huile essentielle d'*O. majorana* sur les adultes de *T. confusum*. Cependant, nos résultats se rapprochent de certains travaux qui ont été effectués sur d'autres insectes ravageurs des stocks ou d'autres espèces d'*Origanum*. Selon El idrissi et al. (2014), une mortalité totale d'adultes de *Bruchus lentis* (Bruchidae) est notée, après 48h d'exposition à l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles avec CL<sub>50</sub>= 17,66. En outre, Tunc et al. (2000), ont constaté que l'huile essentielle d'origan (*Origanum synarum*) provoque une mortalité variant de 77% à 89% des adultes de *T. confusum*, après 96h d'exposition. Aussi

l'huile essentielle d'*Origanum acutidens* turque obtenue par hydrodistillation cause 37% de mortalité des adultes de *T. confusum*, après 96 h d'exposition (Kordali et al., 2008).

De nombreux travaux ont démontré l'activité insecticide par inhalation de l'huile essentielle de la menthe poivrée sur de nombreux insectes ravageurs des denrées stockées (Raja et al. 2001; Aissat et Berkane, 2014; Koroghli, 2018; Acharaiou et Kaced, 2019). Contrairement à ces travaux, les résultats de la présente étude a révélé une faible toxicité de l'huile essentielle de *M. piperita* sur les adultes de *T. confusum*, où la concentration létale 50 (CL<sub>50</sub>) n'a pas été déterminée. En effet, Koroghli (2018) a montré que *M. piperita* provoque une toxicité élevée par inhalation sur *Rhyzopertha dominica* avec une faible CL<sub>50</sub> (CL<sub>50</sub> = 0,83 µl). Benayad (2013) affirme que les huiles essentielles de *Mentha pulegium* (Lamiaceae) et *M. piperita* possèdent une action biocide inhalatrice significative vis-à-vis de *R. dominica* et *Sitophilus oryzae* dont la mortalité totale des individus est atteinte après 24h de traitement à la dose 3 µl. Par ailleurs, *M. piperita* présente aussi une toxicité par inhalation à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* avec une CL<sub>50</sub> égale à 48,68 µl et 100% de mortalité à 75 µl (Rajkumar et al., 2019).

L'absence de mortalité au niveau du témoin, montre que nos tests restent fiables pour l'étude de l'effet insecticide par inhalation de deux huiles essentielles testées.

La différence de sensibilité de *T. confusum* à l'égard de ces deux huiles essentielles peut être due à plusieurs facteurs dont la résistance de cette espèce à certains composés de ces huiles essentielles. En effet, les travaux (Shaaya et al. 1997; Sékou Moussa et al. 2000; Ngamo et al. 2001; Lee, 2002; Kim et al. 2003; Ngassoum et al. 2003; Shakarami et al. 2005) ont révélé que l'effet des huiles essentielles sur les insectes n'est pas systématique, car on observe des réponses différentes suivant l'espèce d'insecte et l'huile essentielle. Ainsi, d'après Shakarami et al. (2005) *Collabruchus maculatus* est plus sensible que *T. castaneum*, *S. oryzae* ou *Sitophilus granarius* à l'effet fumigant de l'huile essentielle d'*Artemisia aucheri* (Asteraceae).

La toxicité des huiles essentielles sur les insectes est induite par l'action de leurs composés majoritaires (Seri-Kouassi et al., 2004). L'huile essentielle d'*O. majorana* est majoritairement composée de Monoterpénols: terpinèn-4-ol (22.99%), (Z)-thujanol (14.77%) et Monoterpènes: gamma-terpinène (13.78%), alpha-terpinène (8.53%), qui pourraient être à l'origine de l'effet létal élevé qu'exerce cette huile sur *T. confusum*. Le mode d'action des fumigants de plantes naturelles sur les insectes est largement concentré sur les monoterpénoides (Rajendran et Sriranjini, 2008). Chez les insectes traités, plusieurs rapports indiquent que les

monoterpénoides causent leurs mortalités par l'inhibition de l'enzyme acétylcholinestérase (AChE) (Houghton et al., 2006 ; López et Pascual-Villalobos, 2010).

Selon Ojimekwe et Adler (1999), alpha-pinène a révélé un effet insecticide intéressant contre le *Tribolium brun* de la farine *T. confusum*, des effets similaires ont été également notés avec le  $\alpha$ -terpinéol, le cinéole et le limonène.

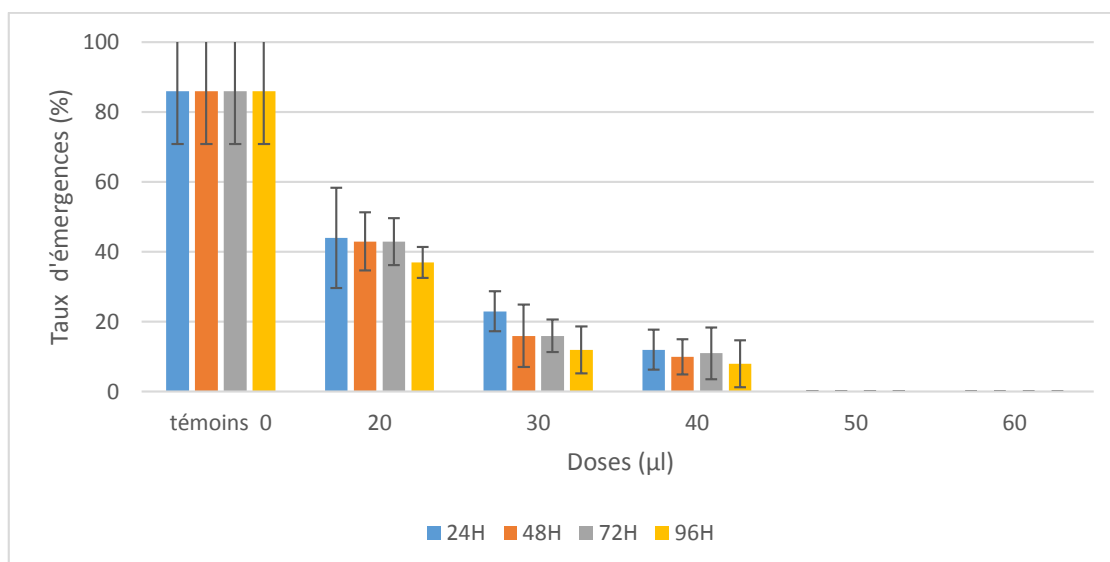
Dans la présente étude, la mixture des deux huiles essentielles de la marjolaine à coquilles et de la menthe poivrée testées par inhalation, sur les adultes de *T. confusum* s'est montrée efficace. Nous avons enregistré une mortalité de 77% après 24h d'exposition seulement, un taux qui n'est pas obtenu pour les huiles testées séparément. En effet, très peu de travaux sont réalisés sur l'efficacité de la mixture des huiles essentielles à l'égard des ravageurs des denrées stockées. Boukraa et al. (2020) ont constaté que les huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* (Asteraceae), *Juniperus phoenicea* (Cupressaceae), *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) et leur mélange ont des activités fumigantes prononcées contre les adultes de *T. castaneum*. De plus, le mélange des trois huiles essentielles a révélé l'apparition de nouveaux constituants en tant que composés majeurs et mineurs qui sont à l'origine de sa toxicité.

### **1.3. Résultats relatifs à l'effet des traitements sur l'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum***

#### **a) L'effet du traitement avec l'huile essentielle d'*O. majorana* sur l'émergence des adultes de *T. confusum***

Les résultats obtenus pour l'action de l'huile essentielle d'*O. majorana* sur l'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum*, sont présentés dans la figure 21.

