

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:** Biodiversité et physiologie végétale

## Thème

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

**Travail réalisé par:**

M<sup>elle</sup> KESSOURI Lisa

et

M<sup>elle</sup> FERRAS Dyhia

**Devant le jury :**

- |   |         |       |
|---|---------|-------|
| ❖ <b>Présidente :</b> M <sup>me</sup> TALEB. K        | MCCA    | UMMTO |
| ❖ <b>Promotrice :</b> M <sup>me</sup> AIT AIDER. F    | MCCB    | UMMTO |
| ❖ <b>Co-promotrice :</b> M <sup>elle</sup> KHELOUL. L | Docteur | UMMTO |
| ❖ <b>Examinatrice :</b> M <sup>elle</sup> AISSAOUI. F | Docteur | UMMTO |

**Promotion : 2022/2023**

# *Remerciements*

*Nous tenons à remercier très profondément*

***M<sup>me</sup> AIT AIDER F** Professeur à UMBB pour avoir accepté  
d'encadrer notre modeste travail.*

***M<sup>elle</sup> KHELLOUL L** Docteur à l'UMMTO pour avoir accepté  
d'encadrer notre modeste travail.*

***M<sup>me</sup> TALEB K** De nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

***M<sup>elle</sup> AISSAOUI F** pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Enfin nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou  
de loin, dans la réalisation de ce modeste travail, sans oublier ceux  
qui ont contribué à notre formation.*

# Dédicace

**A**vec toute mon affection, je tiens à dédier ce travail d'abord à ma petite famille, et à tout personnes qui m'ont aidées de loin ou de près. À celle qui m'a élevé et s'est beaucoup sacrifier afin de me voir réussir, à celle qui me rend heureuse et qui m'a toujours encouragé à aller de l'avant, ma joie, mon bonheur ma moitié ma mère.

À mon roi, l'être sans lequel je ne puisse avancer, à mon papa, qui m'a tant offert de l'amour de l'affection, du soutien et de tout ce qui est en ma faveur, tu es mon pilier papa.

À mon seul et unique frère Rayane, je tiens à remercier dieu pour ta présence dans ma vie, grâce à toi que j'ai pu acquérir beaucoup de choses dans la vie, merci à toi mon petit frère.

À ma sœur adorée ma moitié, Melissa tu es ma force dans la vie, merci pour ton soutien et l'amour et l'affection que tu m'offre chaque jour. Je dédie ce travail en particulier à ma tante Fatima, qui m'a aidé durant tout mon parcours, et que grâce à elle j'ai pu aimer ce domaine, merci Tata. A mes grands parents.

A la mémoire de mon 2<sup>me</sup> papa Saïd, si tu étais là tu serais fier de celle que ta petite fille est devenue. A toi Femma et toute ma 2<sup>me</sup> famille frères et ma sœur Samira, neveux et nièces.

À mes copines d'amour Lyla kami Sonia, Aux membres de ma famille, Tantes et Oncles cousins et cousines. À tous mes ami(e)s: Saïda, Kaki, Ghilas, Anis... À toute la promotion Biodiversité et physiologie végétale 2022/2023. À tous ceux que j'ai oubliés. A ma chère binôme et amie, Dylhia merci pour ta présence, ton soutien, ton encouragement, je ne te remercierai jamais assez.

*K. Lisa*

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Structure anatomique d'un grain de blé (Spedona, 2017). .....	4
<b>Figure 2:</b> Les œufs de <i>T. confusum</i> G (10 ×4) (Originale, 2023).....	10
<b>Figure 3:</b> La larve de <i>T. confusum</i> G (10 ×4) (Originale, 2023). .....	10
<b>Figure 4:</b> La nymphe de <i>T. confusum</i> G (10 × 4) (Originale, 2023). .....	11
<b>Figure 5:</b> L'adulte de <i>T. confusum</i> vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) (G:10×4) (Originale, 2023). .....	11
<b>Figure 6:</b> Image de distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de <i>T. confusum</i> (Beeman et al., 2022).....	13
<b>Figure 7:</b> Dégâts de <i>T. confusum</i> sur la semoule commerciale (originale, 2023). .....	13
<b>Figure 8 :</b> Structure de la molécule d'isoprène (Calsamiglia et al., 2007).....	18
<b>Figure 9:</b> Structure de quelques composés des huiles essentielles (Calsamiglia et al., 2007). 18	
<b>Figure 10:</b> «Dispositif d'extraction par expression à froid » (Anonyme, 2012). .....	20
<b>Figure 11:</b> Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).....	21
<b>Figure 12:</b> Photo démonstrative de l'enfleurage (Donahue, 2016). .....	21
<b>Figure 13:</b> « Dispositif de micro-ondes » (Anonyme, 2012). .....	22
<b>Figure 14:</b> Partie aérienne de <i>M. piperita</i> (Anonyme, 2013) .....	26
<b>Figure 15:</b> Partie aérienne d' <i>O. majorana</i> (Vasudeva et Goel, 2015).....	29
<b>Figure 16:</b> La plante de <i>S. sclarea</i> L (Salvatori, 2005). .....	31
<b>Figure 17:</b> Ensemble de matériels de laboratoire utilisés (originale, 2023).....	34
<b>Figure 18:</b> Les trois huiles essentiels utilisées (originale, 2023).....	35
<b>Figure 19:</b> Elevages de masse de <i>T. confusum</i> (Originale, 2023). .....	35
<b>Figure 20:</b> Les nouveaux individus de <i>T. confusum</i> provenant des élevages de masse (originale, 2023).....	36
<b>Figure 21:</b> Dispositif expérimental du test par inhalation à l'égard des larves de <i>T. confusum</i> (originale, 2023). .....	36
<b>Figure 22:</b> Dispositif expérimental du test par inhalation à l'égard des œufs de <i>T. confusum</i> (originale, 2023).....	37
<b>Figure 23:</b> Les appareils utilisés dans l'analyse chromatographique (Originale, 2023). .....	39
<b>Figure 24:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes ± écart-type) des œufs de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de <i>S. sclarea</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition. ....	43

<b>Figure 25:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des œufs 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.....	44
<b>Figure 26:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des œufs 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.....	45
<b>Figure 27 :</b> Taux de mortalité (Moyenne $\pm$ écart-type) des œufs de <i>T. confusum</i> traités avec la mixture sauge x marjolaine à coquilles x menthe poivrée, par inhalation, après 24h.....	46
<b>Figure 28:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des larves de <i>T. confusum</i> traitées par inhalation avec l'huile essentielle de <i>S. sclarea</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	47
<b>Figure 29:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des larves de <i>T. confusum</i> traitées par inhalation avec l'huile essentielle d' <i>O. majorana</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	48
<b>Figure 30:</b> Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des larves de <i>T. confusum</i> traitées par inhalation avec l'huile essentielle de <i>M. piperita</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	48

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Composition chimique du grain de blé (Feillet, 2000). .....	5
<b>Tableau 2 :</b> La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la sauge. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes. ....	40
<b>Tableau 3:</b> La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la marjolaine. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes. ....	41
<b>Tableau 4:</b> La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la menthe poivrée. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes.....	42
<b>Tableau 5:</b> Résultats de l'analyse de la variance à quatre critères de classification, concernant la toxicité des trois huiles essentielles testées par inhalation sur les œufs et les larves de <i>T. confusum</i> .....	49
<b>Tableau 6:</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des trois huiles essentielles testées par inhalation sur le stade de développement de <i>T. confusum</i> .....	50
<b>Tableau 7:</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les œufs et les larves de <i>T. confusum</i> .....	50
<b>Tableau 8:</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps sur les œufs et les larves de <i>T. confusum</i> . ....	51
<b>Tableau 9:</b> Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des deux huiles testées par inhalation sur les œufs et les larves de <i>T. confusum</i> . ....	51

Liste des figures

Liste des tableaux

## Sommaire

### Partie bibliographique

#### Chapitre 1 : Présentation de la plante hôte et aperçu biologique sur le Tribolium

1. Le blé dur .....	3
1.1 Généralités sur le blé dur .....	3
1.2 Taxonomie du blé dur.....	3
1.3 Structure et morphologie de grain de blé dur .....	3
1.4 Composition biochimique.....	4
1.4.1 L'eau .....	5
1.4.2 Les glucides .....	5
1.4.3 Les protéines .....	6
1.4.3.1- Protéines solubles.....	6
1.4.3.2- Protéines de réserve.....	6
1.4.4 Le gluten .....	6
1.4.5. Les lipides .....	7
1.4.6. Les éléments minéraux : .....	7
1.4.7. Les oligoéléments .....	7
1.4.8 Les vitamines .....	7
1.4.9. Les enzymes .....	7
1.4.10. Les pigments .....	8
1.4.11. Les fibres alimentaires .....	8
1.5. Utilisation du blé dur .....	8
2. Le Tribolium confusum.....	8
2.1 Généralités sur la famille des Ténébrionidés.....	8
2.2 Systématique.....	9
2.3 Répartition géographique.....	9
2.4 Appellation .....	9
2.5 Description des différents stades de développements .....	10
2.6 Biologie de <i>T. confusum</i> .....	12
2.7. Distinction de sexe de <i>T. confusum</i> .....	12

2.8 Régime alimentaire et dégâts.....	13
2.9 Les ennemis naturels .....	14
2.10 Les moyens de Lutte contre Tribolium.....	14
2.10.1 Lutte préventive .....	14
2.10.2 Lutte curative .....	14

## **Chapitre 2 : Aperçu sur les huiles essentielles**

1 Les huiles essentielles .....	16
1.1 Généralités sur les huiles essentielles .....	16
1.2 Définition.....	16
1.3 Historique .....	16
1.4 L'huile essentielle au sein du végétal .....	17
1.4.1 Répartition des huiles essentielles dans le règne végétal.....	17
1.4.2 Localisation des huiles essentielles au sein du végétal .....	17
1.5 Propriétés physiques et chimiques des huiles essentielles.....	17
1.5.1 Composés terpéniques .....	18
1.5.2 Composés phénoliques.....	19
1.6 Procédés d'extraction des essences naturelles .....	19
1.6.1 Distillation.....	19
1.6.1.1 Entraînement à la vapeur d'eau.....	19
1.6.1.2 Hydro-distillation .....	20
1.6.2 Par enfleurage .....	21
1.6.3 Extraction assisté par micro-ondes .....	22
1.7. Les différents types d'activités des huiles essentielles .....	22
1.7.1. Activité biologique.....	22
1.7.2 Activité antioxydante .....	22
1.7.3 Activité antimicrobienne.....	23
1.7.4 Activité antifongique .....	23
1.7.5 Activité antivirale.....	23
1.7.6 Activité anti-inflammatoire.....	23
1.7.7 Activité insecticide des huiles essentielles .....	23
1.8 La toxicité des huiles essentielles .....	23
1.9 Conservation des huiles essentielles .....	24
1.9.1 Le conditionnement .....	24
1.9.2 Etiquetage .....	24
1.9.3 La conservation.....	25

2. Les plantes aromatiques étudiées .....	25
2.1. Menthe poivrée .....	25
2.1.1 Origine, distribution géographique et culture .....	25
2.1.2 Description botanique .....	26
2.1.3 Systématique .....	26
2.1.4 Les différentes dénominations .....	27
2.1.5 Composition chimique .....	27
2.1.6 Utilisation thérapeutique .....	27
2.2 Marjolaine à coquilles.....	28
2.2.1 Origine, distribution géographique et culture .....	28
2.2.2 Description botanique .....	28
2.2.3 Systématique .....	29
2.2.4 Composition chimique .....	29
2.2.5 Utilisation thérapeutique .....	30
2.3 Sauge .....	30
2.3.1 Origine, distribution géographique et culture .....	30
2.3.2 Description botanique .....	30
2.3.3 Systématique .....	31
2.3.4 Les différentes dénominations .....	31
2.3.5 La composition chimique.....	32
2.3.6 Utilisation thérapeutique .....	32

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre 3 : Matériels et méthodes**

1. Matériels.....	33
1.1. Matériel de laboratoire.....	33
1.2 Matériel biologique.....	34
1.2.1 Matériel animal ( <i>T. confusum</i> ).....	34
1.2.2. Matériel végétal.....	34
2. Méthodes .....	35
2.1 L'élevage de masse.....	35
2.2. Test d'inhalation .....	36
3. Analyse statistique.....	37
4. Détermination de la composition chimique des huiles essentielles Par chromatographie en phase gazeuse (CPG).....	38

## Chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Résultats .....	40
1.1. Résultats de l'analyse chromatographique des huiles essentielles .....	40
1.2 Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les œufs de <i>T. confusum</i> par inhalation .....	42
1.2.1 Effet de l'huile essentielle de la sauge ( <i>S. sclarea</i> ) à l'égard des œufs de <i>T.confusum</i> .....	42
1.2.2 Effet de l'huile essentielle de la marjolaine à coquille ( <i>O. majorana</i> ) à l'égard des œufs de <i>T. confusum</i> .....	43
1.2.3 Effet de l'huile essentielle de la menthe poivrée ( <i>M. piperita</i> ) à l'égard des œufs de <i>T. confusum</i> .....	44
1.2.4 Résultat du test d'inhalation de la mixture Sauge xMarjolaine à coquilles x Menthe poivrée après 24h sur les œufs de <i>T. confusum</i> .....	45
1.3 Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les larves de <i>T.confusum</i> par inhalation .....	46
1.3.1 Effet de l'huile essentielle de la sauge ( <i>S. sclarea</i> ) à l'égard des larves de <i>T. confusum</i> .....	46
1.3.2 Effet de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles ( <i>O. majorana</i> ) à l'égard des larves de <i>T. confusum</i> .....	47
1.3.3 Effet de l'huile essentielle de la menthe poivrée ( <i>M. piperita</i> ) à l'égard des larves de <i>T. confusum</i> .....	48
2. Discussion sur la toxicité des trois huiles essentielles par inhalation sur les œufs et larves de <i>T. confusum</i> .....	51
<b>Conclusion</b> .....	<b>56</b>

### Références bibliographiques

# **Introduction générale**

Les céréales sont des plantes monocotylédones, graminées sauvages ou cultivées qui produisent des grains comestibles utilisés principalement pour l'alimentation humaine, souvent sous forme de grains raffinés ou plus ou moins entiers à pulvériser selon conseil européen de l'information sur l'alimentation (**EUFI**C). Le terme « grain » désigne également les grains de ces plantes, par métonymie. Outre l'alimentation humaine, les céréales sont pareillement utilisées dans l'alimentation animale (sous forme de céréales, paille, fourrage, ensilage) et industrielle (alcool éthylique, dérivés d'amidon, biocarburants, matériaux de construction, etc.). En 2020, la production mondiale de céréales était d'environ 3 milliards de tonnes. Les cinq principales céréales, qui représentent près de 97% du total, sont le maïs, le blé, le riz, l'orge et le sorgho (**FAO, 1995**).

Les céréales d'hiver (blé dur, blé tendre, orge) restent des aliments de base et revêtent une importance stratégique dans l'alimentation humaine et animale. En effet, ils occupent une place privilégiée dans l'agriculture de la région, confirmant un élément stratégique de l'économie maghrébine (**Simon et al., 1989**). Elles sont cultivées par l'homme depuis des milliers d'années et ont nourri des milliers de personnes. Malheureusement, elles sont sensibles à de nombreuses maladies bactériennes, fongiques ou virales qui peuvent affecter le rendement et la qualité des grains (**Gayet, 2016**). Les réserves de céréales sont également essentielles à la survie humaine. Apparue avant et après la révolution néolithique, la gestion du stockage des céréales est capitale à l'organisation de la plupart des sociétés, car elle implique trois activités humaines: nourriture, l'agriculture et échange des stocks de céréales en échange de troc. Les céréales stockées peuvent avoir des propriétés techniques, nutritionnelles et sanitaires altérables par des bactéries, virus, parasites, produits chimiques et substances étrangères. Ces dangers affectent aussi bien les consommateurs que la santé publique et la valeur économique. En matière de conservation des céréales, trois types de dangers sont couramment identifiés, parmi ces dangers des menaces biologiques, des ravageurs tels que les Triboliums notamment *Tribolium confusum*. Ces ravageurs endommagent les cultures, entraînant des pertes qualitatives et quantitatives. La principale raison de leur apparition est la présence de conditions climatiques favorables à leur croissance et à leur survie. Certains ravageurs endommagent les graines pendant la maturité et persistent pendant le stockage (**Pruthi et Singh, 1950**).

Aujourd'hui, la guerre chimique, qui consiste à utiliser des pesticides, que ce soit sur site ou dans des bâtiments de stockage, est le moyen le plus adapté pour lutter contre ces ravageurs. Cependant, plusieurs études toxicologiques ont montré l'impact de ces produits dangereux sur la santé humaine et l'environnement (**Taibi et al., 2003 ; Delimi et al., 2015**).

En effet, l'utilisation de pesticides entraîne non seulement des problèmes de résistance chez les ravageurs, mais a également des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. En outre, il existe des problèmes tels que le coût, la manipulation et le stockage des pesticides. Compte tenu des multiples problèmes liés à l'utilisation de pesticides chimiques, l'utilisation de pesticides biologiques est considérée comme une solution alternative. De nombreuses études ont été menées sur ces remèdes naturels (**Munyuli, 2003 ; Mukendi et al., 2014 ; Kanana et Muniengi, 2018**). Les agriculteurs pratiquent des méthodes traditionnelles depuis des siècles, ajoutant des produits locaux tels que des minéraux, des huiles, des feuilles et des extraits de plantes aux aliments pour les protéger contre les multiples invasions (**Regnault-Roger 2005**).

Les plantes aromatiques sont parmi les pesticides d'origine botanique les plus efficaces, et les huiles essentielles constituent souvent la partie bioactive des extraits de plantes (**Shaaya et al., 1997**). Les huiles essentielles occupent désormais une place importante dans les systèmes réglementaires, et leur rôle dans la recherche phytopharmaceutique dans des pays spécifiques du monde n'est plus à prouver (**Lahlou, 2004**). Leurs effets toxiques (par contact, inhalation et répulsion) sur la fertilité des insectes ont été démontrés à plusieurs reprises. Dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui consiste à évaluer l'action bioinsecticide des huiles essentielles de trois plantes menthe poivrée (*Mentha x piperita*), la marjolaine à coquilles (*Origanum majorana*) et la sauge (*Salvia sclarea*) sur les œufs et les larves de l'insecte ravageur *T. confusum* dans les conditions de laboratoire.

Notre travail se compose de deux parties.

Partie I : Synthèse bibliographique qui présente et explique les divers termes utilisés dans ce mémoire. Elle comprend deux chapitres traitant de la plante hôte (blé dur), le ravageur (*T. confusum*), un aperçu sur les huiles essentielles, et une introduction aux trois plantes aromatiques testées.

Partie II : Cette seconde partie comprend le matériel utilisé, les méthodes adoptées ainsi que les résultats obtenus et leur discussion.

Notre travail se termine par une conclusion et quelques perspectives.

**Chapitre 1**  
**Présentation de la plante**  
**hôte et aperçu biologique**  
**sur le *Tribolium confusum***

## 1. Le blé dur

### 1.1 Généralités sur le blé dur

Le blé dur (*Triticum durum*) est une céréale de la famille des graminées et aussi une culture annuelle contenant plus de 10000 espèces différentes. Cette dernière est cultivée pour l'alimentation des habitants des régions tempérées depuis la préhistoire. Le blé dur est largement cultivé sur tous les continents, mais principalement en Europe et en Asie (**Simon, 1989**). Le blé dur appartient à la classe des Monocotylédones et au genre *Triticum*.

Le blé dur, ainsi appelé en raison de la dureté de son grain, est issu d'un croisement naturel entre deux espèces sauvages, *Aegilops speltoides* et *Triticum boeoticum*. C'est une espèce tétraploïde à 28 chromosomes. Le blé dur est la céréale la plus cultivée en Algérie, le grain est transformé en semoule et utilisé pour l'alimentation humaine, avec une consommation moyenne de 105 kg par habitant et par an (**Zaghouane et al., 2003**).

### 1.2 Taxonomie du blé dur

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

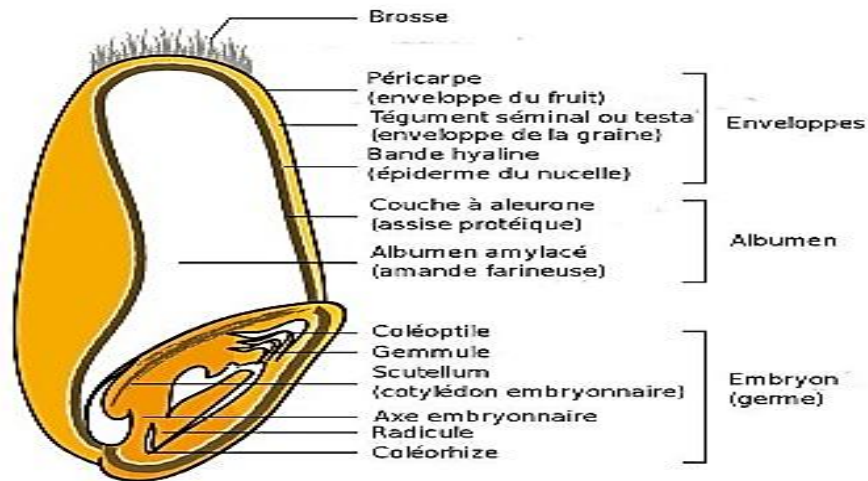
- **Règne** : Plantae.
- **Sous règne** : Cormophytes.
- **Embranchement** : Spermaphytes.
- **Sous-embranchement** : Angiospermes.
- **Classe** : Monocotylédones.
- **Ordre** : Poales.
- **Famille** : Poaceae.
- **Genre** : *Triticum*.
- **Espèce** : *Triticum durum* (Desf.).

### 1.3 Structure et morphologie de grain de blé dur

Selon **Calvel (1984)**, les grains de blé ont une forme ellipsoïdale allongée, divisée sur leur longueur en deux lobes par des sillons profonds, et au sommet desquels se trouvent des poils blanchâtres appelés brosses ou barbes (Fig.1).

D'un point de vue morphologique, le blé dur se distingue par plusieurs caractéristiques physiques. Par exemple, une forme de grain allongé (6-9 mm de long, 2,2-3,2 mm d'épaisseur), des stries ouvertes, une croûte blanc ambré et surtout une texture très vitreuse et un kern plus résistant aux chocs (Jeanatet et al., 2007 ; Franconie, 2010).

Selon Feillet (2000), le grain de blé est constitué de trois parties principales, de l'extérieur vers l'intérieur : la balle, le grain et le germe.



**Figure 1:** Structure anatomique d'un grain de blé (Spedona, 2017).

#### 1.4 Composition biochimique

Le blé est principalement composé d'amidon et représente environ 70% de la matière sèche totale. Il contient également 10 à 15 % de protéines et 8 à 10 % de pentosanes (Polysaccharides non amylicés) principaux composants des parois cellulaires des protéines (Tableau 1). La protéine est présente dans tous les tissus du grain de blé, avec des concentrations élevées dans les couches germinales et d'aleurone (Feillet, 2000).

Les granulés d'amidon sont enfermés dans une matrice protéique. La texture des grains de semoule provient de la force de cette liaison protéine-amidon. Ces derniers sont facilement détruits par le broyage du blé (Hoseney, 1994).

Neron (2000) a ajouté que la teneur en amylose influence les propriétés rhéologiques lors de la transformation de l'amidon.

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

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

**1.4.1 L'eau** : La teneur en humidité des grains de blé à la récolte est de 15% à 21% ou plus, selon le climat de la région de culture, avec une moyenne actuelle de 13 à 14% (Okandza, 2000). Selon Godon et Willm (1998), les céréales sont particulièrement déshydratées et leur taux d'humidité est d'environ 14% chez le blé dur, et le taux d'humidité joue un rôle important dans la transformation de la semoule.

**1.4.2 Les glucides** : Les glucides sont des substances particulièrement énergétiques et sont clairement majoritaires (plus de 60 % de poids humide ou plus de 80 % de poids sec). Ils sont composés majoritairement d'amidon et s'assemblent sous forme de granulés, la taille de ces petits granulés étant sphérique ou lenticulaire et variant de 2 à 40  $\mu\text{m}$  (Godon et Willm, 1998).

- Monosaccharides : Un grand nombre de composés glucidiques structuraux sont présents dans les grains, et leur teneur varie de 2 à 10 % selon les espèces. La structure des sucres favorise une libération très rapide des sucres simples comme le glucose et le maltose (Godon, 1991).
- Amidon : Composant majeur du grain de blé et de la protéine féculente (67- 68 % et 78-82 %, respectivement). L'amidon se présente sous forme de particules de diamètre compris entre 10 et 40  $\mu\text{m}$ . Distinguer les gros grains : amidon A (concentré au centre de l'amande) et les petits grains : amidon B (concentré en périphérie) (Jeanatet et al., 2007). Ces grains à prédominance glucidique constituent les réserves de sucre formées lors de la

photosynthèse. Les granulés d'amidon sont composés d'un mélange de deux polysaccharides : l'amylose et l'amylopectine.

- Cellulose : Selon **Godon et Willm (1998)**, la cellulose constitue le composant principal des parois cellulaires. C'est un polymère glucidique de haut poids moléculaire constitué d'une moyenne de 3000 unités de glucose. C'est le polysaccharide structural majeur des plantes, dont la composition semble être indépendante de l'origine végétale, et c'est un  $\beta$ -D-glucane composé de résidus d'anhydroglucopyranose liés par des liaisons  $\beta$  1-4.

**1.4.3 Les protéines :** Derrière l'amidon du blé, les protéines représentent 8 à 18 % de la matière sèche (**Feillet, 2000**). Depuis les travaux de **Samson et Desclaux (2006)**, les protéines de blé sont réparties en quatre grandes classes qui se distinguent par leur solubilité dans l'eau.

**1.4.3.1-Protéines solubles :** Aussi appelées protéines cytoplasmiques ou métaboliques, elles représentent 15 à 20 % des protéines totales (**Alais et al., 2003**).

- a. Albumine (environ 15 % des protéines totales) : L'albumine est principalement concentrée autour du grain et dans les plantules (**Feillet, 2000**).
- b. Globine (approximativement 5 % des protéines totales) : Comme l'albumine, elle est concentrée en périphérie des grains (**Feillet, 2000**).

**1.4.3.2-Protéines de réserve** (80-85 % de la matière protéique totale) : La gliadine et la gluténine, constituants majeurs du gluten en proportions à peu près égales, constituants des protéines de réserve dont les jeunes plants tirent les acides aminés nécessaires à la germination du grain.

- a. Gliadines : sont également appelées prolamines de blé, principalement concentrées dans l'amande (**Morot-gaudry, 1997**).
- b. Glutenine : ou glutenine de blé comme la gliadine, la glutenine se trouve fondamentalement dans les protéines des céréales (**Jeanatet et al., 2007**).

**1.4.4 Le gluten :** Le gluten de blé, décrit pour la première fois par Jacopo Beccari en 1745, contient de la gliadine et de la gluténine (75- 85% de matière sèche), de l'amidon (8- 18% MS), et des sucres réducteurs (1-2% MS), des lipides (5 à 10% MS), des pentosanes (2% MS) et des minéraux (1% MS) (**Feillet, 2000**). La viscosité et l'extensibilité du gluten peuvent s'expliquer par le glissement moléculaire (**Khelassi et Mekmouche, 2009**).

**1.4.5. Les lipides :** les lipides représentent 1,5-3,5 % du poids total du grain, principalement associés aux protéines et à l'amylase, y compris les acides gras insaturés (oléique, linoléique) et saturés (palmitique, stéarique). Enfin, ceux extraits par les lipides sans éther, notamment leurs interactions avec les lipides et les protéines endogènes, modifient les propriétés fonctionnelles du gluten et contribuent à la régularité de la structure alvéolaire (**Boudreau et Menard, 1992**).

**1.4.6. Les éléments minéraux :** Selon **Godon et Willm (1991)**, la teneur moyenne en minéraux des grains de blé est d'environ 1,8 % et leur concentration dans la couche d'aleurone, est de 0,5 à 1 % en protéines féculentes. Ces niveaux sont relativement fixes quelles que soient les conditions extérieures dans lesquelles le grain a été cultivé. Le potassium (K) et le phosphore (P) représentent à eux seuls environ 50 % des minéraux. Tous les sels minéraux qui contribuent au fonctionnement harmonieux du corps humain sont présents dans le germe de blé dans des proportions compatibles avec les besoins de l'organisme : phosphore, sodium, magnésium, potassium, fer et soufre.

**1.4.7. Les oligoéléments :**

- Manganèse : Permet l'assimilation du complexe de vitamines B.
- Cuivre : Facilite la fixation du fer.
- Iode : L'importance de l'iode s'explique par son rôle dans le bon fonctionnement de la glande thyroïde.

**1.4.8 Les vitamines :** Bien que la teneur en vitamines du blé soit bien inférieure à celle des autres ingrédients, sa valeur nutritionnelle est très importante. Parmi elles, le blé contient trois vitamines : la B1 (thiamine), qui favorise l'absorption et le métabolisme des glucides au niveau de chaque cellule, son action est donc fondamentale pour l'ensemble de l'organisme, la B2 (riboflavine), qui intervient dans le métabolisme des lipides, et B3 (niacine) ou PP, qui intervient également dans l'assimilation des sucres à chaque niveau cellulaire de l'organisme. La vitamine B3 se trouve principalement dans la zone située entre le tégument et le germe. Le blé dur contient aussi d'autres vitamines telles que la vitamine B6 (pyridoxine), B5 (acide pantothénique) et la vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol) qui permettent le métabolisme des acides aminés, ces derniers dissous dans les lipides du germe (**Godon et Willm, 1991**).

**1.4.9. Les enzymes :** Les enzymes sont des substances de nature protéique, parfois associées à des substances minérales et organiques, et sensibles aux changements de température et de pH de l'environnement. Les enzymes les plus couramment retrouvées dans le blé sont les amylases

( $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase), les lipases, les lysoxygénases et les phytases. (Boudreau et Ménard, 1992).

**1.4.10. Les pigments :** Le blé contient principalement des caroténoïdes. Ce sont des pigments liposolubles et sont distribués dans le son, les protéines et le germe. Ils sont responsables du jaunissement des pâtes et de la semoule (Franconie, 2010).

**1.4.11. Les fibres alimentaires :** Ce sont des polysaccharides non amylacés qui ne peuvent pas être digérés par l'homme. Il existe des fibres alimentaires solubles dans l'eau et des fibres alimentaires insolubles qui sont abondantes dans les mêmes aliments. Les fibres gonflent et absorbent jusqu'à 20 fois leur poids en eau. C'est l'un des principaux constituants des parois de l'albumen (Jeanatet et al., 2007).

## 1.5. Utilisation du blé dur

Les grains de blé dur transformés en semoule sont utilisés pour fabriquer une variété de pâtes de pains, de gâteaux traditionnels et de couscous. Le blé dur est un aliment énergétique riche en protéines et en minéraux (Mg, P, Zn, K). Sa teneur en protéines est supérieure à celle du blé tendre et les résidus de mouture du grain sont utilisés dans l'alimentation humaine et animale pour ajouter des fibres aux aliments. Les résidus de blé dur (paille et chaume) sont une source d'alimentation animale et la paille est également utilisée comme litière pour les animaux. Le gluten et l'amidon sont pareillement utilisés dans la production de produits non alimentaires tels que les produits de beauté, les films et sacs plastiques, les savons, les produits en papier, les adhésifs... (Amrani, 2006).

## 2. Le *Tribolium confusum*

### 2.1 Généralités sur la famille des Ténébrionidés

Les Ténébrions sont l'une des plus grandes familles du règne animal (plus de 15 000 espèces ont été décrites), sont des coléoptères dont la taille varie de 2 mm à 80 mm. La forme est très variable, la plupart ont une carapace noire, dure, épaisse, terne ou brillante. Dans certaines sous-familles, les yeux sont généralement grands, ovales ou ronds. Les antennes sont constituées de 11 segments, rarement 10 ailés, avec des veines ptérygoïdes de type primitif. Les pattes sont longues ou resserrées, souvent creusées (Balachowsky, 1962). Certains ténébrionidés se trouvent couramment dans les zones sombres (sous-sols, réserves, placards). Les adultes ont une apparence variable, mais les larves sont cylindriques avec une peau principalement sclérifiée. De nombreux

ténébrionidés ont été signalés comme ravageurs des cultures et d'autres d'aliments conservés, y compris le genre *Tribolium*. Ce genre comprend deux espèces principales, *T. castaneum* herbst et *T. confusum* Duval (**Delobel et Tran, 1993**). Ces ravageurs communs sont connus pour vivre et infester les aliments conservés tels que la farine et les céréales. Ils ont des ailes bien développées, mais volent rarement. En se déplaçant, ils peuvent sécréter des substances chimiques appelées quinones. Ceux-ci peuvent rendre les aliments infestés roses et émettre une odeur âcre (**Cruz et Diop, 1989**).

### 2.2 Répartition géographique

*T. confusum* est d'origine indo-australienne (**Smith et Whitman, 1992**). Son aire de répartition est très large dans le monde. Il est généralement distribué dans le monde entier. Selon **Lepesme (1944)**, cette espèce préfère les régions tempérées et est très commune dans les climats froids du nord de l'Europe et de l'Amérique (**Anonyme, 2001**).

### 2.3 Systématique

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

- **Règne** : Animalia.
- **Embranchement** : Arthropoda.
- **Sous-embranchement** : Hexapoda.
- **Classe** : Insecta.
- **Sous-classe** : Pterygota.
- **Ordre** : Coleoptera.
- **Sous-ordre** : Polyphaga.
- **Famille** : Tenebrionidae.
- **Genre** : *Tribolium*.
- **Espèce**: *Tribolium confusum* (DUVAL).

### 2.4 Appellation

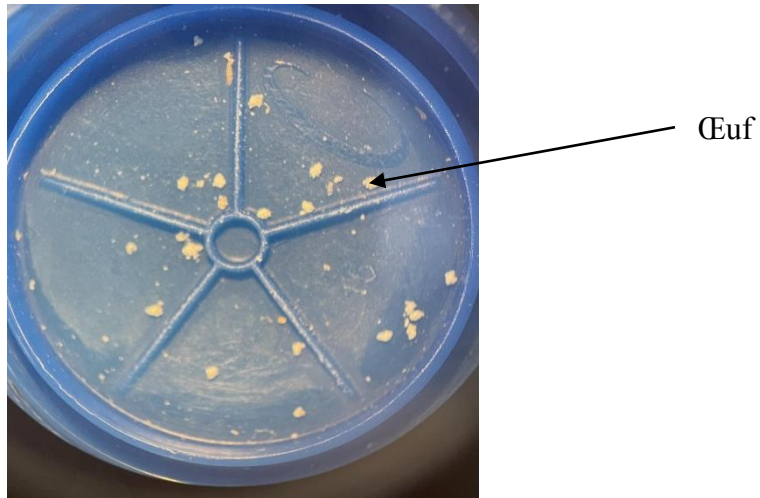
Cette espèce a été décrite pour la première fois par **Jacquelin Duval (1868)**. Le nom commun attribué à ce ravageur en langue française est le Tribolium brun de la farine.

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 Tran, 1993**).

### 2.5 Description des différents stades de développements

*T. confusum* a quatre stades de développements qui sont :

- L'œuf : est ovale, sans gravure, longueur moyenne 0,6 mm (Steffan, 1978). Il est rectangulaire, blanchâtre, presque transparent, surface lisse. Il est recouvert d'une substance collante et peut adhérer aux aliments infectés (Fig.2) (Lepesme, 1944).



**Figure 2:** Les œufs de *T. confusum* G (10 ×4) (Originale, 2023).

- La larve : Son corps est recouvert d'une peau assez douce, tachetée de jaune sur le dessus et recouverte de nombreuses soies se termine par une paire d'urogomphes de couleur rousse (Fig.3). Les larves ne mesurent pas plus de 1,4 mm à l'éclosion, mais atteignent 6 à 7 mm à maturité. Le nombre de mues varie d'un minimum de 4 à un maximum de 11, en fonction de nombreux facteurs tels que la température, l'humidité et la qualité des aliments (Steffan, 1978). Elle est étroite et mobile, et de couleur blanche à ocre (Anonyme, 2001).



**Figure 3:** La larve de *T. confusum* G (10 ×4) (Originale, 2023).

La nymphe : est nue, de couleur blanche à jaune pâle, et a la tête baissée sous son prothorax (Fig.4). Les pupes mâles mesurent environ 3,25 à 4,15 mm de long (du bord antérieur du prothorax à l'urogompe) et 0,95 à 1,25 mm de large, tandis que les pupes femelles mesurent environ 3,6 à 4,0 mm de long et environ 0,25 à 1 mm de largeur. L'abdomen conique de la pupe est le dernier segment avec une structure à deux pointes, l'urogompe (Zohry, 2007). D'après Lepesme (1944), les nymphes femelles possèdent deux petites cornes ventrales sur une paire d'urogomphes dont les extrémités sont très pointues et brun foncé. Il est réduit à une saillie légèrement plus profonde chez les mâles.

La nymphe est non protégée et immobile (Balachowsky et Mensil, 1936).



Figure 4: La nymphe de *T. confusum* G (10 × 4) (Originale, 2023).

- L'adulte ou l'imago : Les nymphes muent et donnent naissance aux adultes (Anonyme, 1955). Ces derniers sont des coléoptères oblongs bruns rougeâtres, de 4,0 à 4,5 mm de long et de 1,0 à 1,2 mm de largeur (Fig.5). Morphologiquement, les mâles et les femelles sont indiscernables. La tête peut être vue d'en haut et la cage thoracique est légèrement parallèle aux côtés. Les pattes sont courbées, les os postérieurs du tarse ont quatre segments et les antennes à 11 anneaux sont cylindriques (Zohry, 2007). Antennes sont perlées, agrandies dans les trois derniers segments (Balachowsky, 1962).