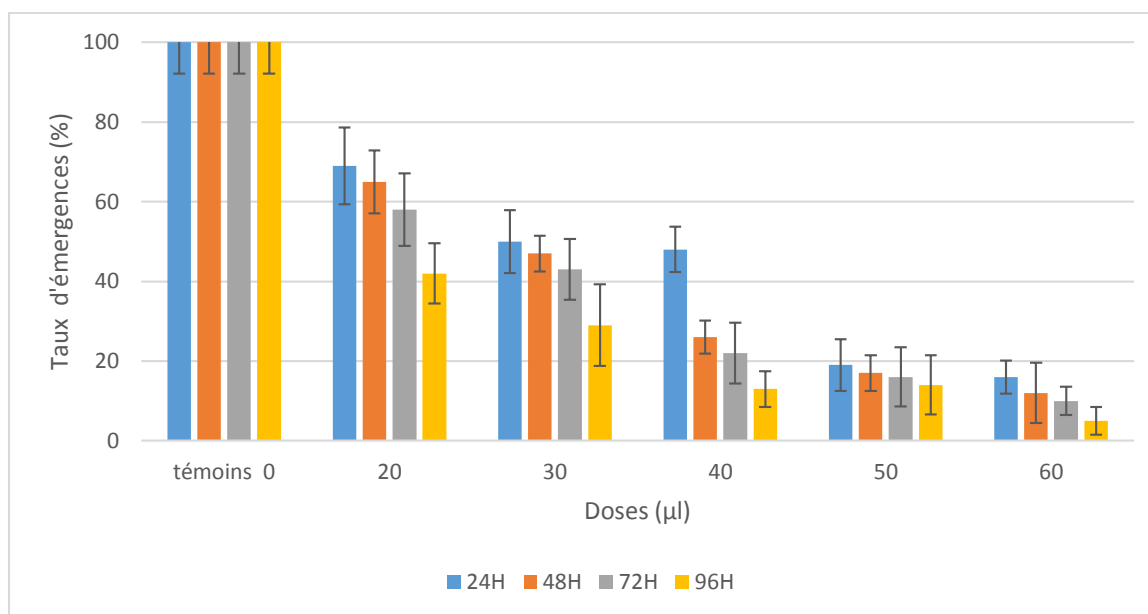
Nos résultats montrent que le traitement avec l'huile essentielle d'*O. majorana* réduit nettement le taux d'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum* par rapport aux lots témoins. Ce taux diminue au fur et à mesure que les concentrations d'huile essentielle augmentent et s'annule dès la dose 50  $\mu$ l.



**Figure 21 : Taux moyen d'adultes de *T. confusum* émergents (moyennes  $\pm$  écart-type) dans les lots traités par inhalation avec l'huile essentielle d'*O. majorana*.**

**b) L'effet du traitement avec l'huile essentielle de *M. piperita* sur l'émergence des adultes de *T. confusum***

Les tests effectués montrent que les différentes doses d'huile essentielle de menthe poivrée ont une activité larvicide importante. Le nombre d'individus émergés diminue au fur et à mesure que la dose du traitement augmente ainsi que le temps d'exposition. En effet, nous avons enregistré le plus faible taux d'émergence (5%) à la plus forte concentration (60 µl) après 96h d'exposition (Figure 22).



**Figure 22 : Taux moyen d'adultes de *T. confusum* émergents (moyennes  $\pm$  écart-type) dans les lots traités par inhalation avec l'huile essentielle de *M. piperita*.**

L'analyse de la variance à trois critères de classification a révélé que le taux d'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum* varie de façon très hautement significative pour les facteurs dose ( $P=0$ ), temps ( $P=0$ ) et l'huile ( $P=0$ ) et une différence significative pour les interactions dose  $\times$  temps ( $P=0,00366$ ) et dose  $\times$  huile ( $P=0,00154$ ), l'interaction des facteurs temps  $\times$  huile est très hautement significatif ( $P=0,00012$ ), par ailleurs l'interaction entre les trois facteurs n'est pas significatif ( $P=0,24553$ ) (Tableau 11).

**Tableau 11: Résultats de l'analyse de la variance du paramètre émergence des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec les huiles essentielles de marjolaine à coquilles et de menthe poivrée.**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROB A	E.T.	C.V.
<b>VAR.TOTALE</b>	255933,3	239	1070,851				
<b>VAR.FACTEUR 1 (dose)</b>	219044,6	5	43808,92	749,004	0		
<b>VAR.FACTEUR 2 (temps)</b>	3130,844	3	1043,615	17,843	0		
<b>VAR.FACTEUR 3 (huile)</b>	16833,78	1	16833,78	287,808	0		
<b>VAR.INTER F1*2 (dose × temps)</b>	2087,906	15	139,194	2,38	0,00366		
<b>VAR.INTER F1*3 (dose × huile)</b>	1202,469	5	240,494	4,112	0,00154		
<b>VAR.INTER F2*3 (temps × huile)</b>	1317,047	3	439,016	7,506	0,00012		
<b>VAR.INTER F1*2*3 (dose × temps × huile)</b>	1086,703	15	72,447	1,239	0,24553		
<b>VAR.RESIDUELLE 1</b>	11230	192	58,49			7,648	22,38 %

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les différentes doses dans cinq groupes homogènes A, B, C, D et E. Le témoin appartient au groupe A avec une moyenne de 93%, la dose 20 µl réduit le taux d'émergence et appartient au groupe B, avec une moyenne de 50,12%, en suite la dose 30 µl dans le groupe homogène C, avec une moyenne de 29,5% et la dose 40 µl se trouve dans le groupe homogène D, et enfin les deux doses 50 µl et 60 µl sont classées dans le groupe homogène E, avec une moyenne de 8,25% et 5,37% respectivement (Tableau 12).

**Tableau 12 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur dose (F1), sur l'émergence des adultes de *T. confusum*.**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
<b>1.0</b>	0µl	93	A				
<b>2.0</b>	20µl	50,125		B			
<b>3.0</b>	30µl	29,5			C		
<b>4.0</b>	40µl	18,75				D	

5.0	50µl	8,25					E
6.0	60µl	5,375					E

Pour le facteur temps (F2), le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, fait ressortir trois groupes homogènes A, B et C. Le temps 96h est dans le groupe A, avec une moyenne de 38,91%, alors que les temps 72h et 48h, avec une moyenne de 35,16% et 33,75% respectivement, sont classés dans le même groupe homogène B et enfin le temps 24h se trouve dans le groupe C avec la moyenne la plus faible (28,83%) (Tableau 13).

**Tableau 13: Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps (F2), sur l'émergence des adultes de *T. confusum*.**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	96h	38,917	A		
2.0	72h	35,167		B	
3.0	48h	33,75		B	
4.0	24h	28,833			C

La comparaison des deux huiles essentielles par le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles, qui donne un taux d'émergence de 42,54%, dans le groupe homogène A, celle de la menthe poivrée dans le groupe homogène B avec une moyenne de 25,79% (Tableau 14).

**Tableau 14: Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des deux huiles essentielles (F3) testées sur l'émergence des adultes de *T. confusum*.**

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	<i>O. majorana</i>	42,542	A	
2.0	<i>M. piperita</i>	25,792		B

## Discussion

Notre étude montre que les deux huiles essentielles testées par inhalation ont un effet important sur l'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum*. Nous constatons qu'au fur et à mesure que les concentrations augmentent le taux d'individus émergés

diminue pour atteindre une valeur nulle à la concentration 50  $\mu\text{l}$  pour *O. majorana* et 5% à la plus forte dose (60  $\mu\text{l}$ ), après 96h d'exposition pour *M. piperita*.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par Khalfi- Habes (2007) qui a montré que la fécondité des femelles de *C. maculatus* s'annule à la dose 0,4  $\mu\text{l}$  avec l'huile essentielle de l'origan et de la menthe, et qu'aucune émergence n'est observée à la dose 0,2  $\mu\text{l}$ .

Regnault-Roger et Hamraoui (1997) ont observé que les huiles essentielles extraites de différentes plantes aromatiques ne provoquent pas toutes une inhibition de la fécondité d'*Acanthoscelides obtectus*. Les huiles essentielles de *Thymus vulgaris* (Lamiaceae) et *R. officinalis* diminuent efficacement la ponte des femelles d'*A. obtectus* à partir de la plus faible dose de  $10^{-2}\mu\text{l}/\text{cm}^3$ . Les autres huiles essentielles *Satureia hortensis* (Lamiaceae), *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae), *O. majorana* (Lamiaceae), *Ocimum basilicum* (Lamiaceae) n'inhibent la ponte qu'à partir de la dose de  $5.10^{-2}\mu\text{l}/\text{cm}^3$ . Par contre, l'huile essentielle de *Citrus limon* (Rutaceae) reste peu efficace sur la ponte des femelles.

Selon Chaubey (2008), l'huile essentielle de cumin (*Cuminum cyminum*) (Apiaceae) utilisée sur le *Callosobruchus chinensis* réduit la fécondité, le taux d'éclosion des œufs, la formation des nymphes ainsi que l'émergence des adultes de la première génération à des doses sublétales. Shukla et al. (2009) constatent une inhibition de la ponte chez le *T. castaneum* et le *S. oryzae* traités avec des huiles essentielles de *Myristica fragrans* (Myristicaceae) et *Illium verum* (Schisandraceae).

L'effet des deux huiles essentielles testées sur l'émergence des adultes de *T. confusum* peut être lié à leurs composés majoritaires : Monoterpénols (37,76%) pour la marjolaine à coquilles et (40,31%) pour la menthe poivrée. Des fractions monoterénoïdes extraites de différentes plantes se montrent d'une part toxique par inhalation sur le *T. confusum* et permettent d'autre part de diminuer la fécondité et le taux d'éclosion des œufs, à titre d'exemple les femelles traitées au 1,8-cinéole à la CL<sub>50</sub> de 7  $\mu\text{l}/\text{l}$  d'air pour une période d'exposition de 48h ont pondu 6 œufs/femelle contre 45 œufs/femelle pour le témoin, avec un taux d'éclosion de 42% pour les lots traité contre 91,2% pour les lots témoin (Stamopoulos et Karagianidou, 2007).

## **2. Résultats des tests par répulsion des deux huiles essentielles de marjolaine à coquilles et de menthe poivrée sur les adultes de *T. confusum***

Les résultats du test de répulsion sont consignés dans le tableau (14). Globalement, les deux 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 *M. piperita* avec un taux moyen de (65%). Pour l'huile essentielle d'*O. majorana*, le taux de répulsion moyen enregistré est faible, il ne dépasse pas 50%.

Les effets les plus considérables sont enregistrés à la dose 60  $\mu$ l où le taux de répulsion a atteint 93,33% pour l'huile essentielle de la menthe poivrée et 56,66% pour la marjolaine à coquilles, alors qu'à la faible dose (20  $\mu$ l), les taux de répulsion sont de l'ordre de 50% et 30% respectivement.

Le calcul du pourcentage de répulsion par la méthode de Mc Donald et ses collaborateurs (1970) a montré que l'huile essentielle de *M. piperita* est répulsive avec un taux de (65%) et appartient à la classe IV. L'huile essentielle d'*O. majorana* manifeste une répulsivité moyenne avec un taux de (43,33%) appartenant à la classe III de cette échelle (Tableau 15). L'huile essentielle de la marjolaine à coquilles est moins répulsive comparativement à l'huile essentielle de la menthe poivrée.

**Tableau 15: Taux moyen de répulsion des huiles essentielles d'*O. majorana* et de *M. piperita* à l'égard des adultes de *T. confusum* et leur classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970).**

Huiles essentielles	Doses					Taux moyen de répulsivité	Classe de répulsivité	
	20 $\mu$ l	30 $\mu$ l	40 $\mu$ l	50 $\mu$ l	60 $\mu$ l			
<i>O. majorana</i>	30	56.66	40	60	56.66	43,33%	III	Moyennement répulsive
<i>M. piperita</i>	50	53.33	56.67	80	93.33	65%	IV	Répulsive

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence très hautement significative pour le facteur dose ( $P=0,0001$ ) et pour le facteur huile ( $P= 0,00033$ ) et l'interaction de ces deux facteurs (dose  $\times$  huile) n'est pas significative ( $P = 0,08281$ ) (Tableau 16).

**Tableau 16: Résultats de l'analyse de la variance pour les tests par répulsion avec les deux huiles essentielles.**

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
<b>VAR.TOTALE</b>	11336,67	29	390,92				
<b>VAR.FACTEUR 1 (dose)</b>	5153,333	4	1288,333	10,171	0,00013		
<b>VAR.FACTEUR 2 (huile)</b>	2429,999	1	2429,999	19,184	0,00033		
<b>VAR.INTER F1*2 (dose × huile)</b>	1220	4	305	2,408	0,08281		
<b>VAR.RESIDUELLE 1</b>	2533,334	20	126,667			11,255	19,52%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe les doses utilisées pour les deux huiles essentielles testées en deux groupes homogènes, les deux plus fortes doses (50 µl et 60 µl) appartenant au groupe A. Le reste des doses sont classées dans le même groupe B (Tableau 17).

**Tableau 17 : Résultats du test de Newman et Keuls montrant l'effet du facteur dose des deux huiles essentielles testées par répulsion sur les adultes de *T. confusum*.**

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
<b>5.0</b>	60µl	75	A	
<b>4.0</b>	50µl	70	A	
<b>2.0</b>	30µl	55		B
<b>3.0</b>	40µl	48,33		B
<b>1.0</b>	20µl	40		B

De même, pour le facteur huile, le test de Newman et Keuls classe l'huile essentielle de *M. piperita* dans le groupe homogène A et l'*O. majorana* dans le groupe homogène B (Tableau 18).

**Tableau 18 : Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile essentielle testée par répulsion sur les adultes de *T. confusum*.**

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
<b>1.0</b>	<i>M. piperita</i>	66,67	A	
<b>2.0</b>	<i>O. majorana</i>	48,67		B

❖ **Résultat du test de répulsion de la mixture : Marjolaine à coquilles × Menthe poivrée à l'égard des adultes de *T. confusum***

Nous avons évalué l'effet répulsif de la mixture : Marjolaine à coquilles × Menthe poivrée par la méthode de la zone préférentielle, les résultats sont présentés dans le tableau 19.

Le résultat révèle que la mixture des deux huiles a une activité répulsive à l'égard des adultes de *T. confusum*.

Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), cette mixture manifeste un effet très répulsif appartenant à la classe V avec un taux de répulsion moyen de 83,33%.

En effet, la mixture s'est montrée plus répulsive par rapport aux deux huiles essentielles testées séparément.

**Tableau 19 : Taux moyen de répulsion de la mixture des deux huiles essentielles d'*O. majorana* et de *M. piperita* à l'égard des adultes de *T. confusum* et son classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970).**

	Traité	Non traité	
Mixture	1,67	18,33	
Pourcentage de répulsion			83.33 %
Classe	V		
Effet	Très répulsif		

## Discussion

Dans cette étude, nous avons tenté d'évaluer l'effet répulsif de deux huiles essentielles de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquilles sur les adultes de *T. confusum*.

Les résultats obtenus montrent nettement que les deux huiles essentielles testées ont un effet répulsif à l'égard des adultes du modèle biologique étudié. En effet, à la plus forte dose testée qui est de 60 µl, les deux huiles ont montré une activité répulsive variant de 56,66% pour la marjolaine à coquilles à 93,33% pour l'huile essentielle de la menthe poivrée. Cependant, à la plus faible dose testée (20 µl), les taux de répulsion observés sont de 30% et 50%, respectivement.