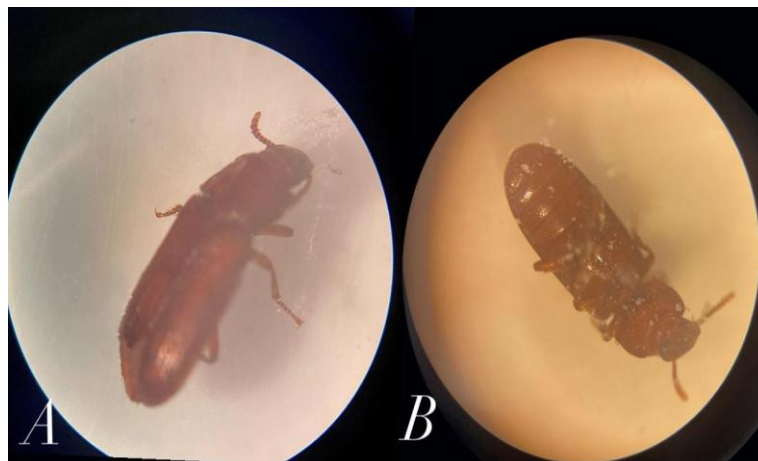


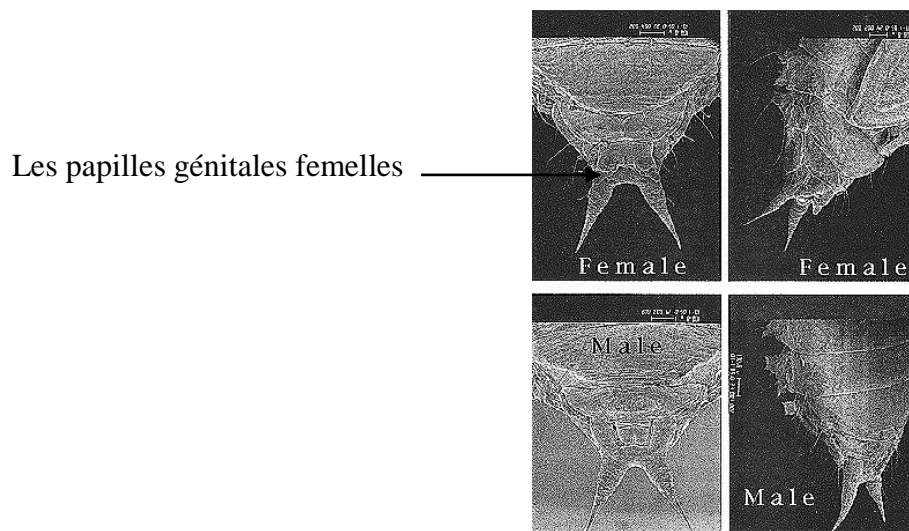
Figure 5: L'adulte de *T. confusum* vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) (G:10×4) (Originale, 2023).

## 2.6 Biologie de *T. confusum*

Les femelles de *T. confusum* sont très productives, dans des conditions optimales de 30 ou 33 °C et 70 % d'humidité relative, pondent environ 450 à 500 œufs. L'espérance de vie des insectes est généralement de six mois ou plus et peut aller jusqu'à quatre ans. Les œufs éclosent au bout de 5 à 12 jours. Les œufs sont déposés en grand nombre sur les graines et sont difficiles à détecter. Les larves circulent librement dans les graines infectées puis se nymphosent (**Delobel et Tran, 1993**). Le premier accouplement a lieu approximativement deux jours après la sortie des adultes et dure entre 3 et 15 minutes. Les jeunes larves atteignent 5 à 12 stades selon les conditions de température et d'humidité. Les larves se déplacent librement dans la denrée infestée, où elles se nymphosent en petites larves blanches et nues qui virent progressivement au jaune puis au brun. Les adultes éclosent 6 jours après la nymphose dans des conditions de 32,5°C et 70% d'humidité relative, avec un cycle de 24–26 jours. La croissance s'arrête en dessous de 22°C et le cycle de vie est considérablement allongé dans les climats froids. Lorsqu'il n'y a pas de nourriture, *T. confusum* est cannibale, dévorant les œufs et les larves de la même espèce (**Steffan in Scotti, 1978**).

## 2.7. Distinction de sexe de *T. confusum*

Les mâles et les femelles des coléoptères adultes sont presque identiques. Le sexe des coléoptères est généralement déterminé au stade nymphal, les mâles et les femelles ayant des caractéristiques différentes. Parce que les chrysomèles sont petites et ont des membres encore plus petits, la détermination du sexe doit être effectuée sous un microscope optique. Le *T. confusum* doit être placé sur le dos, le ventre vers le haut. Au bout de l'abdomen se trouve un urogomphe. Au-dessus de l'urogomphe, légèrement au-dessus de l'abdomen, se trouvent deux petites saillies appelées papilles génitales. Les papilles génitales femelles sont pointues, avec deux points sombres à chaque sommet, environ la moitié de la taille d'urogomphe. Les papilles génitales masculines sont courtes, interconnectées et à peine perceptibles (Fig.6) (**Anonyme, 2018**).



**Figure 6:** Image de distinction entre le mâle et la femelle chez l'espèce de *T. confusum* (Beeman et al., 2022).

### 2.8 Régime alimentaire et dégâts

Le *Tribolium* recherche principalement les féculents pulvérulents tels que la farine, le son et les intermédiaires (Lepesme, 1944). Les adultes excrètent des substances riches en quinones qui confèrent une odeur particulièrement désagréable et une couleur très dégradée aux aliments ingérés (Fig.7). Cette matière est irritante pour les humains et peut causer des maux d'estomac (Regnault-Roger, 2002). Les adultes sont très polyphages, et les larves et les adultes se nourrissent essentiellement de grains cassés et attaquent les grains endommagés, étant ainsi secondairement carnivores. Souvent, l'infestation par les triboliums favorise le développement de moisissures, entraînant des réductions importantes de la qualité et de la valeur des grains (Steffan in Scotti, 1978).



**Figure 7:** Dégâts de *T. confusum* sur la semoule commerciale (originale, 2023).

## 2.9 Les ennemis naturels

Selon **Lepesme (1944)**, quelques arthropodes tendent à limiter l'activité de *Tribolium*, en particulier les acariens tels que : le *Pyecyotes ventricosus* Newp et le *Acarophenax tribolii* Nemp et les Béthylides tels que le *Holepyris sylvanidis* (syn : *Rhabdepyris zea*) et *Scleroderma immigrans* Bridw qui parasitent les larves.

## 2.10 Les moyens de Lutte contre *Tribolium*

Il existe plusieurs façons de contrôler et de prévenir *T. confusum*.

### 2.10.1 Lutte préventive

La lutte préventive consiste en un contrôle sanitaire strict des moyens de transport et des machines de récolte. Un nettoyage et une vérification appropriés des crevasses et des endroits où les insectes peuvent se cacher sont recommandés dans les abris. Le grain doit être séché avant d'être stocké. Ces mesures sont essentielles pour réduire ou prévenir la propagation (**Ducom, 1982 ; Semsar, 2013**).

### 2.10.2 Lutte curative

- Lutte physique : Le froid, la chaleur, les rayonnements ionisants et les substances inertes sont exploités par la lutte physique. Les insectes ont du mal à survivre à des températures élevées. L'exposition des adultes à une température de 55 °C pendant quelques minutes est suffisante pour les tuer (**Labeyrie, 1962**). Une température de 34°C provoque 65% de mortalité et les adultes formés sont anormaux (**Serpeille, 1991**). Les températures froides ralentissent l'activité biologique et entraînent la mort de certains ravageurs. A des températures inférieures à 6°C, les larves ne peuvent pénétrer à l'intérieur de la graine (**Serpeille, 1991 in Semsar, 2013**). A des températures de -1°C, les insectes ne peuvent pas survivre plus d'un mois (**Labeyrie, 1962 ; Semsar, 2013**). Stockage sous atmosphère inerte : les insectes ont peu de chances de survivre au stockage sous dioxyde de carbone et azote (**Gwinner et al., 1996 in Semsar, 2013**). Au cours de ce processus, la teneur en oxygène de l'atmosphère des joints de grains est réduite à des niveaux (<1% d'O<sub>2</sub>) mortels pour les insectes (**Semsar, 2013**).
- Lutte chimique : L'utilisation de produits phytosanitaires pour lutter contre le *Tribolium* est le moyen le plus répandu et le plus efficace. Et ce malgré les problèmes de résistance qu'il pose aux insectes et ses effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine (**Dajoz,**

2002 in Semsar, 2013). La lutte chimique comprend les fumigants et les insecticides de contact.

- Lutte biotechnologique : Les produits utilisés dans cette méthode sont des phéromones synthétiques qui confondent les répulsifs contre les odeurs et provoquent des troubles du comportement chez les adultes et les régulateurs de croissance des insectes (IRG) qui sont si puissants que la progéniture ne peut pas se reproduire (Gwinner et al., 1996 in Semsar, 2013).
- Lutte biologique : Les moyens biologiques réduisent le nombre d'organismes nuisibles, en particulier les ennemis naturels tels que les prédateurs, les parasites, les agents pathogènes (bactéries, champignons, etc.) et les produits naturels d'origine végétale tels que les poudres minérales, les huiles végétales et les huiles essentielles (Seck, 1991).

**Chapitre 2**  
**Aperçu sur les**  
**huiles essentielles**

## 1 Les huiles essentielles

### 1.1 Généralités sur les huiles essentielles

L'aromathérapie est l'utilisation d'huiles essentielles. Cela implique de collecter les ingrédients actifs de la plante par un processus complexe appelé distillation à la vapeur, résultant en une forme liquide et concentrée connue sous le nom d'"huile essentielle". Cependant, à proprement parler, il ne s'agit pas de corps gras, mais d'une myriade de molécules actives concentrées dans un tout petit volume. Toutes les huiles essentielles ont une composition chimique spécifique appelée chémotype. Cela dépend de l'environnement de la plante, du lieu de culture, du sol, de l'exposition au soleil, de la température, de la résistance aux intempéries, etc. Par conséquent, une même espèce végétale peut produire différentes huiles essentielles et avoir plusieurs chémotypes (**Anonyme, 2020**).

### 1.2 Définition

Le terme huile essentielle (HE) vient du terme « Quinta essentia » donné par le médecin suisse Paracelse à l'extrait de plante obtenu par distillation (**De Billerbeck et al., 2002**). Selon l'Association française de normalisation (**Afnor, 2000**), les huiles essentielles (aussi appelées essences ou huiles volatiles) sont des produits obtenus par distillation à l'eau ou à la vapeur à partir de sources naturelles ou par séparation mécanique à partir d'agrumes. Il subit des processus physiques à partir de la phase aqueuse. Les huiles essentielles sont des liquides concentrés de constituants végétaux obtenus par distillation des molécules volatiles de la plante source (**Sanon et al., 2002**).

### 1.3 Historique

Les premières traces de l'utilisation de l'HE elle-même ont été trouvées en Égypte entre 3000 et 2000 avant JC. En effet, durant cette période, des méthodes de distillation rudimentaires semblent avoir été utilisées pour extraire les substances des plantes aromatiques (**Jouault, 2012**). L'utilisation des plantes aromatiques remonte à l'Antiquité. L'homme s'intéresse depuis toujours à l'environnement, cette ressource végétale riche et accessible, que ce soit pour un usage domestique, alimentaire ou à des fins thérapeutiques évidentes (**Laguerre, 2015**).

Selon **Ntezurubanza (2000)**, l'histoire de l'aromathérapie, ou des huiles essentielles, peut se résumer en quatre époques :

- Une époque où les plantes aromatiques étaient utilisées telles quelles ou sous forme de décoctions.
- Plantes aromatiques sont brûlées, trempées ou imbibées d'huile végétale. À ce stade, l'idée d'activités liées aux odorants entre en jeu.
- La troisième période correspond à la recherche de l'extraction de cette substance odorante. Puis le concept d'huiles essentielles est apparu, entraînant l'émergence et le développement de méthodes de distillation.
- Enfin, dans le dernier contemporain, la connaissance des constituants des huiles essentielles intervient pour expliquer les effets physiques, chimiques, biochimiques, physiologiques et même électroniques des senteurs végétales.

#### 1.4 L'huile essentielle au sein du végétal

##### 1.4.1 Répartition des huiles essentielles dans le règne végétal

Les huiles essentielles sont très largement répandues chez les végétaux supérieurs. Les genres qui peuvent produire ces composants pétroliers appartiennent à un nombre limité de familles : Apiacées, Astéracées, Labiacées, Lauracées, Myrtacées, Pinacées, Rutacées, Zingibéracées, etc. (**Laurent, 2017**).

##### 1.4.2 Localisation des huiles essentielles au sein du végétal

Les huiles essentielles se trouvent presque exclusivement dans les plantes supérieures (**Bekhechi et Abdelouahid, 2014**). Elles sont localisées dans des petites glandes dans diverses parties des plantes aromatiques : feuilles, fleurs, fruits, graines, écorce et racines de certaines plantes (**Makhloufi, 2013**).

#### 1.5 Propriétés physiques et chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont généralement liquides à température ambiante (la volatilité augmente avec le chauffage), sont volatiles, ont une odeur très forte et sont incolores et jaune pâle. Ils sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans les solvants et les huiles. Ils s'oxydent au contact de l'air et de la lumière (**Charpentier et al., 2008**). Les huiles essentielles se

caractérisent par une grande variété de compositions chimiques. Il existe des milliers de composants isolés et bien d'autres à découvrir. Ces composants appartiennent presque exclusivement à deux groupes et se caractérisent par des origines biogéniques différentes : Un groupe de terpénoïdes (composés terpéniques) et un groupe de composés aromatiques dérivés du phénylpropane, survenant très rarement. Ils peuvent également contenir divers produits issus de processus de décomposition non volatils (Bruneton, 1999).

### 1.5.1 Composés terpéniques

Les composés de type terpène se trouvent couramment dans les huiles essentielles formées à partir de multiples paires ou impairs d'unités 2-méthylbuta-1,3-diène, également connu sous le nom d'isoprène (Fig.8). Les terpènes sont entièrement composés de carbone et d'hydrogène. Ce sont les principaux composants des huiles essentielles. Nous distinguons :

- Les monoterpènes à dix carbones ;
- Les sesquiterpènes à quinze carbones ;
- Les diterpènes à vingt carbones (Georgetti et al., 2003).

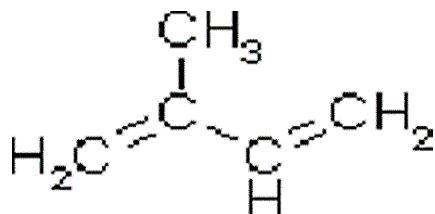
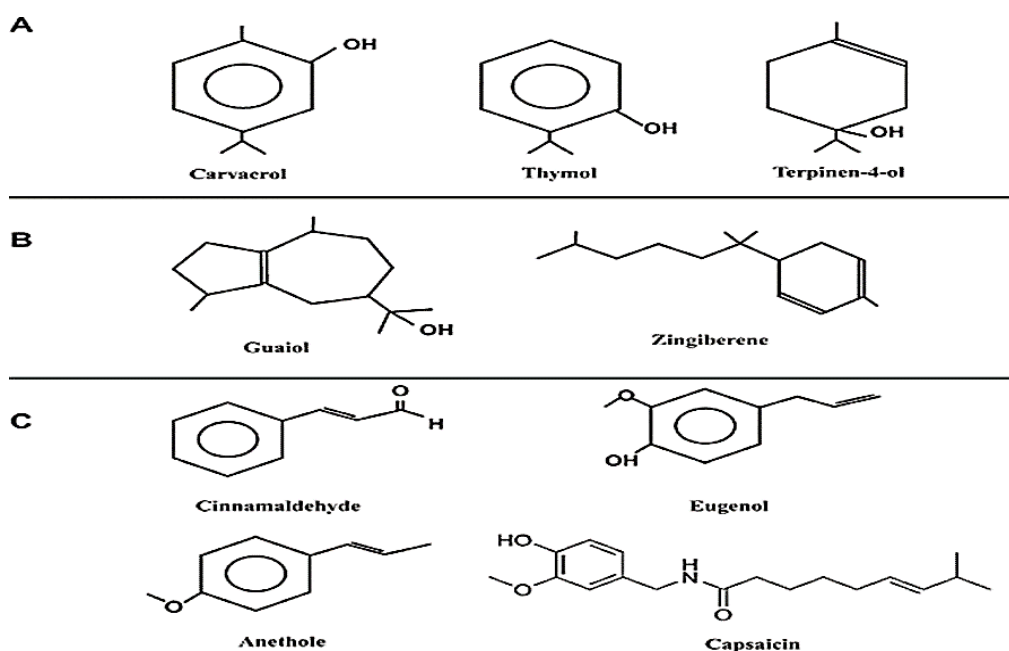


Figure 8 : Structure de la molécule d'isoprène (Calsamiglia et al., 2007).



(A) : Monoterpénoïdes (B) : Sesquiterpénoïdes et (C) : Phénylpropanoïdes.

Figure 9: Structure de quelques composés des huiles essentielles (Calsamiglia et al., 2007).

**a) Les monoterpènes :**

Les monoterpènes sont volatiles, séparables de la vapeur d'eau, souvent agréablement parfumées, et constituent l'essentiel des huiles essentielles, parfois à plus de 90 %. Ils peuvent être acycliques (myrcène, ocimène), monocycliques (terpinène, p-cymène) ou bicycliques (pinène, sabinène). De nombreuses substances à fonctions chimiques sont attachées à ces terpènes tels que : Alcools (géraniol, menthol), aldéhydes (géranial, citronellal, sinensal), cétones (carvone, menthone, bêta-bétinone) et esters (acétate de géranyle, acétate de linalyle, acétate de sugilyle, acétate d'alpha-terpinyle) (Fig .9A).

**b) Les sesquiterpènes :**

C'est le type de terpène le plus diversifié. Il contient plus de 3000 molécules telles que:  $\beta$ -caryophyllène,  $\beta$ -bisabolène,  $\alpha$ -humulène,  $\alpha$ -bisabolol, farnésol (**Bruneton, 1995**). (Fig. 9B).

**1.5.2 Composés phénoliques**

Les composés phénoliques (C6 – C3) dérivés du phénylpropane sont beaucoup plus rares que les terpènes. Cette classe comprend la vanilline, l'eugénol, l'anéthole, l'estragole et de nombreux autres odorants bien connus (**Eugenia et al., 2009**) (Fig.9C).

**1.6 Procédés d'extraction des essences naturelles**

Diverses méthodes sont utilisées pour obtenir des huiles essentielles. La technique utilisée doit être choisie en fonction des propriétés de l'huile essentielle (**Crespo et al., 1991**).

**1.6.1 Distillation**

La distillation, en général, est une technique de séparation basée sur la différence de densité entre le liquide et la vapeur produite. Cela implique la condensation de vapeur et la récupération de la fraction liquide résultante (**Garnero, 1996**).