Kishan et al. (2001) ont montré que l'huile essentielle d'*Artemisia annua* (Asteraceae) est modérément répulsive vis-à-vis de trois coléoptères des denrées stockées, *C. maculatus*, *R. dominica* et *Sitophilus oryzae*, avec une répulsion moyenne de 65 à 74% à la plus forte dose testée (4µl/ml) pendant 1 heure.

Ouchekdhidh-Ourlissene (2014) a montré l'activité répulsive des huiles essentielles extraites de la menthe, du thym et du romarin à l'égard de bruche du haricot *A. obtectus*. Il a

enregistré un taux de répulsion plus élevé pour le thym comparé à la menthe, qui est respectivement de 71,25% et de 68,75%. Le romarin présente un taux de répulsion très faible qui est de 20%.

Tapondjou et al. (2003) ont testé l'effet répulsif des huiles essentielles de *Chenopodium ambrosioides* (Amaranthaceae) et d'*Eucalyptus saligna* (Myrtaceae) à l'égard des adultes de *C. maculatus*. Ils ont constaté que le pourcentage de répulsion de ces huiles augmente en fonction de la dose. L'huile essentielle de *C. ambrosioides* aurait des propriétés répulsives relativement plus élevées (PR= 89%) que celles d'*E. saligna* (PR= 74%).

De même, Taib (2015) a enregistré un taux de répulsion considérable de *R. officinalis* à l'égard d'*A. obtectus* de 95% à la dose de 8 µl, après 30min d'exposition.

D'autres huiles essentielles comme celle de *Cinnamomum zeylanicum* (Lauraceae) et d'*Eucalyptus citriodora* (Myrtaceae) se sont révélées très répulsives à l'égard de *C. maculatus* avec des taux de répulsion respectifs de 90% et 86,6%. Les huiles essentielles de *Mentha officinalis* (Lamiaceae), *M. piperita* (Lamiaceae), *Citrus mendurensis* (Rutraceae) et *Melaleuca vidiflora* (Myrtaceae) se sont montrées répulsives vis-à-vis de *C. maculatus*, alors que les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* (Myrtaceae), *Myrtus communis* (Myrtaceae), *Pogostemonn cablin* (Lamiaceae) et de *Cupressus sempervirens* (Cupressaceae) ont été modérément répulsives (Kellouche et al., 2010).

Les résultats obtenus par Khalfi-Habes et al (2008) mettent en évidence l'effet répulsif de trois plantes contre *R. dominica*, le thym, l'origan et le romarin, avec un pourcentage de répulsion de 45 à 66%, de 80 à 89% et de 55 à 71%, respectivement. Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), l'huile essentielle de l'origan possède des propriétés répulsives plus élevées que celles du romarin et du thym.

Dans notre étude, nous avons également évalué le taux de répulsivité de la mixture de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles × l'huile essentielle de la menthe poivrée. Cette dernière a révélé un effet plus répulsif par rapport aux deux huiles essentielles testées séparément. Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), l'effet répulsif de ce mélange appartient à la classe V avec un taux de répulsion moyen de 83,33%.

Nos résultats sont en adéquation avec ceux de Bahariet et al. (2016) qui ont évalué l'activité répulsive de deux huiles essentielles extraites des espèces végétales *E. globulus* (Myrtaceae) et *R. officinalis* (Lamiaceae) contre les trois espèces d'insectes : *Periplaneta*

*americana* (Blattidae), *Blatella germanica* (Blattidae) et *Supella longipalpa* (Blattidae). Le mélange des deux huiles essentielles a montré une meilleure répulsion par rapport aux huiles essentielles testées seules (95%, 100% et 100% pour *P. americana*, *B. germanica* et *S. longipalpa* respectivement).

## Conclusion

---

L'insecte *Tribolium confusum* est considéré comme un ravageur redoutable des denrées stockées. En effet, l'emploi des insecticides chimiques est la méthode la plus utilisée pour réduire la gravité de ces ravageurs, cependant, l'utilisation de ces produits synthétiques n'est pas recommandable pour plusieurs raisons : leur nocivité pour l'organisme, la pollution de l'environnement, et surtout le développement des insectes résistants. La recherche de nouvelles méthodes alternatives plus efficaces et moins polluantes s'avère donc nécessaire, ainsi l'utilisation de formulations à base des plantes aromatiques peut présenter de nombreux avantages par rapport aux insecticides de synthèse.

Au cours de notre travail, nous avons tenté d'évaluer la bio efficacité de deux huiles essentielles de la famille des Lamiacées : la marjolaine à coquilles *Origanum majorana* et la menthe poivrée *Mentha piperita*, 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'*Origanum majorana* et *Mentha piperita* 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'estimation de la  $CL_{50}$  après 24h d'exposition de l'huile essentielle d'*O. majorana* a donné une valeur égale à 29,6 $\mu$ l. Cependant, pour l'huile essentielle de *M. piperita*, la  $CL_{50}$  n'a pas été déterminée en raison de leur faible taux de mortalité qui est inférieure à 50%.

Les traitements par inhalation réduisent nettement le taux d'émergence des adultes de la première génération de *T. confusum*, en fonction de la dose et du temps d'exposition comparativement à la série témoin.

Les huiles essentielles des deux plantes aromatiques testées par répulsion semblent avoir toutes les deux 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 ses collaborateurs (1970) permet de constater que l'huile essentielle de *M. piperita* est répulsive (classe IV) avec un taux de répulsion moyen de 65% et l'huile essentielle d'*O. majorana* manifeste une répulsivité moyenne avec un taux de 43,33% appartenant à la classe III de cette échelle.

Il ressort de notre étude que l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles en comparaison à celle de la menthe poivrée, présente l'effet le plus toxique par inhalation, par contre la menthe poivrée s'est avérée plus toxique par répulsion. Ce pouvoir bioactif observé

## Conclusion

---

chez les deux huiles semble être le résultat de l'un ou de plusieurs éléments constitutants de ces essences végétales.

L'utilisation des bioinsecticides dans la protection des graines stockées peut être l'une des méthodes les plus appropriées et les plus efficaces. Il serait donc judicieux d'entamer des expériences ayant pour objectif de vérifier les conclusions des travaux précédents, surtout pour les plantes qui ont révélé une certaine efficacité et d'étudier la qualité boulangère des graines et leurs dérivées traitées avec les huiles essentielles.

L'étude de la résistance des insectes vis-à-vis des huiles essentielles ainsi que de leurs composants majeurs s'avère aussi nécessaire pour connaître le ou les composé (s) responsable (s) de l'activité insecticide observée chez ces ravageurs.

## ☞ A ☞

- ☞ **Abahri H., 2017.** Toxicité de deux huiles essentielles de romarin à l'égard d'un insecte ravageur des grains stockés *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae).
- ☞ **Abecassis J., Chaurand M., Laignelet T., 2010.** Couscous, boulgour et polenta. Procédés actuels et produits de la transformation industrielle des céréales.
- ☞ **Adli B.Z. et Yousfi I., 2015.** Plantes médicinales en Algérie. In [<https://sites.google.com/site/pastoraldz/plantes-medicinales/plantes-medicinales/plantes-medicinales-en-algerie>]. Consulté le (7/6/2015).
- ☞ **Acharaiou et Kaced., 2019.** Activité insecticide des huiles essentielles de la menthe poivrée et de la sauge officinale sur la bruche chinoise (*Callasobruchus chinensis* L.) (Coleoptera : Chrysomelidae). Mémoire de master en sciences biologiques, UMMTO, 71p.
- ☞ **Ainane A., Benhima R., Khammour F., Elkouali M., Talbi M., Abba E., Cherroud S., Ainane T., 2018.** Composition chimique et activité insecticide de cinq huiles essentielles: *Cedrus atlantica*, *Citrus limonum*, *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis* et *Syzygium aromaticum*, pp 67-79.
- ☞ **Aissat K., Berkane N., 2014.** Effet insecticide des deux huiles essentielles de *Thymus zygis* L. et de *Mentha piperita* L. (Lamiacées) à l'égard des adultes de la bruche de la fève *Bruchus rufimanus* Boh (Coleoptera: Chrysomelidae). Mémoire de Master II, UMMTO, 60p.
- ☞ **Anonyme, 2018.** Méthode de distinction entre les deux espèces de *Tribolium confusum* et *Tribolium castaneum*. [Http://tel.archives-ouvertes.fr](http://tel.archives-ouvertes.fr).
- ☞ **Auger J., Arnault I., Diwo-Allain S., Ravier M., Molia F. et Pettiti M., 2004.** Insecticidal and fungicidal potential of Allium substances as biofumigants. Agroindustria, N° 3, 29,176-182.

## ☞ B ☞

- ☞ **Bahari K., Zibae I., 2016.** Evaluation of repellent activity of two essential oils and their mixed formulation against cockroaches (Dictyoptera: Blattidae, Blattellidae). Journal of entomology and zoology studies, 109-111 p.
- ☞ **Balandrin M.F., Klocke, J.A., Wurtele, E.S., Bollinger, W.H., 1985.** Natural Plant Chemicals: Sources of Industrial and Medicinal Materials, Science, Vol. 228, N°4704, pp. 1154– 1159.
- ☞ **Banga K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D. et Giri, S.K., 2018.** Techniques for Insect Detection in Stored Food Grains: An Overview, Food Control, 94, 167-176.
- ☞ **Baudoux D., 2002.** L'Aromatherapie. Se soigner par les huiles essentielles (Amyris, Bruxelles ed.).

☞ **Benayad N., 2013.** Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines. Thèse de doctorat Chimie Organique Université Mohammed V, 196p.

☞ **Benazzeddine S., 2010.** Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis- à vis de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera; Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera; Tenebrionidae). Mémoire d'ingénieur d'état en sciences agronomiques. 30p.

☞ **Benbelkacem A., Brinis L., Sadli F., 1995.** La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. Options Méditerranéennes CIHEAM, Série A, Séminaires Méditerranéen, p 61-65.

☞ **Bendif H., 2017.** Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in vitro des extraits actifs de quelques Lamiaceae: *Ajuga iva* (L.) Schreb., *Teucrium polium* L., *Thymus munbyanus* subsp. *coloratus* (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet et *Rosmarinus eriocalyx* Jord & Fourr., Thèse de doctorat, l'école normale supérieure de KOUBA-Alger, département des sciences naturelles, biotechnologie végétale, P. 26.

☞ **Bouhadouda N., 2016.** Activités antioxydante et antimicrobienne de deux plantes du sol local: *Origanum vulgare* et *Mentha pulegium*. Thèse de Doctorat, Univ Badji Mokhtar, Annaba.

☞ **Boukraa N., Segni L., Goudjil M.B., Eddoud A., Sanori K W M., 2020.** Chemical compositions, Fumigant and Repellent Activities, of Essential oils from three Indigenous medicinal plants and their mixture, against stored grain pest, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Asian J. Research Chem. 2020; 13(6):455-464. doi: 10.5958/0974-4150.2020.00081.4

☞ **Bouzouita N., Kachouri F., Ben Halima M., Chaabouni M.M., 2008.** Composition chimique et activités antioxydant, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. Journal de la Société Chimique de Tunisie, 10 p119-125.

☞ **Bruneton J., 1999.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition, Ed. TEC et DOC, Paris.

☞ **Buronzo A. M., 2008.** Grand guide des huiles essentielles santé beauté Marocaine: moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires. SBM.

☞ **Burt S., 2004.** Essential Oils: Their Antibacterial Properties and Potential Applications in Foods– A Review, International Journal of Food Microbiology, Vol. 94, pp. 223 – 253.

## ☞ C ☞

☞ **Camara A., 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiqué en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse, doctorat, U.N.I.V. Québec, Montréal. 154p.

☞ **Cavalcanti E.S.B., de Morais S.M., Lima M.A.A, Santana E.W.P., 2004.** Mem Inst Oswaldo Cruz. 99; 541-544.

- ☞ **Chaubey M.K., 2008.** Fumigant toxicity of essential oils from some common spices against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Oleo Science*, 57: 171-179
- ☞ **Cehat F., 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blé en Algérie. Projet PAMLIM «Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation» Alger: 7-9.
- ☞ **Chenna A., Ahmedi, R., & Chefrour, A., 2018.** Physico-chemical characterization of the essential oil of *Origanum majorana* (L.) cultivated in a semi-arid bioclimatic stage (South-east Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(2), 396-406.
- ☞ **Chiasson H., Beloin, N., 2007.** Les huiles essentielles, des biopesticides «nouveau genre». *Bullet Soc Entomol Québec.*, 14(1): 3-6.
- ☞ **Chishti S., Kaloo, Z. A., & Sultan, P., 2013.** Medicinal importance of genus *Origanum*: A review. *J. Pharmacogn. Phytother*, 5(10), 170-177.
- ☞ **Crepso M.E., Jimenez J. and Navarro C., 1991.** Special methods for the essentials oils of the Genus thymus. *Moderns Methods for plant analysis*, 12, pp.41-61.
- ☞ **Cronquist., 1968.** The evolution and classification of flowering plants, 396p.
- ☞ **Cruz et Diop, 1989.** Génie agricole et développement : technique d'entreposage. *Bulletin des services agricoles de la FAO*, 74, 3-20.

## ☞ D ☞

- ☞ **Dagnelie P., 1975.** Théories et méthodes statistiques. Les presses agronomiques de Gembloux, 2 : 245-249.
- ☞ **Dajoz R., 2002.** Dictionnaire d'entomologie, anatomie, systématique, biologie. Ed pays. P 169-170.
- ☞ **Delimi A., Taibi F., Fissah A., Gherib S., Boukhari M., Cheffrou A., 2015.** Bioactivité des huiles essentielles de l'armoise blanche *Artemessia herba alba* : effet sur la reproduction et la mortalité des adultes d'un ravageur des denrées stockées *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera). *Afrique science*. 9(03):82-90.
- ☞ **Delobel A., et Tran M., 1993.** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, IRD Editions, p : 275-280 et 345-346.
- ☞ **Donahue, B., 2016.** Aromathérapie DIY : Créez vos propres parfums avec Enfleurement. North Atlantic Books.
- ☞ **Dorman, H.J.D., Deans S.G., 2000.** Antimicrobial and antioxidant properties of some commercial essential oils. *Flavor and Fragrans Journal*. V 3, p 235-244.
- ☞ **Doumaindji A., Doumaindji S., Doumaindji B., 2003.** Cours de technologie des céréales. Ed. Office des publications Universitaires Ben-Aknoun-Alger ; p 01-20.

☞ **Dubois J., Mitterand H., Dauzat A., 2006.** Dictionnaire étymologique et historique du français – Larousse.

☞ **Ducom P., 1982.** La protection phytosanitaire des grains après récolte. Rev. Phytoma. Def. Cult., 133:32-37.

☞ **Duvallet., 2002.** Les insectes et l'habitat. Impacts sanitaires et économiques, 1-10.

## ☞ E ☞

☞ **El idrissi M., Harmouch G., Amechrouq A., 2014.** Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum majorana* L. (Lamiaceae) and *Salvia officinalis* (L.) (Lamiaceae) under *Bruchus lentis* (Coleoptera, Chrysomelidae). Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research. Vol.2, No.2: 15-25.