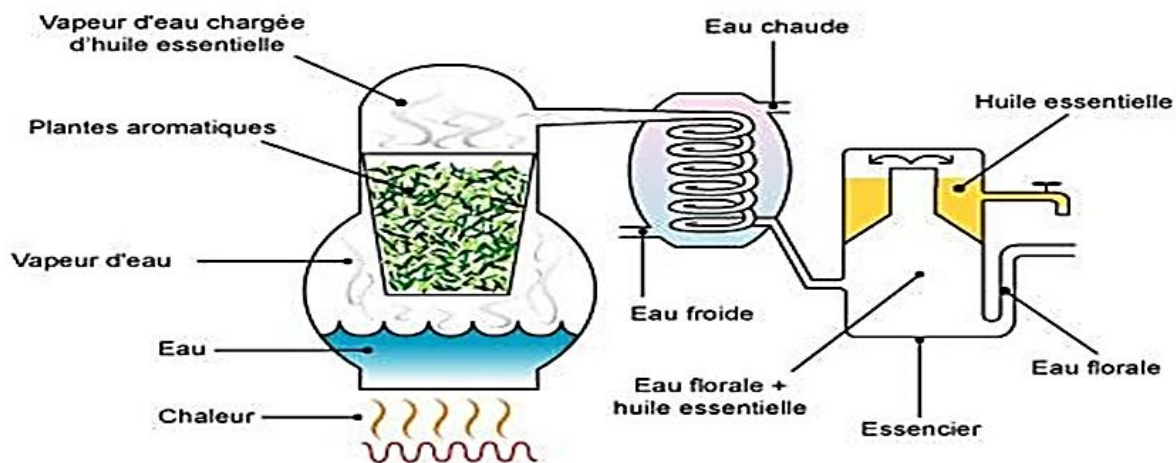
Il existe en effet deux différents procédés utilisant ce principe : l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydro-distillation.

**1.6.1.1 Entraînement à la vapeur d'eau**

La distillation à la vapeur est l'une des méthodes formelles d'obtention des huiles essentielles. Contrairement à la distillation de l'hydrogène, dans cette technologie, il n'y a pas

de contact direct entre l'eau et la matière végétale traitée. La vapeur fournie par la chaudière traverse les installations au-dessus du réseau.

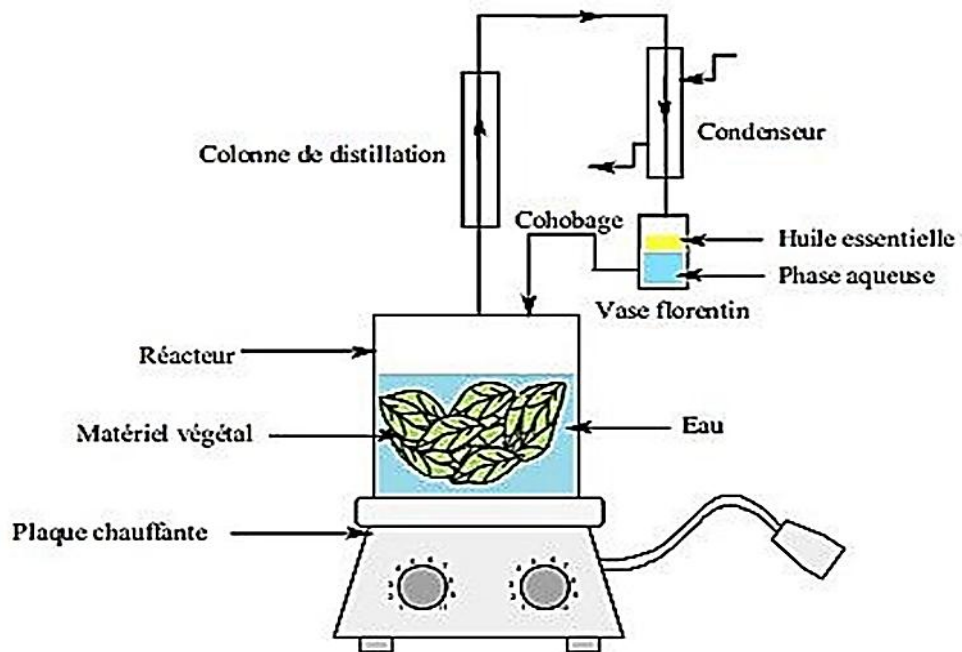
Lorsque la vapeur traverse le matériau, les cellules se rompent et libèrent l'huile essentielle qui est vaporisée par la chaleur pour former un mélange « eau + huile essentielle ». Le mélange est ensuite envoyé vers un condenseur et une essence, après quoi il est séparé en une phase aqueuse et une phase organique. La diffusion d'hydrogène est un type de distillation à la vapeur (**Benouali, 2016**) (Fig.10).



**Figure 10:** «Dispositif d'extraction par expression à froid » (**Anonyme, 2012**).

### 1.6.1.2 Hydro-distillation

Selon **Bruneton (1999)**, la distillation de l'hydrogène est la méthode la plus couramment utilisée. Elle consiste à isoler les huiles essentielles à l'état pur et améliorer les rendements. Les plantes sont mises en contact avec de l'eau dans des ballons lors de l'extraction dans un laboratoire ou une usine de distillation industrielle. Après ébullition, la vapeur est condensée dans un condenseur, l'huile essentielle est séparée de l'eau en raison de la différence de densité, les composants insolubles dans l'eau condensée sont décantés et l'huile essentielle est transférée dans la phase aqueuse en raison de sa faible densité. Les phases aqueuses contenant des composés hydrosolubles sont appelées eaux plates ou hydrolats (**Benayad, 2013**) (Fig.11).



**Figure 11:** Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

### 1.6.2 Par enfleurage

L'enfleurage est l'un des procédés les plus anciens. Dans ce procédé, des plantes, en particulier des organes très délicats qui ne supportent pas la chaleur générée par la distillation (fleurs d'oranger, jasmin, pétales de rose, etc.) sont déposées sur une couche de graisse animale saturée d'essence. Les corps gras sont décomposés par l'alcool, le parfum est récupéré et évaporé sous vide. Ce processus se poursuit pendant plusieurs jours jusqu'à ce que l'huile essentielle soit absorbée par la graisse (France-Ida, 1996) (Fig.12).



**Figure 12:** Photo démonstrative de l'enfleurage (Donahue, 2016).

### 1.6.3 Extraction assisté par micro-ondes

Cette technique a été développée à des fins analytiques au cours des dernières décennies. Le processus de la technologie est basé sur l'absorption de l'énergie des micro-ondes par les composants de la plante et est mesuré à l'aide de la constante diélectrique. Cette absorption dépend également de la fréquence des ondes et de la température du matériel végétal (Benayad, 2008) (Fig.13).



Figure 13: « Dispositif de micro-ondes » (Anonyme, 2012).

## 1.7. Les différents types d'activités des huiles essentielles

### 1.7.1. Activité biologique

Les huiles essentielles sont connues pour leurs propriétés antiseptiques et antibactériennes. Beaucoup d'entre elles ont des propriétés antitoxiques, antivirales, antioxydantes et antiparasitaires. Récemment, des propriétés anticancéreuses leur ont également été attribuées (Valnet, 2005).

### 1.7.2 Activité antioxydante

Le pouvoir antioxydant de ces huiles est développé comme substitut dans la conservation alimentaire. Ce sont surtout les phénols et les polyphénols qui sont responsables de ce pouvoir. Des études de Laboratoire de Recherche en Sciences Appliquées à l'Alimentation (RESALA) de l'INRS- IAF, ont montré que l'incorporation des huiles essentielles directement dans les aliments (viandes hachées, légumes hachés, purées de fruit, yaourts...) où l'application par vaporisation en surface de l'aliment (pièce de viande, charcuterie, poulet, fruits et légumes entiers...) contribuent à préserver l'aliment des phénomènes d'oxydation (Richard, 1992).

### 1.7.3 Activité antimicrobienne

Des études ont été menées pour évaluer les effets antibactériens des extraits d'épices : Les clous de girofle, le cumin et le safran agissent contre les agents pathogènes d'origine alimentaire tels que : *Escherichia coli*, la fluorescéine et *Staphylococcus aureus*...

Le carvacrol, le plus actif des divers groupes chimiques présents dans les huiles essentielles, est connu pour être non toxique. Il a un effet antibactérien prononcé et est ajouté à une variété d'aliments dans l'industrie alimentaire comme conservateur, pour améliorer le goût et comme aromatisant alimentaire dans les boissons, confiseries et autres préparations (Pauli, 2001).

### 1.7.4 Activité antifongique

L'activité antifongique des huiles essentielles de plantes aromatiques a été démontrée non seulement contre les moisissures allergènes, mais également contre les champignons pathogènes et opportunistes, tels que les dermatophytes et *Candida albicans* (levure), par de nombreux auteurs. Une étude similaire a été réalisée par Omidbeygi et al. (2007), où ils ont démontré que les huiles essentielles de thym, de sarriette et de clou de girofle ont des effets antifongiques contre *Aspergillus flavus* 'in vitro'.

### 1.7.5 Activité antivirale

Les virus sont généralement très sensibles aux molécules d'HE aromatiques telles que les monoterpènes. De nombreuses maladies virales graves traitées avec des huiles essentielles ont montré une amélioration significative (Schuhmacher et Reichling, 2003).

### 1.7.6 Activité anti-inflammatoire

Les huiles essentielles sont également utilisées en clinique pour traiter les maladies inflammatoires telles que les rhumatismes, les allergies et l'arthrite (Inouye et Abe, 2007).

### 1.7.7 Activité insecticide des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont un effet anti appétant, affectant la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et des tiques (Enan, 2001).

## 1.8 La toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles ne sont pas des produits qui peuvent être utilisés sans risque. Comme tous les produits naturels : "ce n'est pas parce que c'est naturel que c'est sans danger

pour l'organisme". Cet aspect des huiles essentielles est d'autant plus important que leur utilisation, de plus en plus populaire, tend à se généraliser avec l'émergence de nouvelles pratiques thérapeutiques telle que l'aromathérapie.

Certaines huiles essentielles sont dangereuses lorsqu'elles sont appliquées sur la peau en raison de leur pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou en carvacrol), allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde (**Smith et al., 2000**) ou phototoxique (huiles de citrus contenant des Furocoumarines (**Naganuma et al., 1985**)).

D'autres huiles essentielles sont neurotoxiques. Les cétones telles que la thuyone sont particulièrement toxiques pour le tissu nerveux (**Franchomme et et Penoeld, 1990**).

### 1.9 Conservation des huiles essentielles

Pour éviter au possible l'altération des huiles essentielles, il existe des normes spécifiques sur l'emballage, le conditionnement et le stockage des HE ainsi que sur le marquage des récipients contenant des huiles essentielles (**Laurent, 2017**).

#### 1.9.1 Le conditionnement

- Les contenants d'huiles essentielles doivent être neufs ou en bon état, propres, secs (séchés à la vapeur) et entièrement scellés (**ISO, 1999**).
- Remplir des flacons avec de très petites quantités d'huiles essentielles en évitant les emballages et les bouchons en plastique qui peuvent être sensibles au contenu (**Kaloustian et Hadji minaglou, 2012**).

#### 1.9.2 Etiquetage

Les informations qui doivent figurer sur l'étiquette sont les suivantes :

- Nom scientifique et vernaculaire de la plante.
- La partie de la plante utilisée.
- L'origine de la plante ou lieu de production.
- Mode d'obtention de l'HE.
- La variété et le chemotype s'il existe.
- Numéro de lot, date de production et date de péremption.
- Nom, adresse et numéro de téléphone du fournisseur (**Chabert, 2013**).

### 1.9.3 La conservation

Les huiles essentielles doivent être conservées :

- A l'abri de l'air, en présence d'un gaz inerte tel que l'azote.
- A l'abri de la lumière, on utilisera des flacons propres et secs en aluminium vernissé, en acier inoxydable ou en verre teinté anti-actinique, presque entièrement remplis et fermés de façon étanche (les huiles essentielles étant très volatiles)
- A froid, de préférence à + 4 °C (**Kaloustian et Hadji Minaglou, 2012**).
- Afin de limiter au maximum le contact de l'HE avec l'oxygène de l'air, il est également conseillé de bien refermer le flacon d'HE après utilisation (**Velé, 2015**).
- Il est recommandé de conserver le flacon d'origine (avec la notice) pour éviter les erreurs. Il doit toujours être bien scellé par un bouchon étanche afin d'éviter l'évaporation et tout type de dégradations. Les conserver de préférence « debout » pour éviter l'action corrosive des HE sur le compte-gouttes et le bouchon en plastique.

## 2. Les plantes aromatiques étudiées

### 2.1. Menthe poivrée

#### 2.1.1 Origine, distribution géographique et culture

*Mentha x piperita* est un hybride issu d'un croisement naturel entre *Mentha aquatica* (menthe aquatique) et *Mentha spicata* (menthe verte). Son nom latin (piperita), signifiant « poivre », dérive de l'arôme fort, poivré et froid très caractéristique de l'huile essentielle contenue dans ses feuilles (**Baudoux, 2002**).

La menthe poivrée est originaire d'Angleterre. Elle est cultivée presque partout dans le monde : Europe centrale et du Sud, Amérique du Sud, Amérique du Nord, Asie, Afrique du Nord. En fait, elle se produit sur tous les continents et s'adapte à tous les climats, sauf les plus extrêmes. Elle préfère les sols frais, limoneux et calcaires et peut pousser dans les climats montagneux tempérés et humides à des altitudes allant jusqu'à 900 - 1000 m, à condition qu'elle soit irriguée pendant les sécheresses estivales (**Zybak, 2000**).

La menthe poivrée est généralement plantée en mars-avril, bien qu'elle préfère un sol humide ou, à l'inverse, un sol sec, selon les espèces. La taille peut se faire en mars, juillet et août. La récolte a lieu de mai à octobre. Il est souhaitable de planter la plante dans un endroit

ensoleillé. Elle nécessite un sol frais, bien drainé, fertile, riche en calcaire et argile. Un pH de 6-7 est requis. Elle se reproduit grâce à ses stolons (Abbas, 2005).

### 2.1.2 Description botanique

*M. piperita* 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) (Fig.14).



Figure 14: Partie aérienne de *M. piperita* (Anonyme, 2013)

### 2.1.3 Systématique

Selon Cronquist (1981), la systématique de la menthe poivrée est la suivante :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Cormophytes
- **Sous embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Magnoliopsidées
- **Sous classe** : Asteridées
- **Ordre** : Lamiales
- **Famille** : Lamiacées
- **Genre** : *Mentha*
- **Espèce** : *Mentha x piperita* L .1753

### 2.1.4 Les différentes dénominations

La menthe poivrée à plusieurs noms à travers le monde en voici quelques-uns :

- En Europe
- Anglais : Peppermint
- Espagnol : Hierbabuena, Menta, Piperita Portugais : Menta
- Français : Menthe anglaise, Menthe poivrée, Sente bon (**Hammami et Abdesselem, 2005**).
- En Afrique Arabe : nânâfolfoli
- En Inde : Pudina, pudinha
- En Chine : Ara nae, bai sa ra naiesaranae (**Hammami et Abdesselem, 2005**).

### 2.1.5 Composition chimique

La composition chimique de l'huile essentielle extraite de *Mentha x piperita* est très complexe, elle a fait l'objet de plusieurs études. D'après Chialva et *al.* (1993) cité par **Aflatuni (2005)**, plus de 200 constituants ont été identifiés.

Les principaux constituants sont : le menthol (monoterpénol) : 35 à 70 % et la menthone (cétone) : 20 à 30 %, et d'autres composés minoritaires tels que la menthofuranne : 1 à 2%, les monoterpènes : 2 à 18 %, les sesquiterpènes : 6 %, les esters (Acétate de menthyle) : 2 à 10 %, les oxydes (cinéole) : 5 à 10 %, entre autres (**Abadlia et Chebbour, 2014**).

### 2.1.6 Utilisation thérapeutique

Elle est traditionnellement utilisée pour améliorer les situations suivantes :

- Insuffisance hépatopancréatique.
- Indigestion, dyspepsie, nausées, vomissements, flatulence.
- Mal des transports, vertige.
- Névralgie, arthrite, rhumatismes, tendinites, migraines, céphalées.
- Zona, herpès, névrite virales.
- Rhinites, sinusites, otites.
- Inconfort des voies uro-génitales.
- Choc, traumatisme.
- Asthénie (fatigue) physique, mentale et sexuelle.

- En cuisine, l'huile essentielle de la menthe poivrée est utilisée pour parfumer aussi bien les plats salés que les plats sucrés (**Anonyme, 2021**)
- Dans l'industrie alimentaire, elle est utilisée comme agent aromatisant pour ajouter de la saveur et de l'arôme aux aliments (**Kumar et al., 2014**). Elle est également incluse dans les cosmétiques tels que les shampooings et les savons (**Benayad, 2008**).

## 2.2 Marjolaine à coquilles

### 2.2.1 Origine, distribution géographique et culture

La marjolaine ou l'origan de jardin (*Origanum majorana*) 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**).

*O. majorana* est originaire de la région méditerranéenne (**Iserin, 2001**), de Chypre et du sud de la Turquie (**Ietswaart, 1980**). Elle est cultivée dans diverses parties du monde (Inde, France, l'Europe du Nord et dans les zones tropicales) pour son goût, son huile essentielle et son arôme herbacé (**Iserin, 2001 ; Vasudeva et Goel, 2015**). Elle est également cultivée dans de nombreux pays d'Amérique, d'Asie et d'Europe occidentale. On la trouve presque spontanément dans les habitats naturels et pousse principalement dans les zones arides rocheuses et calcaires à une altitude de 100 -1500 mètres. Elle est cultivée comme herbe médicinale dans les jardins, les pots ou à l'extérieur (**Ietswaart, 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**).

### 2.2.2 Description botanique

*O. majorana* est une plante herbacée vivace semblable à l'origan. Elle a environ 30 cm de haut, ligneuse et pubescente à la base. Ses feuilles sont ovales oblongues à pédoncules opposés simples, d'environ 2 cm de long et d'environ 1 cm de large, recouvertes de duvet blanchâtre. Elle a une racine pivotante tortueuse, plus ou moins ramifiée. Les tiges sont carrées en coupe transversale, dressées, ramifiées et de couleur rougeâtre. Les fleurs sont hermaphrodites et petites, avec deux

lèvres blanches ou roses densément disposées à l'aisselle des feuilles et deux bractées en forme de cuillère (Schaal, 2010 ; Chenna *et al.*, 2018) (Fig. 15).



Figure 15: Partie aérienne d'*O. majorana* (Vasudeva et Goel, 2015).

### 2.2.3 Systématique

Selon Tripathy *et al.* (2017), la classification botanique de la marjolaine est :

- Règne : Plantae
- Sous- règne : Viridiplantae
- Division : Tracheophyta
- Sous-division : Spermatophytina
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Genre : *Origanum*
- Espèce : *Origanum majorana* L.