## ☞ F ☞

☞ **Fanny B., 2008.** Effet Larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calcitrans* à la Réunion. Thèse pour obtenir le grade de Docteur vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse.78p.

☞ **Fathy M., Soliman., Miriam F., Yousif., Soumaya S., Zaghoul., 2009.** Seasonal variation in the essential oil composition of *origanum majorana* l. cultivated in Egypt. Naturforsch. , (64)., 611 – 614p.

☞ **F.A.O., 1995.** Codex Alimentarius 178-1995, Norme codex pour la semoule et la farine de blé dur, Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales. 3p.

☞ **F.A.O., 1996.** Codex Alimentarius, Céréales, légumes secs, légumineuses, produits dérivés et protéines végétales. Vol 7. 2ème édition. Rome. 164 p.

☞ **Feillet P., 2000.** Le grain de blé. Composition, utilisation. Edition INRA, Paris, 308p.

☞ **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).

☞ **Figueredo, G., 2007.** Etude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (Lamiaceae) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne. Thèse de doctorat. Chimie organique. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.

☞ **France-Ida J., 1996.** Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles. Info-essence. 3 : 5-6.

☞ **Franchomme P., Jollois R., Pénoel D., 2001.** L'aromathérapie exactement : Encyclopédie de l'utilisation des extraits aromatiques. Paris : Éditions Roger Jollois.

☞ **Furet A., Bellenot D., 2013.** Les huiles essentielles dans la protection des cultures : une voie en cours d'exploration. Iteipmai (Institut technique interprofessionnel des plantes à parfums, médicinales et aromatiques), mars 2013, 8 p.

## ☞ G ☞

☞ **Garnero J., 1996.** Phytothérapie-aromathérapie (Encycl. Méd. Nat ed.).

☞ **Guerra-Boone L., Alvarez-Román R., Salazar-Aranda R., Torres-Cirio A., Rivas-Galindo V. M., Waksman de Torres N & Pérez-López L. A., 2015.** Antimicrobial and antioxidant activities and chemical characterization of essential oils of *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, and *Origanum majorana* from northeastern México. Pakistan journal of pharmaceutical sciences, 28 p.

☞ **Gwinner J., Hanisch R., Mûck O., 1996.** Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. GTZ. Escharbon. Pp: 368.

## ☞ H ☞

☞ **Hannani, S., Abdesselem, M., 2005.** Extraction et analyse des huiles essentielles de la menthe poivrée de la région de Ouargla. Thèse IngUniv Blida. P69.

☞ **Hanana M., Mansour M. B., Algabr M., Amri I., Gargouri S., Romane A., Hamrouni L., 2017.** Potential Use of Essential oils from Four Tunisian Species of Lamiaceae: Biological Alternative for Fungal and Weed Control. Records of Natural Products, 11(3).

☞ **Hoseney R.C., 1994.** Malting and brewing. Principles of Cereal Science and Technology, 2nd Ed, pp. 177-196. AACC, St Paul, Minnesota, USA.

☞ **Houghton P. J., Ren Y., Howes M. J., 2006.** Acetylcholinesterase inhibitors from plants and fungi. Natural Product Reports, vol. 23, p.181-199.

## ☞ I ☞

☞ **Ietswaart J.H.A., 1980.** Taxonomic Revision of the genus *Origanum* (Labiatae), Leiden Botanical Series, Vol 4, Leiden University Press, The Hague, Netherlands.

☞ **Ikhlef M., Laouar F., 2020.** Etude physicochimique et technologique sur deux marques de semoules de blé dur Amor BENAMOR et SPAC, p 17-20.

☞ **Iserin P., 2001.** Encyclopedia of medicinal plants. 2nd Edition, Larousse, Londres, 10 p.

☞ **Isman B., 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. Crop Protection 19, p603-608.

☞ **Iteipmai., 2013.** Les huiles essentielles dans la protection des cultures : une voie en cours d'exploration, 8p.

## ☞ J ☞

☞ **Jerraya A., 2003.** Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord : leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts et leur contrôle Ed° Climat Pub, Tunis, 415p.

☞ **John F., Jinaud A., Jusner J.P., Pierre E.T., Ody B.E., Patrick E.T., Chrisnette S.G., Dimitry C., 2020.** L'Extraction des Huiles Essentielles: Préparer une huile comme le Vétiver. Agence de presse Juno7.

## ☞ K ☞

☞ **Kahouli I., 2010.** Effet antioxydant d'extraits de plantes (*Laurus nobilis* L., *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Oléa Europea* L.) dans l'huile de canola chauffée. Mémoire de magister. Université Laval. 45p.

☞ **Kalembe D., Kunicka, A., 2003.** Antimicrobial and antifungal properties of essential oils. Current Medical Chemistry, (10), 813-829.

☞ **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.

☞ **Kellouche A., 1987.** Relations parasitaires entre *Lariophagus distinguendus* FORSTER et *Chaetospila elegans* Sw. (Hymenoptera : Pteromalidae) et les ravageurs des denrées stockées : *Sitophilus oryzae* Linneaus et *Rhyzopertha dominica* Fabricius (Coleoptera : Curculionidae et Bostrychidae). Thèse de Doctorat de troisième cycle en Ecologie. Univ. Paul Sabatier Toulouse : 14 - 19.

☞ **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 cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae), Int. J.Integ. Biol., 2010, Vol 10 . P 86-89.

☞ **Khalfi-Habes O., Boutekedjiret C., Sellami S., 2008.** Activité biologique de trois huiles essentielles extraites de plantes algériennes sur *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). Br 5708:1-8.

☞ **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 ravageur des denrées alimentaires entreposées. Thèse de doctorat en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 163 p.

☞ **Khoshnoud H., et Khayamy M., 2008.** Insecticidal effects of ethanolic extract from *Verbascum cheiranthifolia*. Against two stored product insect pests species. Journal of biological sciences, 8(1), 191-195.

☞ **Kim S. C., Park M., OHH H., CHO AND Y.; AHN., 2003.** Contact and fumigant activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae). Journal of Stored Product Research, 29: 11-19.

☞ **Kishan K. A., Arun K. T., Veena P and Sushil K., 2001.** Toxicity of 1,8-Cineole Towards Three Species of Stored Product Coleopterans. *Insect Sci. Applic.* Vol. 21, No. 2, pp. 155-160.

☞ **Kordali S. A., Cakir H., Ozer R., Cakmakci M., Kesdek E., Mete., 2008.** Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, *carvacrol*, *thymol* and *p-cymene*. *Bioresource Technology*, 99: 8788-8795.

☞ **Koroghli K., 2018.** Activité insecticide des huiles essentielles de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) et de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) à l'égard du petit capucin des grains de blé *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae). Mémoire de master en sciences biologiques, UMMTO, 58p.

## ☞ L ☞

☞ **Labeyrie Y., 1962.** Les *Acanthoscelides obtectus*, entomologie appliquée à l'agriculture. ed. Masson Publ. Paris, 335 P.

☞ **Lahlou M., 2004.** Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils, *phytother. Res.* N°18, pp.435-448.

☞ **Laguerre V., 2015.** Huiles essentielles et 1,8-cinéole. *Sciences pharmaceutiques.* hal-01770640.

☞ **Lamaty., Jirovetz., Karawya., 1997.** Chemical composition and antibacterial activities of the essential oils of *Lippia chevalieri* and *Lippia multiflora* from Burkina Faso. *Journal of chemistry of naturel compound.* Vol 15, p 429.

☞ **Lardry J.M., Haberkorn V., 2003.** Les formes galéniques destinées à l'usage externe. *Kinésithérapie, Les Annales*, n° 16, avril 2003, pp 5-21.