### 2.2.4 Composition chimique

*O. majorana* se caractérise par de fortes saveurs et odeurs agréables et épicées. Cette herbe contient en particulier :

- Monoterpénols : terpinène-4-ol (22.89%), (E)-thujanol (15.61%).
- Monoterpènes : gamma-terpinène (13.41%), alpha-terpinène (8.08%), sabinène (8.33%) (Anonyme, 2021).

### 2.2.5 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.

Elle est traditionnellement utilisée pour améliorer les situations suivantes :

- Aide à l'apaisement et au confort articulaire et musculaire : rhumatismes, arthrose, lumbago, sciatique, crampes et contractures musculaires.
- Fatigue générale et psychique.
- Infections respiratoires : rhinite, bronchite, rhinopharyngite, sinusite.
- Pour préparer des huiles aromatiques qui parfumeront les viandes, les grillades et les plats de légumes (Anonyme, 2021).

## 2.3 Sauge

### 2.3.1 Origine, distribution géographique et culture

« Sauge » antérieurement « salje », dérive du latin *Salvia* qui désignait ces plantes en latin. Il provient de *salvo*, guérir, en raison des propriétés médicinales de la plante (Couplan, 2012). Selon Alloun (2013), il existe plus de 600 espèces de sauge dans le monde, qui ne sont pas toutes comestibles et dont beaucoup sont utilisées comme plantes ornementales dans les jardins.

La sauge sclarée (*S. sclarea*) spontanée est largement distribuée en Europe méridionale, à l'Asie centrale (Salvatori, 2005), aussi elle est originaire d'Europe du Sud, elle est aujourd'hui cultivée en France et en Russie pour son huile essentielle. Elle pousse sur des sols secs très ensoleillés. Elle est récoltée en été (Iserin, 2007).

### 2.3.2 Description botanique

*S. sclarea* est un Vivace portant des vésicules velues, les feuilles de 15 à 25 cm de long sont ovales, oblongues, échancrées, irrégulièrement dentées, gaufrées. Elles sont vert moyen, avec la base cordiforme ou perfoliée. Au printemps et en été apparaissent des panicules ou des grappes terminales, formées d'une abondance de fleurs de 2 à 3 cm de long, crème et lilas à rose ou bleu, avec de grosses bractées lilas, dont les tiges, roses, portent des épis de fleurs blanc rosé (Brickell et Mioulane, 2004). La sauge sclarée produit des feuilles grisâtres aromatiques la première année et des fleurs bleu pourpré et blanc le deuxième été. Celles-ci attirent les abeilles. Les feuilles sont utilisées en cuisine et en phytothérapie (Denne, 2010) (Fig.16).



**Figure 16:** La plante de *S. sclarea* L (Salvatori, 2005).

### 2.3.3 Systématique

La classification de *S. sclarea* a été réalisée selon **Iserin (2007)**, et elle est comme suit :

- **Règne :** Plantae
- **Sous-règne :** Tracheobionta
- **Embranchement :** Tracheophyta
- **Classe :** Magnoliopsida
- **Sous-classe :** Asteridae
- **Ordre :** lamiales
- **Famille :** lamiaceae
- **Genre :** *Salvia*
- **Espèce :** *Salvia sclarea* L.

### 2.3.4 Les différentes dénominations

- Synonyme : Herbe sacrée, thé d'Europe, thé de Grèce, thé de France, thé de Provence, grande Sauge, Sauge franche.
- Nom vernaculaire arabe : Souaq ennebi, Houdbiques es sedr, Salma ; kheyat djouhat.
- Nom targui ou berbère : Tazzourt, Agourim, Imeksaouen
- Nom allemand : Salbei, Garten-salbei ,Edl-salbei.
- Nom anglais : Common sage, Garden sage (**Cabaret, 1986 ; Beloued, 2001**).

### 2.3.5 La composition chimique

Selon **Franchomme et al. (2012)**, les principes actifs du *S. sclarea* sont plus de 250 constituants, les plus importants sont: Monoterpènes, curcumène, transcalanlénène, alcools Monoterpénols, sesquiterpénols, diterpénols, esters, ethers, cétones aldéhydes, coumarines.

### 2.3.6 Utilisation thérapeutique

Les sauges furent tenues de tout temps comme bénéfiques, l'aromathérapie en a donc fait piliers : la sauge sclarée est réputée, par son huile essentielle comme un efficace relaxant : elle aiderait à se détendre, à soulager la fatigue et les douleurs musculaires (**Laszlo, 2000**). On utilisait plus particulièrement ses graines pour traiter les affections des yeux, en cas de troubles de l'appareil digestif, notamment l'indigestion ou les flatulences. Elle est considérée comme un tonique, mais aussi comme un antalgique léger en cas de règles douloureuses. Elle a une action stimulante sur l'ovulation ; elle est recommandée donc en cas d'insuffisance hormonale. La sauge sclarée est également efficace en cas de ménopause (**Iserin, 2007**). Certains ingrédients d'huile essentielle ont une indéniable vertu bactéricide (**Laszlo, 2000**).

Elle est aussi très utile pour minimiser les troubles de la ménopause bien que son action hormonale ne soit pas encore clairement élucidée, la sauge permet de réguler les bouffées de chaleur, elle aide l'organisme à s'adapter aux changements hormonaux durant cette délicate période (**Anonyme, 2013**).

# **Chapitre 3**

## **Matériel et méthode**

La partie expérimentale de notre 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. Cette étude effectuée vise à étudier le pouvoir insecticide de trois huiles essentielles *M. piperita*, *O. majorana* et *S. sclarea* contre un redoutable insecte ravageur des denrées stockées *T. confusum*.

## 1. Matériel

### 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  $30 \pm 1$  °C et une humidité relative de  $60 \pm 5\%$ , qui correspondent aux conditions optimales de développement de *T. confusum*.
- 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 5,2 cm de diamètre et de 1,2 cm de hauteur et d'autres de 8,5 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur.
- Une micropipette pour le pipetage des huiles essentielles.
- Une loupe binoculaire.
- Une balance électronique pour peser le substrat.
- Papier filtre pour les tests par inhalation.
- D'autres outils de manipulations ont été également utilisés (pinceaux, scotch, fil fin, aiguille, bassine, ciseaux, étiquettes, bouchons en plastique, tamis...) (Fig.17).



Figure 17: Ensemble de matériels de laboratoire utilisés (originale, 2023).

## 1.2 Matériel biologique

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

Les larves et les œufs 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 provenant 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 mener à bien notre étude, nous avons testé trois huiles essentielles obtenues auprès du bureau commercial du laboratoire français Aroma-zone à Boumerdes : Il s'agit de *M. piperita*, *O. majorana* et *S. sclarea* (Fig.18).

La sélection de ces huiles a été justifiée par plusieurs critères tels que la disponibilité locale, l'usage pharmacologique et l'activité insecticide, comme indiqué dans la bibliographie.



Figure 18: Les trois huiles essentielles utilisées (originale, 2023).

## 2. Méthode

### 2.1 L'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 enfermé avec un morceau de tissu en tulle (Fig.19). Les bocaux sont ensuite placés dans une étuve obscure et réglée à une température de  $30 \pm 1$  °C et une humidité relative de  $60 \pm 5\%$ . Au bout de 24h les adultes sont retirés, les œufs sont laissés évoluer jusqu'à émergence des larves de la première génération. Les larves âgées de 10 à 15 jours sont utilisées dans les différents tests biologiques.



Figure 19: Elevages de masse de *T. confusum* (Originale, 2023).



**Figure 20:** Les nouveaux individus de *T. confusum* provenant des élevages de masse (originale, 2023).

## 2.2. Test d'inhalation

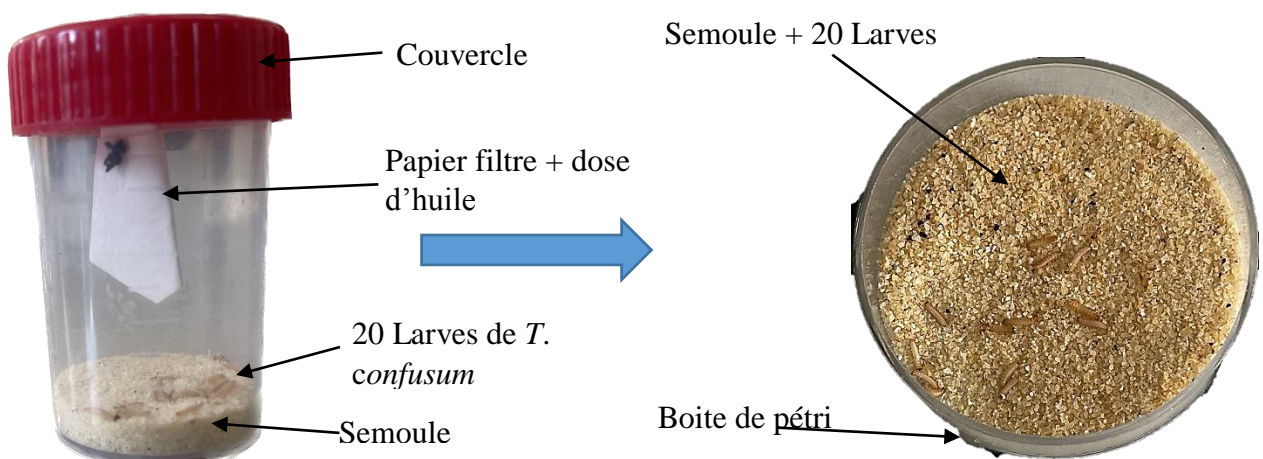
Ce test consiste à étudier l'effet insecticide de trois huiles essentielles par inhalation sur la mortalité des œufs et des larves de *T. confusum* en adoptant le protocole expérimental suivant:

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 ou de sauge sclarée à différentes doses (40, 60, 80, et 100  $\mu$ l) à l'aide d'une micropipette. Pour chaque dose, nous avons varié la durée d'exposition : 24h, 48h, 72h. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque dose, ainsi que pour les témoins.

- **Larves**

Vingt larves de *T. confusum* âgées de 10 à 15 jours sont introduites dans chaque flacon contenant 3g de semoule. Parallèlement, un témoin est réalisé sans huile.

A la fin de l'expérience, les larves sont transférées dans des petites boîtes de Pétri et le comptage des larves mortes est effectué 24h après le traitement (Fig.21).

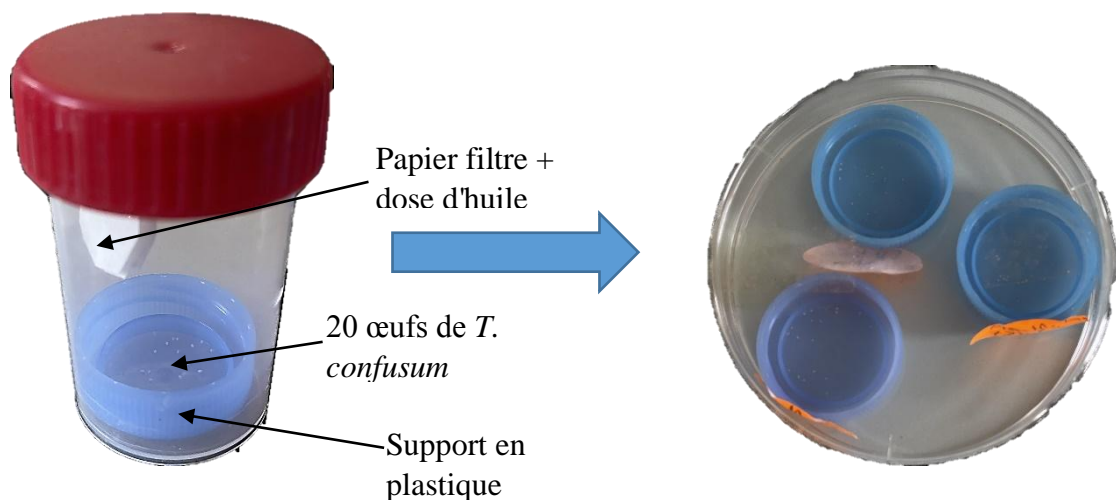


**Figure 21:** Dispositif expérimental du test par inhalation à l'égard des larves de *T. confusum* (originale, 2023).

- **Œufs**

Vingt œufs de *T. confusum* âgés de 24h sont dressés sur un support en plastique (Bouchon), puis sont introduits dans chaque flacon en plexiglas. Parallèlement, un témoin est réalisé sans huile (Fig.22).

A la fin de l'expérience, les supports en plastique contenant les œufs sont transférés dans des boîtes de Pétri et le comptage des œufs non éclos et éclos est effectué une semaine après le traitement sous une loupe binoculaire.



**Figure 22:** Dispositif expérimental du test par inhalation à l'égard des œufs de *T. confusum* (originale, 2023).

- **Effet par inhalation de la mixture des trois huiles essentielles sur les œufs après 24h d'exposition**

Pour cela, nous avons suivi le même protocole expérimental que le test d'inhalation décrit auparavant. Pour la réalisation du premier mélange nous avons imbibé le papier filtre numéro 2 avec la mixture des trois huiles essentielles qui est composée de la concentration létale 50 (CL50) de l'huile essentielle de marjolaine qui est de 16,98  $\mu$ l avec la CL50 de la sauge qui est de 10,71  $\mu$ l et celle de la menthe poivrée qui est de 83,17  $\mu$ l.

Le second mélange est composé de : 40  $\mu$ l d'HE de marjolaine + 40  $\mu$ l d'HE de menthe poivrée + 40  $\mu$ l d'HE de sauge.





### 3. Analyse statistique

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 Excel en calculant le Log10 de chaque dose

et les probits de mortalité puis l'insertion de graphe pour déterminer sa formule en remplaçant nos résultats, on obtient la dose de CL50 avec un anti log.

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à quatre facteurs : stade (œufs, larve), huile (sauge, menthe poivrée, marjolaine à coquilles), dose (40, 60, 80, 100  $\mu$ l) et temps (24h, 48h, 72h). Ceci afin de déterminer l'action des huiles essentielles vis-à-vis des larves et des œufs 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.

#### **4. Détermination de la composition chimique des huiles essentielles Par chromatographie en phase gazeuse (CPG)**

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

Les analyses chromatographiques ont été effectuées au laboratoire de Technologie Alimentaire de l'ENSA- ex INA, à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse à régulation électronique de pression, de type Chrompack CP 9002, équipé d'une colonne capillaire en silice fondue de type DB-5 de 30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre et 0,25  $\mu$ m d'épaisseur de film, d'un détecteur à ionisation de flamme réglé à 280°C et alimenté par un mélange de gaz H<sub>2</sub>/air et d'un injecteur split splitless réglé à 250°C. Le gaz vecteur est l'azote à 1 ml/min. Le mode d'injection est split (Rapport de fuite de 1/50, débit de 66 ml/min). La température de la colonne est programmée de 50°C (3mn) à 250°C à raison de 2°C/min, puis est maintenue à 250°C pendant 10 min. La quantité D'huile essentielle injectée est de 1 $\mu$ l pour chaque espèce. La détermination des composés chimiques détectés a été réalisée par comparaison des temps de rétention des pics enregistrés à ceux des étalons disponibles. D'autres pics sont identifiés en se basant sur leurs indices de Kovàts (Fig.23).

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



**Chromatographe CHROMPACHK CP9002**



**Intégrateur Shimadzu**

**Figure 23:** Les appareils utilisés dans l'analyse chromatographique (Originale, 2023).

# **Chapitre 4**

## **Résultats et discussion**

## 1. Résultats

### 1.1. Résultats de l'analyse chromatographique des huiles essentielles

L'analyse chromatographique a permis d'identifier 23 composés dans l'huile essentielle de la sauge et 21 composés dans l'huile essentielle de la marjolaine et 27 composés dans l'huile essentielle de la menthe.

Les composés majoritaires trouvés dans l'huile essentielle de *S. sclarea* sont : l'Acétate de Linalyle (69%), Linalol (25%),  $\alpha$ -Terpinéol (3.18 %) et Germacrene D (3.13 %) (Tableau2).

**Tableau 2 :** La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la sauge. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes.

Constituants	Pic N°	TR (mn)	%
<i><math>\alpha</math>-pinène</i>	N° 01	12.31 mn	0.889 %
<i>Canphene</i>	N°02	13.11 mn	0.076 %
<i>Sabinène</i>	N°03	14.60 mn	0.07 %
<i>Bêta-pinène</i>	N°4	14.76 mn	0.14 %
<i>Béta.Myrcene</i>	N°5	15.76 mn	0.89 %
<i><math>\alpha</math>-Phellandrène</i>	N°6	16.79 mn	0.040 %
<i>Para -Cymene</i>	N°7	17.79 mn	0.0744 %
<i>Limonène</i>	N°8	18.09 mn	0.743 %
<i>Z-Bêta-Ocimene</i>	N°9	18.80 mn	0.374 %
<i>E.Beta-Ocimene</i>	N°10	19.50 mn	0.65 %
Terpinolene	N° 11	22.42 mn	0.004 %
<b><i>Linalol</i></b>	<b>N°12</b>	<b>23.38---23.88 mn</b>	<b>25 %</b>
<b><i><math>\alpha</math>-Terpinéol</i></b>	<b>N°13</b>	<b>29.76 mn</b>	<b>3.18 %</b>
<i>Formate de Linalyle</i>	N°14	31.40 mn	<b>0.049 %</b>
<i>Nerol</i>	N°15	32.87 mn	<b>0.37 %</b>
<b><i>Acétate de Linalyle</i></b>	<b>N°16</b>	<b>34.47---35.23 mn</b>	<b>69 %</b>
<i>Acétate Neryle</i>	N°17	41.76 mn	<b>0.77 %</b>
<i>Acétate de Geranyle</i>	N°18	43.10 mn	<b>1.148 %</b>
<i>Beta Caryophyllene</i>	N°19	45.29 mn	<b>1.28 %</b>
<i>a.Humulene</i>	<b>N°20</b>	47.41 mn	<b>0.05 %</b>
<b><i>Germacrene D</i></b>	<b>N° 21</b>	<b>49.36 mn</b>	<b>3.13 %</b>
<i>Delta.Cadinene</i>	<b>N°22</b>	50.21 mn	<b>0.46 %</b>
<i>Oxyde de Caryophyllene</i>	<b>N°23</b>	51.84 mn	<b>0.11 %</b>

Pour l'huile essentielle d'*O. majorana*, les principaux constituants sont :

Terpinen.4-ol (20.90 %), Linalol +trans sabinene (16.18 %),  $\gamma$ -Terpinene (12.23 %) et Sabinène (8.95 %) et  $\alpha$ -Terpinène (7.62 %) (Tableau 3).

**Tableau 3:** La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la marjolaine. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes.