☞ **Lee S.E., 2002.** Biochemical mechanisms conferring cross-resistance to fumigant toxicity of essential oils in a chloropyrifos-ethyl resistant strain of *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: *Sylvanidae*). *Journal of Stored Products Research*, 38: 157-166.

☞ **Lepesme P., 1944.** Les coléopteres des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed. P. Le chevalier, Paris, 335P.

☞ **Li Y., Fabiano-Tixier A.S., Chemat F., 2014.** Essential oils as Reagents in green chemistry. *Springerbriefs in green chemistry for Sustainability.* 78 p.

☞ **López M.D., Pascual-Villalobos M.J., 2010.** Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. *Industrial Crops and Products.* 31,284-288.

☞ **Lucchesi M. E., 2005.** Extraction Sans Solvant Assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles, Thèse de doctorat, université de la réunion, p: 19-50.

## ☞ M ☞

☞ **Madani, S., 2011.** Etude biologique et phytochimique de l'Origan (*Origanum vulgare* L. *spp glandulosum* (Desf.) *Letswaart*) espèce endémique d'Algérie – Tunisie. Thèse de doctorat. 45 p.

☞ **Mansour S.A., El-Sharkawy A.Z., Abdel H.N.A., 2015.** Toxicity of essential plant oils, in comparison with conventional insecticides, against the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Forskål). Industrial Crops and Products.63, 92-99.

☞ **Mcdonald, L. L., Guy R.H., and Speirs R.D., 1970.** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insects. Marketing Research Report Number882 (Washington: Agricultural Research, Service, US Department of Agriculture pp. 8.

☞ **Morigane., 2007.** Grimoire des plantes, 192p.

☞ **Mukendi R., Tshilenge D.K., Nkongolo C. et Munyuli T.M.B., 2014.** Efficacité des plantes médicinales dans la lutte contre *Ootheca mutabilis* Sahlb. (Chrysomelidae en champ de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en RD-Congo. Libanese Sciences Journal, 15 (1) 51-72.

☞ **Munyuli T. B. M., 2003.** Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République Démocratique du Congo). Cahiers Agricultures, 12, 23-31.

## ☞ N ☞

☞ **Ncibi S., 2020.** Potentiel bioinsecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) et Identification de leurs ennemis naturels. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomique de Tunisie. 315p.

☞ **Neron S., 2000.** Les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. Industrie des céréales, n.119, p.p.5-18.

☞ **Ngamo L.S.T., Ngassoum M.B., Jirovetz L., Ousman A., Nukenine E.C., et Mukaka O.E., 2001-** Protection of stored maize against *Sitophilus zeamais* (Motsch.) by use of essential oils of spices from Cameroon, Meded Rijksuniv Gent Fak Landbouwk Toegep Biol Wet , 66 (2a): 8-473.

☞ **Ngassoum M.B., Ngamo T.L.S., Mapongmetsem P.M., Jirovetz L. & Buchbauer G. (2003).** Investigations on medicinal aromatic plants from Cameroon: GC/FID, GC/MS and olfactic analyses of essential oils of *Ocimum suave* Wild. (Lamiaceae). Acta Pharmaceutica Turcica, 45: 69-75.

☞ **Nieto G., 2017.** Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family. Medicines, 4(3), 63.

☞ **Ntezurubanza L., 2000.** Les huiles essentielles du Rwanda, Ed. Laseve, Québec Canada. p88.

☞ **Nurzyńska-Wierdak R., Zawislak G., & Kowalski R., 2015.** The Content and composition of essential oil of *Origanum majorana* L. grown in Poland depending on harvest and method of raw material preparation. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 18(6), 1482-1489.

## ☞ O ☞

☞ **Obeng O.D., Reichmuth C.H., Bekele J., Hassanali A., 1997.** Biological activity of 1,8-cineole, a major component of essential oil of *Ocimum kenyense* (Ayobeingira) against stored product beetles. *J. Appl. Entomol.*, 121, 237-243.

☞ **Ojimelukwe P.C., and Adler C. 1999.** Potential of Zimtadehyde, 4-allyl-anisol, linalool, terpeneol and other phytochemicals for the control of confused Flour Beetle (*Tribolium confusum* J. D. V.) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Pesticides Science*, 72:81-86.

☞ **Ouchekdhidh-Ourlissene O., 2014.** Effets biocides des poudres et des huiles essentielles de quelques plantes aromatiques sur les paramètres biologiques de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae). 10-15 p.

☞ **Ozenda P., 2000.** Organismes végétaux, 2. Végétaux supérieurs Tome 2. Paris 516.

### ☞ P ☞

☞ **PAUL I., 2001.** Dorling Kindersiey Limited, Londres., 2<sup>ème</sup> Ed. La rousse encyclopédie des plantes médicinales. Londres.

☞ **Pruthi, H. S., M. Singh 1950.** Pests of stored grain and their control. Special number. Indian journal of Agricultural Science. 1-52 p.

### ☞ R ☞

☞ **Raja N., Albert S., Ignasimuthu S., Dorn S., 2001.** Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Collosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) infestation. *J. Stored Prod. Res.* 37: 127-132.

☞ **Rajendran S., and Sriranjini V., 2008.** Plant Products as Fumigants for Stored-Product Insect Control. *Journal of Stored Products Research*, 44, 126-135.

☞ **Rajkumar V., Gunasekaran C., Christy I.K., Dharmaraj J., Chinnaraj P. et Paul C. A., 2019.** Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pesticide Biochemistry and Physiology*.

☞ **Recep K., Saban K., Ahmet C., Memis K., Yusuf K., Hamdullah K. (2008).** Antimicrobial and insecticidal activities of essential oil isolated from Turkish *Salvia hydrangea* DC. *Ex Benth .Biochemical Systematics and Ecology.* 36 360-368.

☞ **Regnault-Roger C., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Tec et Doc Lavoisier, Paris, pp. 1013.

☞ **Regnault-Roger C., Bernarde J.R. et Vincent C., 2002.** Biopesticides d'origine végétale, Tec et Doc Eds, Paris, 337 p.

☞ **Regnault-Roger C. et Hamraoui A., 1997.** Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leur molécules allélochimiques. Ed. Acta bot. Gallica. P 401-412.

☞ **Regnault-Roger C., Vincent C. et Arnason J T., 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology* 57: p 420.

☞ **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.

## ☞ S ☞

☞ **Sallé J.L., 1991.** Les huiles essentielles ; Synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathicothérapie. Edition Frison –Roche, Paris, p21.

☞ **Schaal S., 2010.** Les plantes médicinales des pelouses calcaires de la réserve naturelle de Montenach (57)., thèse doctorat. Université Henri Poincare – Nancy 1.

☞ **Scotti G., 1978.** Les insectes et les acariens des céréales stockées. Ed. AFNOR- I.T.F.C. 221p.

☞ **Seck D., 1991.** Observations préliminaires sur les fluctuations saisonnières des populations d'insectes ravageurs du mil stocké en grenier traditionnel au Sénégal. *Tropicultura*, 92-94.

☞ **Sékou Moussa K., Vincent C., Schmit J-P., Ramaswamy S. et Belanger A., 2000.** Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Products Research*, 36: 355-364.

☞ **Semsar., 2013.** Effet insecticide de l'huile végétale d'argan (*Argania spinosa*) à l'égard de deux insectes ravageurs du blé. UMMTO.

☞ **Seri-Kouassi B. P., Kanko C., et Aboua L. R. N., Bekon K. A., Glitho A. I., Koukoua G., N' Guessan Y. T., 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *C. R. Chimie* vol.7, pp : 1043–1046.

☞ **Serpeille A., 1991.** La bruche du haricot : un combat facile. *Bulletin semences*, n° 116, Ed. FNAMS, Paris, pp : 32-34.