Constituants	Pic N°	TR (mn)	%
<i><math>\alpha</math>-Thujène</i>	N°01	11.99 mn	0.77 %
<i><math>\alpha</math>-pinène</i>	N° 02	12.37 mn	1.73 %
<b><i>Sabinène</i></b>	<b>N°3</b>	<b>14.84 mn</b>	<b>8.95 %</b>
<i>Bêta-pinène</i>	N°4	14.92 mn	0.43 %
<i>Béta.Myrcene</i>	N°5		1.92 %
<i><math>\alpha</math>-Phellandrène</i>	N°6	16.56 mn	0.40 %
<i>Para-Cymene</i>	N°7	16.95 mn	0.34 %
<b><i><math>\alpha</math>-Terpinène</i></b>	<b>N°8</b>	<b>17.58 mn</b>	<b>7.62 %</b>
<i>Limonène</i>	N°9	17.99 mn	2.13 %
<i>Beta-Phellandrene</i>	N°10	18.33 mn	3.57 %
<i>1.8 Cinéole</i>	N°11	18.51 mn	0.31 %
<b><i><math>\gamma</math>-Terpinene</i></b>	<b>N°12</b>	<b>20.56 mn</b>	<b>12.23 %</b>
Cis Sabinene Hydrate	N °13	21.45 mn	3.85 %
Terpinolene	N° 14	22.41 mn	2.86 %
<b><i>Linalol +trans sabinene</i></b>	<b>°15</b>	<b>23.78 mn</b>	<b>16.18 %</b>
<b><i>Terpinen.4-ol</i></b>	<b>N°16</b>	<b>29.40 mn</b>	<b>20.90 %</b>
<i><math>\alpha</math>-Terpinéol</i>	N°17	<b>30.07 mn</b>	<b>3.16 %</b>
<i>Geraniol</i>	N°18	34.17 mn	<b>0.78 %</b>
<i>Acetate de Linalyle</i>	N°19	34.47 mn	<b>1.95 %</b>
<i>Beta Caryophyllene</i>	N°20	45.38 mn	<b>2.66 %</b>
<i>Oxyde de Caryophyllene</i>	<b>N°21</b>	50.27 mn	<b>1.43 %</b>

Tandis que pour l'huile essentielle de *M. piperita*, les composés majoritaires sont le Menthol (43%), Menthone (21 %), Iso menthone (5,65%), Piperitone (4,84%) et 1.8 Cinéole (4,68) (Tableau 4).

**Tableau 4:** La composition chimique (%) de l'huile essentielle de la menthe poivrée. Les composés majeurs sont indiqués en gras. TR : temps de rétention en minutes.

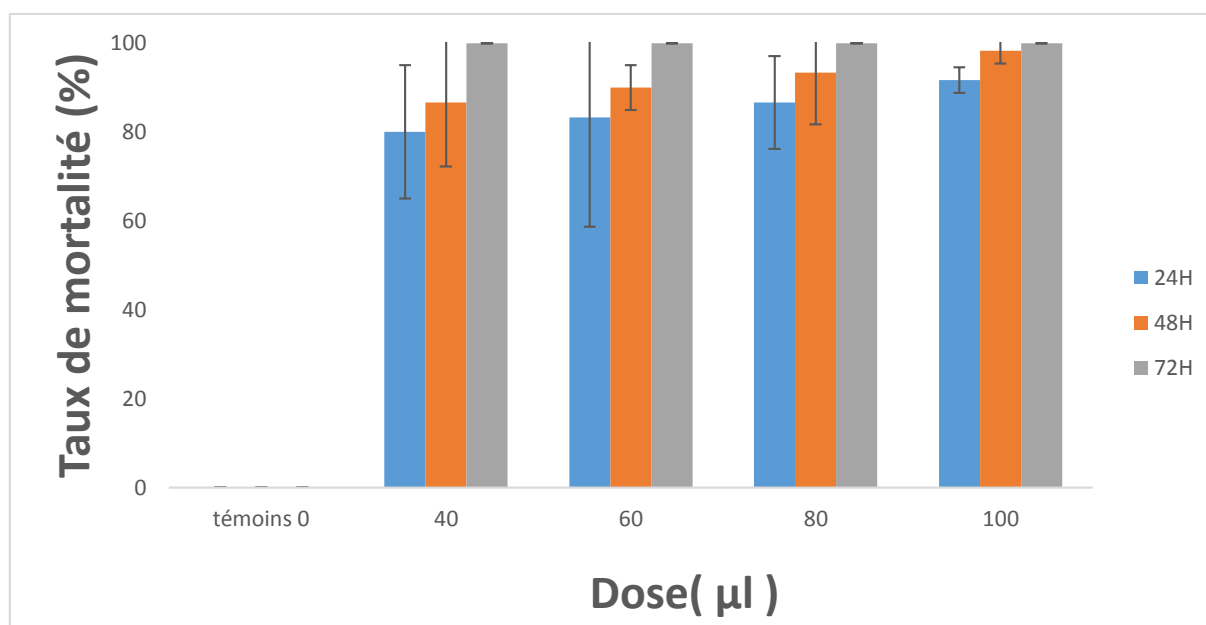
Constituants	Pic N°	TR (mn)	%
<i>α-Thujène</i>	N°01	11.41 mn	0.04 %
<i>α-pinène</i>	N° 02	12.28	0.70 %
Camphène	N°03	13.24 mn	0.005 %
<i>Sabinène</i>	N4	14.49 mn	0.47 % %
<i>Bêta-pinène</i>	N°05	14.26 mn	0.94 %
<i>Béta.Myrcene</i>	N°06	15.12 mn	0.136 %
<i>α-Phellandrène</i>	N°7	16.18 mn	0.374 %
<i>α.Terpinéne</i>	N°8	17.29 mn	0.26 %
<i>Para-Cymène</i>	N°09	17.81 mn	0.737 %
<i>Limonène</i>	N°10	18.15 mn	1.53 %
<b><i>1.8 Cinéole</i></b>	<b>N°11</b>	<b>18.15 m</b>	<b>4.68 %</b>
<i>Octanol</i>	N°12	20.15 mn	0.52 %
<i>γ-Terpinene</i>	N°13	20.85 mn	0.96 %
Terpinolene	N° 14	22.16 mn	0.136 %
<i>Linalol</i>	N°15	23.18 mn	<b>0.33 %</b>
<b><i>Menthone</i></b>	<b>N°16</b>	<b>27.38 mn</b>	<b>21 %</b>
<i>Borneol</i>	N°17	<b>27.77 mn</b>	
<b><i>Iso menthone</i></b>	<b>N18</b>	<b>28.06 mn</b>	<b>5.65 %</b>
<b><i>Menthol</i></b>	N°19	<b>28.99-29.54 mn</b>	<b>43 %</b>
<i>α-Terpinéol</i>	N°20	<b>30.06 mn</b>	<b>0.44 %</b>
<i>Menth furan</i>	<b>N°21</b>	<b>33.24 mn</b>	<b>1.96 %</b>
<i>Pulegone</i>	<b>N°22</b>	<b>34.22 mn</b>	<b>0.61 %</b>
<b><i>Piperitone</i></b>	<b>N°23</b>	<b>37.13 mn</b>	<b>4.84 %</b>
<i>Thymol</i>	<b>N°24</b>	<b>41.03 mn</b>	<b>0.045 %</b>
<i>Eugénol</i>	<b>N°25</b>	<b>42.88 mn</b>	<b>0.33 %</b>
<i>Beta Caryophyllene</i>	<b>N°26</b>	<b>45.22 mn</b>	<b>2.37 %</b>
<i>Oxyde de Caryophyllene</i>	<b>N°27</b>	<b>49.18 mn</b>	<b>1.34 %</b>

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

### 1.2.1 Effet de l'huile essentielle de la sauge (*S. sclarea*) à l'égard des œufs de *T.confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par inhalation de l'huile essentielle de la sauge à

l'égard des œufs de *T. confusum* sont représentés dans la figure suivante :



**Figure 24:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des œufs de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de *S. sclarea* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

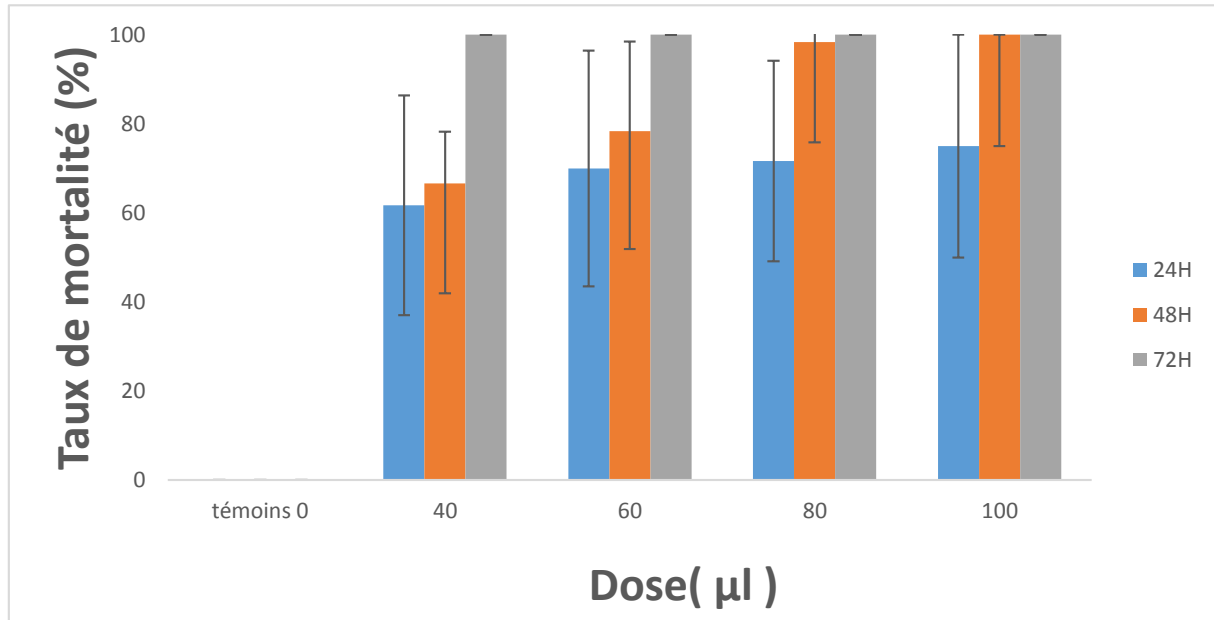
Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de la sauge a une activité insecticide par inhalation vis-à-vis des œufs de *T. confusum*.

L'effet fumigant de cette huile essentielle s'observe dès la plus faible dose utilisée (40 µl) après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 80%, ce taux dépasse les 85% en augmentant les doses. Le taux de mortalité le plus élevé (100%) est enregistré avec les doses 40, 60, 80 et 100µl après 72h d'exposition, alors que dans les lots témoins aucune mortalité n'a été observée.

La CL50 de l'huile essentielle de *S. sclarea* par inhalation après 24h d'exposition a pu être déterminée, elle est de l'ordre de 10,71 µl. Ce résultat indique que cette huile essentielle exerce un effet toxique sur les œufs de *T. confusum* par inhalation.

### 1.2.2 Effet de l'huile essentielle de la marjolaine à coquille (*O. majorana*) à l'égard des œufs de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide de l'huile essentielle de la marjolaine à coquille sur les œufs de *T. confusum* sont représentés dans la figure 25.



**Figure 25:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des œufs de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle d'*O. majorana* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

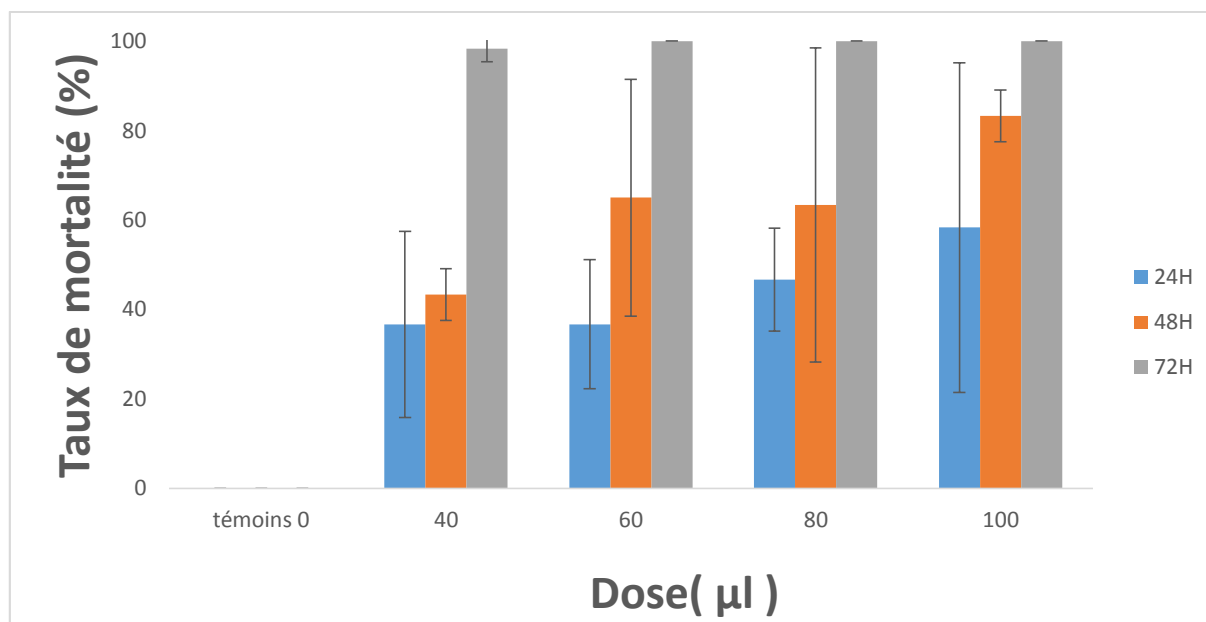
Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de la marjolaine exerce également une activité insecticide par inhalation vis-à-vis des oeufs de *T. confusum*.

L'effet insecticide de cette huile essentielle s'observe dès la plus faible dose utilisée (40 µl) après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 60%, ce taux dépasse les 70% en augmentant les doses. Une mortalité totale des œufs est enregistrée avec la dose 100 µl après 48h d'exposition et avec les doses (40, 60, 80 et 100µl), après 72h d'exposition, alors que dans les lots témoins aucune mortalité n'a été observée.

La CL50 de l'huile essentielle d'*O. majorana* par inhalation après 24h d'exposition a pu être déterminée, elle est de l'ordre de 16,98 µl. Ce résultat indique que cette huile essentielle exerce un effet toxique sur *T. confusum* par inhalation.

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

Les résultats de l'activité insecticide de l'huile essentielle de la menthe poivrée sur les œufs de *T. confusum* sont représentés dans la figure 26.



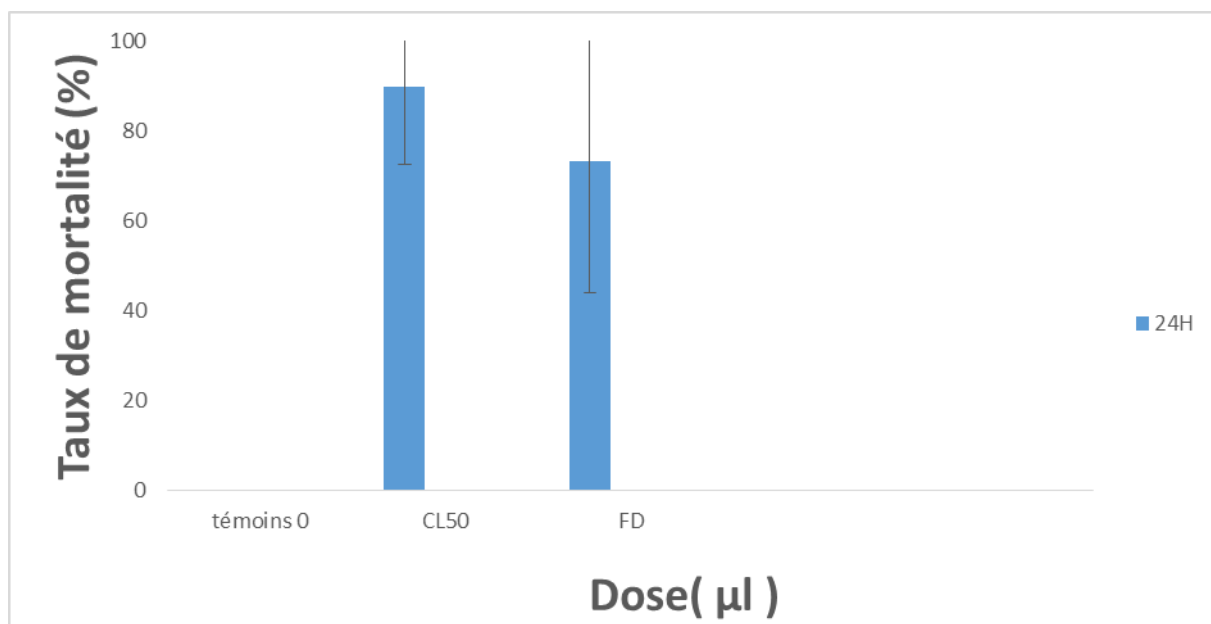
**Figure 26:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des œufs de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de *M. piperita* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des œufs dans le lot témoin, qui n'a subi aucun traitement est nul. Par contre, les résultats obtenus dans les lots traités révèlent que la mortalité des œufs de *T. confusum* évolue de façon dépendante de la dose et de la durée d'exposition. En effet, plus de 36% de mortalité est observée dès 24h d'exposition, à la plus faible dose de 40 µl. A partir de la dose 60 µl, la mortalité des œufs est totale, après 72h d'exposition.

La CL50 de l'huile essentielle de *M. piperita* par inhalation après 24h d'exposition a pu être déterminée, elle est de l'ordre de 83,17 µl. Ce résultat indique que cette huile essentielle exerce un effet toxique sur *T. confusum* par inhalation.

#### 1.2.4 Résultat du test d'inhalation de la mixture Sauge $\times$ Marjolaine à coquilles $\times$ Menthe poivrée après 24h sur les œufs de *T. confusum*

Les résultats du test par inhalation de la mixture des trois huiles essentielles après 24h d'exposition sur les œufs de *T. confusum* sont représentés dans la figure 27.



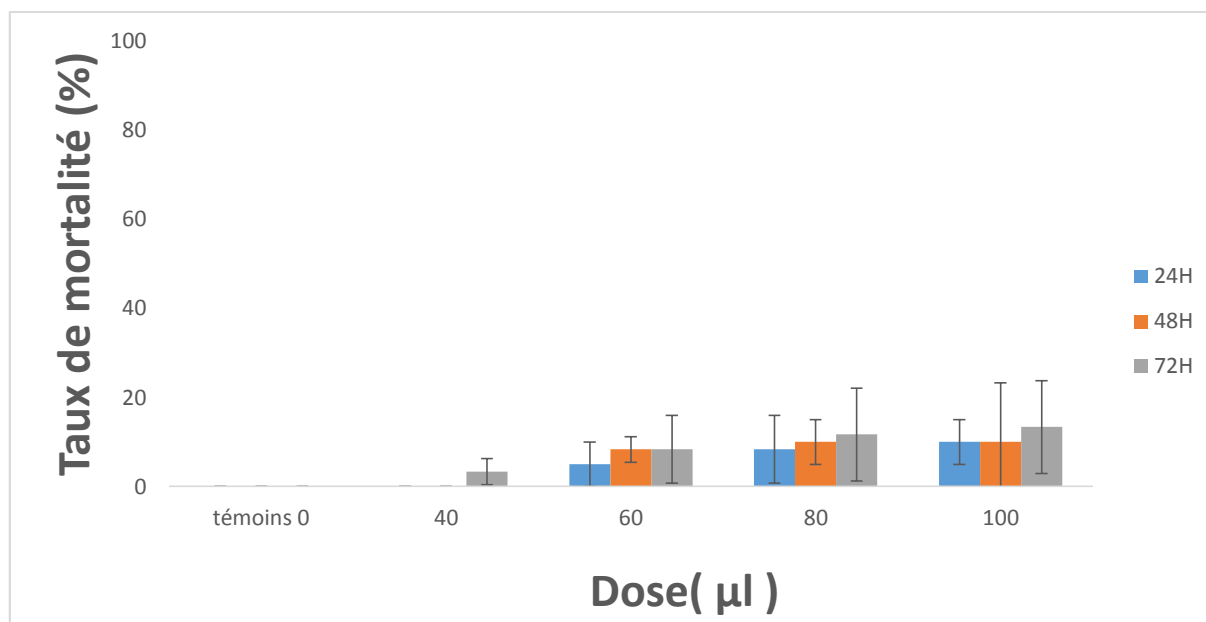
**Figure 27 :** Taux de mortalité (Moyenne  $\pm$  écart-type) des œufs de *T. confusum* traités avec la mixture sauge  $\times$  marjolaine à coquilles  $\times$  menthe poivrée, par inhalation, après 24h.

Les résultats obtenus avec la mixture de la CL50 des trois huiles essentielles (la marjolaine à coquille, la sauge et la menthe poivrée), après 24h, ont montré que cette dernière exerce une activité insecticide vis-à-vis des œufs de *T. confusum* avec un taux de mortalité égale à 90% ; De même pour la mixture de 40 µl pour chaque huile, le taux de mortalité est de 73,33333%. Par contre, dans les lots témoins le taux de mortalité des œufs de *T. confusum* est égal à zéro.

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

#### 1.3.1 Effet de l'huile essentielle de la sauge (*S. sclarea*) à l'égard des larves de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par inhalation de l'huile essentielle de la sauge à l'égard des larves de *T. confusum* sont représentés dans la figure ci-après :



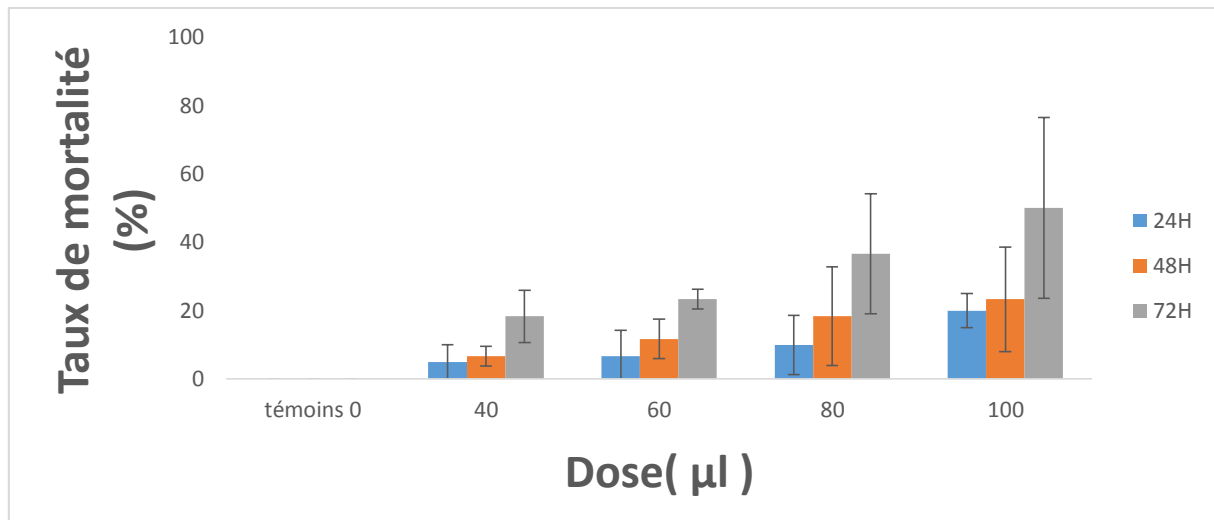
**Figure 28:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des larves de *T. confusum* traitées par inhalation avec l'huile essentielle de *S. sclarea* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Les résultats obtenus avec l'huile essentielle de *s. sclarea* montrent que cette dernière a provoqué une faible mortalité vis-à-vis des larves de *T. confusum*. En effet, le taux de mortalité ne dépasse guère 13% avec la plus forte dose (100 µl) testée, après 72h d'exposition. Le taux moyen de mortalité des larves 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 (CL50) n'a pas été déterminée.

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

Les résultats obtenus pour l'action de l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles sur les larves de *T. confusum* sont représentés dans la figure 29.

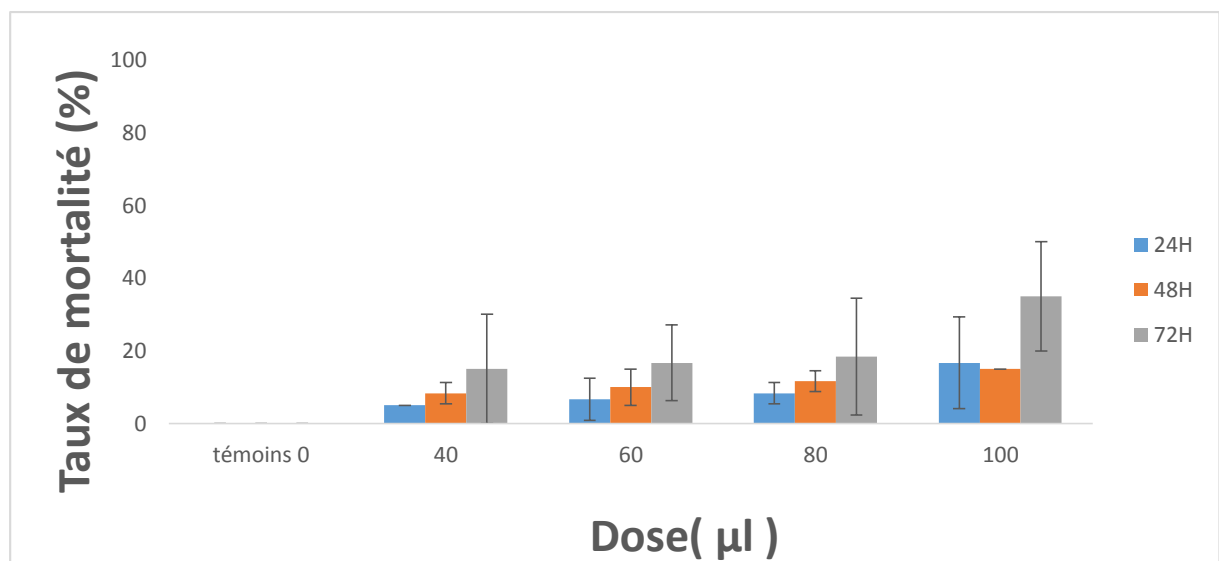


**Figure 29:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des larves de *T. confusum* traitées par inhalation avec l'huile essentielle d'*O. majorana* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

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

Après 72 heures d'exposition, l'effet de l'huile essentielle d'*O. majorana* est visible sur les larves dès la plus faible dose utilisée (40 µl), avec un taux de mortalité de 18,33%. Le taux de mortalité le plus élevé (50%) est enregistré avec la dose 100 µl, après 72h d'exposition, alors que dans les lots témoins aucune mortalité n'a été observée.

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



**Figure 30:** Taux de mortalité moyen (moyennes  $\pm$  écart-type) des larves de *T. confusum* traitées par inhalation avec l'huile essentielle de *M. piperita* en fonction de la dose et de la durée d'exposition

D'après les résultats obtenus (Fig.30), l'huile essentielle de *M. piperita* testée a montré une activité insecticide qui demeure faible vis à vis des larves de *T. confusum*. Nous avons obtenu 18% de mortalité à la plus forte dose de 100 µl, après 24h d'exposition. Ce taux de mortalité ne dépasse pas 35% toujours à la dose 100 µl, après 72h d'exposition

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

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

L'interaction des quatre facteurs n'est pas significative ( $P > 0.05$ ) sur la mortalité des œufs et des larves, ainsi que pour les interactions entre les facteurs : (dose  $\times$  huile), (stade  $\times$  dose  $\times$  huile), (dose  $\times$  temps  $\times$  huile), (stade  $\times$  dose  $\times$  temps) (Tableau 5).

**Tableau 5:** Résultats de l'analyse de la variance à quatre critères de classification, concernant la toxicité des trois huiles essentielles testées par inhalation sur les œufs et les larves de *T. confusum*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T	C.V
VAR.TOTALE	431908,4	269	1605,607				
VAR.FACTEUR 1 stade	204738	1	204738	1553,88	0		
VAR.FACTEUR 2 dose	105411,6	4	26352,91	200,008	0		
VAR.FACTEUR 3 temps	15400,31	2	7700,156	58,441	0		
VAR.FACTEUR 4 huile	3567,563	2	1783,781	13,538	0,00001		
VAR.INTER F1*2 (stade $\times$ dose)	51218,02	4	12804,5	97,181	0		
VAR.INTER F1*3 (stade $\times$ temps)	3174,516	2	1587,258	12,047	0,00002		
VAR.INTER F1*4 (stade $\times$ huile)	6538,406	2	3269,203	24,812	0		
VAR.INTER F2*3 (dose $\times$ temps)	4367,281	8	545,91	4,143	0,00016		
VAR.INTER F2*4 (dose $\times$ huile)	1641,688	8	205,211	1,557	0,13981		
VAR.INTER F3*4 (temps $\times$ huile)	3254,656	4	813,664	6,175	0,00014		

VAR.INTER F1*2*3 (stade × dose × temps)	2543,078	8	317,885	2,413	0,01697		
VAR.INTER F1*2*4 (stade × dose × huile)	2037,531	8	254,691	1,933	0,05727		
VAR.INTER F1*3*4 (stade × temps × huile)	1964,969	4	491,242	3,728	0,00625		
VAR.INTER F2*3*4 (dose × temps × huile)	1186,094	16	74,131	0,563	0,90847		
VAR.INT.F1*2*3*4 (stade × dose × temps huile)	1148	16	71,75	0,545	0,9201		
VAR.RESIDUELLE 1	23716,66	180	131,759			11,479	29,96%

Le test de Newman et Keuls classe le stade de développement de *T. confusum* en deux groupes homogènes, les œufs ont montré le taux de mortalité le plus élevé 65,85 et sont classées dans le groupe A. Par contre, les larves sont moins sensibles, elles sont classées dans le groupe B avec un taux de mortalité de 10,77 (Tableau 6).

**Tableau 6:** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des trois huiles essentielles testées par inhalation sur le stade de développement de *T. confusum*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	S1 (Œuf)	65,852	A	
2.0	S2 (larve)	10,778	B	

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans 4 groupes homogènes A, B, C, D. La dose 100 µl, la plus efficace est classée dans le groupe homogène A. Les doses 80 µl et 60µl, sont classées dans le même groupe homogène B. Les autres doses sont classées chacune dans un groupe homogène à part (Tableau 7).

**Tableau 7:** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des huiles essentielles testées par inhalation sur les œufs et les larves de *T. confusum*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	D4 (100)	55,556	A			
4.0	D3(80)	49,63	B			
3.0	D2(60)	45,556	B			
2.0	D1 (40)	40,833	C			
1.0	D0(0)	0	D			

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 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 (72h), dans le groupe B (48h), et enfin dans le groupe C (24h) (Tableau 8).

**Tableau 8:** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur temps sur les œufs et les larves de *T. confusum*.

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
3.0	T3 (72)	48,278	A		
2.0	T2(48)	36,667		B	
1.0	T1 (24)	30			C

Le test de Newman et Keuls classe l'huile essentielle de la sauge (*S. sclarea*) et la marjolaine à coquilles (*O. majorana*) dans le même groupe homogène A enregistrant une mortalité moyenne de 39,94 et 41,73 respectivement. Elles manifestent une toxicité supérieure à celle de la menthe poivrée (*M. piperita*) qui appartient au groupe homogène B avec une moyenne de 33,28 (Tableau 9).

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

F4	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0	H2 (marjolaine)	41,722	A	
1.0	H1 (sauge)	39,944	A	
3.0	H3 (menthe)	33,278		B

## 2. Discussion sur la toxicité des trois huiles essentielles par inhalation sur les œufs et larves de *T. confusum*

Dans cette étude, nous avons tenté d'évaluer l'effet toxique de trois huiles essentielles de la menthe poivrée, de la marjolaine à coquilles et de la sauge sur les œufs et les larves de *T. confusum*, par inhalation, en utilisant différentes doses et différents temps d'exposition.

Les résultats obtenus montrent clairement que les trois huiles essentielles ont révélé un effet toxique très hautement significatif sur les œufs et une faible mortalité sur les larves de *T.*

*confusum*. En effet, les huiles essentielles de marjolaine à coquilles et de la sauge sont plus toxiques sur les œufs que l'huile essentielle 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 œufs qui dépendent de l'huile, des doses utilisées et de la durée d'exposition. Ces variations peuvent être attribuées à la composition chimique de l'huile essentielle, les composés majeurs de la sauge sont : l'Acétate de Linalyle (69%), Linalol (25%),  $\alpha$ -Terpinéol (3.18 %) et Germacrene D (3.13 %), Pour l'huile essentielle d'*O. majorana*, sont : Terpinen-4-ol (20.90 %), Linalol +trans sabinene (16.18 %),  $\gamma$ -Terpinene (12.23 %) et Sabinène (8.95 %) et  $\alpha$ -Terpinène (7.62 %), tandis que pour l'huile essentielle de *M. piperita*, les composés majoritaires sont le Menthol (43%), Menthone (21 %), Iso menthone (5,65%), Piperitone (4,84%) et 1.8 Cinéole (4,68%).

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 œufs de *T. confusum*.

Les travaux de **kheloul (2020)** montrent que l'huile essentielle des clous de girofle a provoqué 100% de mortalité chez les œufs de *T. confusum* à la plus faible dose de 62,5 ml/L et en 24h seulement. Par contre, l'huile essentielle de lavande aspic et l'eucalyptol n'ont enregistré 100% de mortalité qu'à la plus forte dose de 500 ml/L, après 96h d'exposition.

La sensibilité des œufs de *T. confusum* du Val. (Coleoptera : Tenebrionidae), aux vapeurs d'huiles essentielles d'ail (*Allium sativum* L.), de bouleau (*Betula lenta* L.), la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum* (Blume)) et l'anis (*Pimpinella anisum* L.) a été étudiée par **Isikber et al.(2009)** avec d'autres insectes tels que : *Ephestia kuehniella* (Zell.) (Lepidoptera : Phycitidae) et *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera : Pyralidae), les vapeurs des huiles essentielles avaient un effet significatif sur les œufs des espèces d'insectes testées lorsqu'elles étaient exposées à une concentration de 20  $\mu$ l/aérer pendant 24h. En général, les huiles essentielles d'ail et de bouleau étaient plus toxiques pour les œufs des espèces d'insectes testées que les huiles essentielles de cannelle et d'anis à l'exception des œufs de *T. confusum*. Il y avait également une différence significative entre la sensibilité des œufs de *T. confusum*, *E. kuehniella* et *P. interpunctella* aux huiles essentielles testées. Les données de toxicité ont indiqué que les œufs de *T. confusum* étaient plus sensibles aux huiles essentielles testées, avec des valeurs de CL 90 allant de -13,11 à 33,49 ml / air, que ceux de *E. kuehniella* et *P. interpunctella* ; les œufs de *P. interpunctella* étaient les plus tolérants aux huiles essentielles,

avec des valeurs de CL90 -1 allant de 22,02 à 72,42 ul / air. Des produits concentration  $\times$  temps (Ct) de 0,29, 0,22, 0,13 -1 et 1,37 mg / h pour l'huile essentielle d'ail, de bouleau, de cannelle et d'anis, respectivement, ont été nécessaires pour obtenir 90 % de destruction des œufs de *T.confusum*.

**Isikber et al. (2006)** a également fait une étude sur la toxicité fumigène des huiles essentielles de *Laurus nobilis* et *Rosmarinus officinalis* contre tous les stades de vie de *T. confusum*. Les vapeurs d'huiles essentielles de romarin et de laurier étaient toxiques pour tous les stades de vie de *T. confusum*. Seulement 65 % de mortalité des œufs ont été atteints lorsqu'ils ont été exposés à une dose de 172,6 mg l<sup>-1</sup> air d'huile essentielle de romarin à la plus longue période d'exposition (144 h). Cependant, l'huile essentielle de laurier était plus toxique que le romarin pour les œufs.

Les résultats obtenus pour les larves des *T. confusum* à travers cette étude montrent une nette différence dans l'efficacité des trois huiles essentielles testées. À cet effet, l'huile essentielle de marjolaine à coquilles et de la menthe poivrée paraissent plus efficace comparée à celle de la sauge.

Les larves de *T. confusum* âgées de 10 à 15 jours sont moins sensibles à la fumigation avec les trois huiles essentielles testées. Le taux de mortalité enregistré est très faible (au-dessous de 50%), ainsi la concentration létale 50 (CL50) n'a pas été déterminée.

Nos résultats sont en adéquation avec ceux de **Zerrougui et Boukhatem (2020)**. Ces auteurs ont rapporté que l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* a montré une faible activité larvicide contre *T. confusum*. Une toxicité faible se traduisant par un taux de mortalité de seulement 6,66% à la concentration la plus élevée 1600 $\mu$ l/l air après 24h d'exposition. Le taux de mortalité augmente à 33% après 72h d'exposition à la même concentration. Cependant, le taux de mortalité est très faible au-dessous de 50% ainsi la concentration létale 50% (CL50) n'a pas été déterminée.

Contrairement à nos résultats, **kheloul (2020)** a montré que les huiles essentielles testées ont provoqué un effet insecticide intéressant vis-à-vis des jeunes larves de *T. confusum*. Elle a obtenu 100% de mortalité à la plus faible dose de 7,81 l/L, après 96h, avec l'huile essentielle de romarin et l'eucalyptol.

Selon **Isikber et al. (2006)**, les huiles essentielles de romarin (*R. officinalis* L.) et de laurier (*L. nobilis* L.) obtenues de la province de Mersin en Turquie, ont été testées pour leur

toxicité fumigante contre tous les stades de vie du *T. confusum*. Cependant, l'huile essentielle de romarin était plus toxique que le laurier pour les adultes et les larves de *T. confusum*. La tolérance des stades de développement de *T. confusum* aux huiles essentielles de romarin et de laurier était, par ordre décroissant : pupes < larve < adulte et larve < adulte < œuf < pupes, respectivement.