☞ **Shakarami J., Kamali K., Moharramipour S., 2005.** Fumigant toxicity and repellency effect of essential oil of *Salvia bracteata* on four species of warehouse pests. *J Entomol Res Soc. Iran* 24(2): 35–50.-

☞ **Shayaa E., kostjukovski M., Eilberg J., Sukparkam C., 1997.** Plant Oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. *Journal of stored Products Research*, 33(1): 7-15.

☞ **Shukla J., Tripathi S.P., et Chaubey M.K., 2009.** Toxicity of *Myristica fragrans* and *Illicium verum* essential oils against flour beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 8 No. 6: 403-407

☞ **Silvant C., (2014).** L'aromathérapie la nature au service de l'humanité, Ed. Publibook, Paris.

☞ **Simon H., 1989.** Produire des céréales à paille. Agriculture d'aujourd'hui. Ed. Baillière J.B., Paris, 333p.

☞ **Sinha R.N., Wallace H.A.H., Reiser B., et Lefkovitch L.P., 1979.** Interrelations of arthropods and microorganisms in damp bulk stored wheat multivariate study. *Researches on Population Ecology*, 21(1), 40-67.

☞ **Smith E.H., Whitman R.C., 1992.** Field Guide to Structural Pests. National Pest Management Association, Dun Loring, VA. New York, pp 59-62.

☞ **Soltner D., 2005.** La base de la production végétale. Tom I. Le sol et son amélioration 24<sup>ème</sup> Edi. Collection science et technique agricole. 472P.

☞ **Spichiger R. E., Vincent V., Figeat S. M. et Jeanmonod D., 2004.** Botanique et systématique des plantes à fleurs : une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. 3eme édition. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, Français, 413 p.

☞ **Stamopoulos D.C., Damos P., et Karagianidou G., 2007.** Bioactivity of five monoterpenoid vapours to *Tribolium confusum* (du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Journal of Stored Products Research* 43: 571-577.

☞ **Steffan J.R., 1978.** Les insectes et les acariens des céréales stockées. Institut technique des céréales et des fourrages- 1<sup>er</sup> édition, Coed, AFNOR-IT.F.C.2211P.

## ☞ T ☞

☞ **Taib H., 2015.** Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* L. et de *Rosmarinus officinalis* L. à l'égard de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say. (Coleoptera : Bruchidae). Mémoire de master en Biologie, UMMTO, 64p.

☞ **Taibi F., Smaghe G., Amrani L. and Soltani- Mazouni N., 2003.** Effect of ecdysone agonist RH-0345 on reproduction of mealworm, *Tenebrio molitor*. *Comparative biochemistry and Physiology Part*, 135, 257-267.

☞ **Tapondjou L.A., Adler C., Fontem D.A., Bouda H., 2003.** Bio efficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de bruche du niébé, *Collosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera, Bruchidae), cahier d'étude et de recherches francophones/ agriculture, 12 (6) : 401-407.

☞ **Teissedre P.L., Waterhouse A.L., 2000.** *Journal Agric Food Chim*, 48, 3801-3805.

☞ **Tripathi A.K., Prajapati N.V., Bahi J.R., Bansal R.P., Khanuja S.P.S., Kumar S., 2002.** Bioactivities of the leaf essential oil of *Curcuma longa* (var. ch-66) on three species of stored-product beetles (Coleoptera). *J Econ Entomol.*95, 183-9

☞ **Tripathi A.K., Upadhyay S., Bhuiyan M. and Bhattacharya P.R., 2009.** A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management, Journal of Pharmacognosy and phytotherapy vol 5(1), 052-063.

☞ **Tunc I., Berger B. M., Erler F et Dagli F., 2000.** Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored product insects. Journal of Stored Products Research. 36 (2): PP. 161-168.

☞ **Tongnuanchan P. and Benjakul S.J., 2014.** Food Sci. 79p.

#### ☞ V ☞

☞ **Vasudeva N. et Goel P., 2015.** *Origanum majorana* L. Phyto-pharmacological review. Department of Pharmaceutical Sciences, Guru Jambheshwar. University of Science and Technology, Hisar, Haryana, India. Indian Journal of Natural Products and Resources Vol. 6(4), December 2015 pp. 261-267.

☞ **Veres K., 2007.** Variability and biologically active components of some Lamiaceae species. Ph.D. Thesis. Département de Pharmacognosy. Univ. Szeged, Hungary, p.3.

☞ **Vincent S., Wilson R., Coelho C., Affolter M., and Leptin M., 1998.** The Drosophila protein Dof is specifically required for FGF signaling. Mol. Cell 2(4): 515--525.

#### ☞ Y ☞

☞ **Youssef, A.N, 1990.** Dictionary of Medicinal plants, Libtairie du Liban 160p.

#### ☞ Z ☞

☞ **Zohry N. M. H.; 2007.** Scanning Electron Morphological Studies of *Tribolium Confusum* Jacquelin Du Val (Coleopteran: Tenebrionidae). The Journal of Basic and Applied Zoology, 78(6): 13.

☞ **Zybak O., 2000.** Fiche technique de l'huile essentielle menthe poivrée *Mentha x piperita*.

## Résumé

La présente étude a pour objectif d'évaluer la toxicité par inhalation et par répulsion de deux huiles essentielles de marjolaine à coquilles (*Origanum majorana*) et de la menthe poivrée (*Mentha piperita*) sur les adultes de *Tribolium confusum* dans les conditions de laboratoire.

Nos résultats indiquent que les huiles essentielles testées exercent une toxicité importante par inhalation sur les adultes de *T. confusum*. En effet, les huiles essentielles entraînent une mortalité de 81% après 96h d'exposition à la dose de 40 µl pour l'huile essentielle de la menthe poivrée et 92% après 72h d'exposition à la dose de 50 µl pour l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles. Les différents traitements réduisent également le taux d'émergence des adultes de *T. confusum* en fonction de la dose et du temps. Les deux huiles manifestent aussi une forte activité répulsive à l'égard de ce ravageur, avec des pourcentages de répulsion de 65% pour l'huile essentielle de la menthe poivrée et 43,33% pour l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles. La mixture des deux huiles essentielles s'est révélée encore plus efficace que ces deux testées séparément, enregistrant 77 % de mortalité par inhalation et un taux de répulsion de 83,33%.

De ce fait, les huiles essentielles de la menthe poivrée et de la marjolaine à coquille peuvent être utilisées comme bioinsecticides, seules ou mélangées, afin de réduire les pertes causées par ce ravageur dans les stocks.

**Mots-clés :** *Tribolium confusum*, huiles essentielles, *Mentha piperita*, *Origanum majorana*, bioinsecticides.

## Abstract

The purpose of this study is to evaluate the fumigant toxicity and repellent effect of two essential oils, marjoram (*Origanum majorana*) and peppermint (*Mentha piperita*) against *Tribolium confusum* adults under laboratory conditions.

Our results indicate that the tested essential oils exert a significant fumigant toxicity on *T. confusum* adults. Indeed, essential oils cause mortality of 81% after 96 h of exposure at the dose of 40 µl for the essential oil of peppermint and 92% after 72 h of exposure at the dose of 50 µl for the essential oil of marjoram. The different treatments also reduced the emergence rate of *T. confusum* adults depending on dose and time. The two oils also showed a strong repellent activity against *T. confusum*, with a repellency rate of 65% for peppermint essential oil and 43.33% for marjoram essential oil. The mixture of the two essential oils proved to be even more effective than the two tested separately, with 77% mortality by inhalation and a repellency rate of 83.33%.

Therefore, the essential oils of peppermint and marjoram can be used as bioinsecticides, alone or in combination, to reduce losses caused by this pest in stocks.

**Key-words:** *Tribolium confusum*, essential oils, *Origanum majorana*, *Mentha piperita*, bioinsecticide.