D'après **Theou et al. (2013)**, six huiles essentielles dérivées de *Lavandula hybrida*, *Laurus nobilis*, *Thuja orientalis*, *Citrus sinensis*, *Citrus limon* et *Origanum vulgare* ont été évaluées dans un test préliminaire de dépistage par fumigation sur des larves de *T. confusum* âgées de 10, 25 et 31 jours. Les coléoptères ont été exposés aux vapeurs d'huiles essentielles à une série de concentrations allant de 0,27 à 165 µl/l d'air selon l'huile essentielle. Toutes les huiles essentielles sauf *O. vulgare* présentaient une forte toxicité de fumigation. En général, les larves de 10 jours étaient les plus sensibles et les larves de 25 et 31 jours étaient les plus tolérantes.

Ces dernières années, de nombreuses recherches ont été menées pour rechercher des composés sans danger pour l'environnement pour lutter contre les ravageurs des entrepôts. Parmi ces recherches l'étude de **Fathi et Shakarami, (2014)**. Dans cette recherche, la toxicité fumigante de l'huile essentielle de cinq espèces d'eucalyptus, y compris *Eucalyptus camaldulensis*, *E. viminalis*, *E. microtheca*, *E. grandis* et *E. sargentii*, a été testée contre des larves âgées de 4 à 13 jours de *T. confusum* (du Val) et *T. castaneum* (Herbst). Les expériences ont été réalisées à  $27 \pm 1$  C et  $60 \pm 5\%$  HR dans l'obscurité. La mortalité a été enregistrée après 24 et 48 heures de traitement. Les résultats montrent que les cinq huiles essentielles végétales testées ont causé la mortalité de ces ravageurs de manière très significative. Les résultats montrent que 48 heures après la fumigation, les valeurs CL 50 de l'huile essentielle de *E. camaldulensis*, *E. viminalis*, *E. microtheca*, *E. grandis* et *E. sargentii* ont été trouvés à 32,29, 16,74, 42,04, 22,48 et 85,97 L/L d'air sur les larves de *T. confusum* et 103,27, 35,48, 87,01, 63,06 et 122,20 ML/L d'air sur les larves de *T. castaneum*, respectivement. Le résultat a révélé que parmi les cinq huiles essentielles testées, l'huile essentielle d'*E. viminalis* était la plus toxique sur les larves des deux insectes et peut être utilisée comme pesticide naturel pour lutter contre ces ravageurs.

Dans la présente étude, la mixture des trois huiles essentielles (la marjolaine à coquilles, la sauge et la menthe poivrée) testées par inhalation, sur les œufs de *T. confusum* s'est montrée efficace. Nous avons enregistré une mortalité de 90% après 24h d'exposition seulement. 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. **Kacel et Baba Ahmed, (2022)** ont constaté que la mixture de deux huiles essentielles (la marjolaine à coquilles et la menthe poivrée) après 24h exerce des activités fumigantes prononcées contre les adultes de *T. confusum* avec un taux de mortalité égale à 77%.

# **Conclusion**

L'insecte *Tribolium confusum* est considéré comme un nuisible comestible dangereux. En fait, l'utilisation de pesticides chimiques est la méthode la plus couramment utilisée pour réduire la gravité de ces ravageurs. Cependant, l'utilisation de ces produits de synthèse est déconseillée pour des raisons telles que la toxicité physique, la pollution de l'environnement, et surtout l'émergence d'insectes résistants. Il est donc nécessaire d'explorer de nouvelles alternatives plus efficaces et moins nocives pour l'environnement, et l'utilisation de formulations à base de plantes aromatiques qui peut offrir de nombreux avantages par rapport aux pesticides de synthèse.

Dans notre étude, nous avons cherché à évaluer la bio activité de trois huiles essentielles de la famille des Lamiacées à savoir la sauge (*S. sclarea*), la marjolaine (*O. majorana*) et la menthe poivrée (*M. piperita*) par inhalation contre les larves et les œufs de *T. confusum*.

Les résultats des tests par inhalation ont montré que cette activité insecticide dépend de la substance naturelle testée, du stade de développement de l'insecte ravageur, de la dose utilisée et de la durée d'exposition au traitement.

En effet, le taux de mortalité le plus élevé des œufs de *T. confusum* est enregistré dès la plus faible dose d'huile essentielle utilisée (40 µl), après 72h d'exposition (pour toute les huiles essentielles). Par contre les larves de *T. confusum* âgées de 10 à 15 jours se sont montrées moins sensibles aux huiles essentielles de sauge, marjolaine et menthe poivrée.

La comparaison des CL50 des œufs calculées après 24h a montré que les huiles essentielles de sauge (CL50=10,71 µl) et de marjolaine à coquilles (CL50=16,98 µl) Sont plus toxiques que l'huile essentielle de menthe poivrée (CL50=83,17 µl).

Pour les larves la CL50 n'a pas été déterminée en raison de leur faible taux de mortalité qui est inférieure à 50%.

L'utilisation de bio pesticides pour protéger les semences stockées peut être l'une des méthodes les plus appropriées et les plus efficaces. Il a donc été décidé d'initier une expérimentation visant à valider les conclusions d'études antérieures, notamment sur des plantes ayant montré une certaine efficacité, pour étudier la qualité de torréfaction des graines traitées aux huiles essentielles et de leurs dérivés.

L'étude de la résistance des insectes aux huiles essentielles et à leurs principaux constituants est également nécessaire pour connaître les composés responsables de l'activité insecticide observée chez ces ravageurs.

# **Références bibliographiques**

- **Abadlia M et Chebbour A., (2014).** Etude des huiles essentielles de la plante *Mentha*.
- **Abbas K., (2005).** Perspectives d'avenir de la jachere paturee dans les zones cerealieres semi arides. Fourrages (2005) 184, P 533-546 .
- **Aflatuni A., (2005).** The yield and essential oil content of mint (*Mentha ssp.*) in Northern.
- **Afnor, (2000).** Huiles essentielles. Ed. PARA Graphic. Tome1 – Echantillonnage et méthode d'analyse 471 P. Tome 2 – Volume 1 Monographie relative aux huiles essentielles 323 P. Tome 2 – Volume 2 Monographie relative aux huiles essentielles P663.
- **Alais C., Linden G., et Miclo L., (2003).** In : Biochimie Alimentaire. Ed Dunod, Paris. P250
- **Alloun k., (2013).** Composition chimique et activités antioxydantes et antibacterienne des huiles essentielles de l'aneth (*Anethum graveolens* L.) de la sauge (*Salvia officinalis* L.) et de la rue des montagnes (*Ruta montana* L.). ecole nationale superieur agronomique El- harrach Alger.
- **Amrani M., (2006).** La culture de l'Orge (*Hordeum Vilgare*) Fiche technique de l'Institut Technique des Grandes Culture.
- **Anonyme, (2001).** Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Ed. ITCF. P268 .
- **Anonyme, (2012)** [http://www.surlechemindelavie.over-blog.com/pages/Procede D'extraction des essences naturelles-813294.html](http://www.surlechemindelavie.over-blog.com/pages/Procede_D%27extraction_des_essences_naturelles-813294.html). Le 01 Septembre 2012.
- **Anonyme<sup>1</sup> (2013).** figure *Mentha x piperita*.
- **Anonyme<sup>2</sup>(2013).** [http://www.inenuy.fr/huiles-essentielles-bio/392-huile\\_essentielle-de-sauge-10-ml-salvia-sclarea-purifiante.html](http://www.inenuy.fr/huiles-essentielles-bio/392-huile_essentielle-de-sauge-10-ml-salvia-sclarea-purifiante.html). Le 15 Mars 2013.
- **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).
- **Anonyme, (2020).** <https://www.memoireonline.com/11/15/9306/Etude-bibliographique-sur-les-huiles-essentielles-et-vegetales.html>.

- **Anonyme, (2021).** Aroma zone.
- **Balachowsky A. S, et Mensil L., (1936).** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, et leur destruction. ed. Etablissement. BUSSON., Paris, Tome II, P : 1722-1724.
- **Balachowsky A. S., (1962).** Entomologie appliquée à l'agriculture. Ed. Masson et cie, paris, Tome I, P : 378-392.
- **Baudoux D., (2002).** L'Aromatherapie. Se soigner par les huiles essentielles (Amyris, Bruxelles ed.).
- **Beeman R.W., Haas S. et Friesen K. Tribolium Stock Maintenance :** USDA ARS, [www.ars.usda.gov/plains-area/mhk/cgahr/spieru/docs/tribolium-stock-maintenance/#sexing](http://www.ars.usda.gov/plains-area/mhk/cgahr/spieru/docs/tribolium-stock-maintenance/#sexing).
- **Bekhechi C et Abdelouahid D. (2014).** Les huiles essentielles. Office des publications universitaires P55.
- **Beloued A.E.K., (2001).** Plantes médicinales d'Algérie. O.P.U. Alger, P277.
- **Benayad N. (2008).** Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines: moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Mémoire, Université Mohammed V – Agdal. Rabat, Maroc.
- **Benayad N., (2008).** Les huiles essentielles des plantes médicinales du Maroc : Moyens efficaces de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées, ed., Maroc, P223 .
- **Benayad N., (2013).** Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines. Thèse de doctorat Chimie Organique Université Mohammed V, P196.
- **Benouali D., (2016).** Extraction et identification des huiles essentielles, Polycopie Cours, Module : Séparation et analyse des biomolécules, Master 2 : Contrôle de qualité, Univ: Sciences et de la technologie d'Oran « Mohamed Boudaif », P17.
- **Boudreau et Menard., (1992).** Le blé : éléments fondamentaux et transformation ed : les presses de l'université LAVAL; CANADA; P 29-32.

- **Brickell, C., Mioulane, P., (2004).** Royal Horticultural Society (Grande-Bretagne). Encyclopédie universelle des 15 000 plantes et fleurs de jardin. Larousse, Paris. P 922, 989. ISBN: 978-2-03-560381-4.
- **Bruneton J., (1995).** Pharmacognosy, Phytochemistry and medicinal plants. Technique et documentation. ed., Lavoisier, paris, 526 p.
- **Bruneton J., (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition, ed. TEC et DOC, Paris.
- **Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème éd. ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris.P101-120.
- **Cabaret J., (1986) :** « 167 plantes pour soigner les animaux, phytothérapie vétérinaire, point vétérinaire ».1eme ed., Paris, P 209 .
- **Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P.W., Castillejos L., Ferret A., (2007).** Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. Journal of Dairy Science; vol 90: 2580–2595.
- **Calvel R., (1984).** Le pain et la panification, coll. Que-sais-je, PUF, Paris.
- **Chabert.G., (2013).** Myrtacées et aromathérapie [Thèse]. (Faculté de pharmacie de Grenoble. Université Joseph Fourier.
- **Charpentier B., Hamon-Lorlec’H F., Harlay A., HuardA., Ridoux L., Chanselle., (2008).** Guide du préparateur en pharmacie. 3ème ed, Elsevier Masson, P 1358.
- **Chenna A., Ahmedi, R., & Chefrou, 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.
- **Couplan, F., (2012).** Les plantes et leurs noms : histoires insolites. Éditions Quae, Versailles, France.p157. 238P. ISBN : 978-2-7592-1799-1.
- **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, P.41-61.
- **Cronquist (1981).** The evolution and classification of flowering plants, P396.

- **Cruz et Diop., (1989).** Génie agricole et développement : technique d'entreposage. Bulletin des services agricoles de la FAO, 74, 3-20.
- **Dajoz R., (2002).** Dictionnaire d'entomologie, anatomie, systématique, biologie. ed pays. P 169-170.
- **De Billrbeck V.G., Roues C., Vanierie P et Marquier P., (2002).** Activité antibactérienne et antifongique de produits à base d'huiles essentielles. Revue hygiène, 10(3): P 248- 254 .
- **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 éd., P : 275-280 et 345-346.
- **Denne W., (2010).** Herbes médicinales et aromatiques au jardin. Ed. Larousse, Paris. p 131.
- **Dubois J., Mitterand H., Dautat A., (2006).** Dictionnaire étymologique et historique du français – Larousse.
- **Eugénia P., Luis V.S., Carlos C., Ligia S., (2009).** Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species.
- **Enan E., 2001:** Insecticidal activity of essential oils. Octopaminergic sites of action. Comp.Biochem.Physiol.Part C 130:325- 337 p.
- **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.
- **Fathi A, Shakarami J., (2014).** Revue internationale des sciences de l'agriculture et des cultures (IJACS) 7 (5), p 220- 224.
- **Feillet P., (2000).** Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris 171,222-308p.

- **France-Ida J., (1996).** Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles. Info-essence. 3 : 5-6.
- **Franchomme P. et Penoeld D., (1990).** Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. R.Jollois Ed., Limoge, 446 p.
- **Franchomme, P., Jollois, R., Pénéol, D., (2012).** L'aromathérapie exactement : encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles : fondements, démonstration, illustration et applications d'une science médicale naturelle. Roger Jollois, Limoges.p 435. ISBN : 2-87819-001-7.
- **Franconie H., (2010).** Couscous, boulgour et polenta : transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed Karthala, Paris. 434p.
- **Garnero J., (1996).** Phytothérapie-aromathérapie (Encycl. Méd. Nat ed.).
- **Gayet M., (2016).** Grand traité des céréales & pseudocéréales : avec 140 recettes, Paris, Le Sureau, coll. « Petits et grands traités », 343 p. (ISBN 9782364021358), p. 16.
- **Georgetti S.R., Casagrande R., Di Mambro V.M., Azzolini A., Fonseca Gevardat de Fombelle A., (2003).** Etude de l'effet de l'origine botanique de l'amidon sur sa digestibilité anti-caecale chez le cheval. Thèse de Doctorat, Institut Agronomique de Paris, p.24.
- **Godon B., et Willm C., (1991).** Les industries de la 1<sup>o</sup> transformation des céréales. Tec & Doc. Lavoisier.p135-254.
- **Godon., (1998).** Biotransformation des produits céréaliers Ed : pria/Inra : techniques et
- **Godon, B. Willm, C., (1998) :** Industrie des premières transformations des céréales, Tec et doc, Lavoisier. Paris.
- **Godon, B., (1991).** Biotransformation des produits céréaliers, PARIS LAVOISIER Tec & Doc 2<sup>ème</sup> tirage,1998, p.57-342-376.
- **Gwinner J., Hanisch R., Mûck O., (1996).** Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. GTZ. Escharbon. p: 368.
- **Hammami S. et Abdesselem M., (2005).** Extraction et analyse des huiles essentielles de la menthe poivrée de la région d'Ouargla. Thèse Ing, Univ, Blida. p 69.

- **Hoseney R.C., (1994).** Malting and brewing. Principles of Cereal Science and Technology, 2nd Ed, pp. 177-196. AACC, St Paul, Minnesota, USA.
- **Inouye S., Abe S., (2007).** Nouvelle approche de l'aromathérapie anti-infectieuse-Phytothérapie, Vol. 1.2, 4 p.
- **Isikber AA, Alma MH, Kanat M, Karci A., (2006).** Phytoparasitica 34, p 167-177.
- **Iserin, P., (2001).** Encyclopédie des plantes médicinales : identification, préparation, soins s. Ed. Larousse Bourdasse. Paris. p 99, 275, p 869.
- **Iserin, P., (2007).** Encyclopédie des plantes médicinales : identification, préparation, soins.
- **ISO, 1999/TR 210/ (F).**
- **Jeanatet R., Croguennec T., Schuck P., Bruel G., (2007).** La science des aliments Technologie des produits alimentaires. Ed Tec & Doc 2<sup>ème</sup> Bd. Lavoisier. Paris p 187-452.
- **Jouault S., (2012).** La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité, le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Univ: Lorraine, faculté de Pharmacie, 137p.
- **Kacel A, Baba Ahmed L., (2022).** 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). Mémoire de fin d'étude Master 2 en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 61 p.
- **Kaloustian J, Hadji Minaglou F., (2012).** La connaissance des huiles essentielles : qualité et aromathérapie. Paris : Éd Springer.
- **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, 1(2), 10-13.
- **Khelassi H. et Mekmouche F., (2009).** Comportement biochimique, technologique et physico-chimique de semences de Blé ionisées sur plusieurs générations. Mémoire d'ingénieur. Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrache, p 16.

- **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.
- **Kumar B., Mali H. et Gupta E., (2014).** Genetic variability, character association, and path analysis for economic traits in menthofuran rich half-sib seed progeny of *Mentha piperita* L. BioMed Research International : 1-7.
- **Labeyrie Y., (1962).** Les Acanthoscelides obtectus, entomologie appliquée à l'agriculture. ed. Masson Publ. Paris, 335 P.
- **Laguerre V., (2015).** Huiles essentielles et 1,8-cinéole. Sciences pharmaceutiques. hal-01770640.
- **Lahlou M., (2004).** Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils, phytother. Res. N°18, P435-448.
- **Laszlo, P., (2000).** Le savoir des plantes. Ellipses Marketing, Paris. p22. 125P. ISBN : 2-7298-00298.
- **Laurent J., (2017).** Conseils et utilisation des huiles essentielles les plus courantes en officine. [Thèse]. Toulouse : Université de Toulouse.
- **Lauro M., Ring S., B VJ. Poutaneu K., (1997).** Gelatinisation of waxy barby starch hydrolysates. Canadian Journal of Cercal Sci. Vol 26. n° 3. P 347-560.
- **Lepesme P., 1944.** Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed. Paul le chevalier, Paris. 335p.
- **Ietswaart., 1980.** A taxonomic revision of the genus *Origanum*(Labiatae) (1e éd.)(Vol. 4, p. 158). The Hague: Leiden University Press. 17, 84 p.
- **Makhloufi, A., (2013).** Etude des activités antimicrobienne et antioxydant de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de Bechar (*Matricaria pubescens* (Desf.) Et *Rosmarinus officinalis* L) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru. Thèse de doctorat en Microbiologie et sécurité sanitaire des aliments. Université de Tlemcen. 64, 65, 66, 67,74p.

- **Morigane., (2007).** Grimoire des Plantes.
- **Morot-Gaudry J.F., (1997).** Assimilation de l'azote chez les plantes : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Ed INRA. Paris, p377.
- **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.
- **Naganuma M., Hirose S., Nakayama Y., Nakajima K., Someya T., (1985).** A study of the phototoxicity of lemon oil. Arch. Ed., Dermatol. Res., 31-36.
- **Neron S., (2000).** Les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. Industrie des céréales, n.119, p.p.5-18.
- **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.
- **Okandza Y., (2000).** Caractérisation technologique et biochimique de quelques variétés de blés durs Algériens. Thèses Magistère. NN.A. Alger.
- **Omidbeygi M., Barzegar M., Hamidi Z., and Naghidibadi H., 2007 :** Antifungal activity of tyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus xavus* in liquid medium and tomato paste. Food Control, 18, 1518-1523 p.
- **Pauli., (2001).** Antimicrobial properties of essential oil constituents. International Journal of Aromatherapy, 11, 126-133 p.

- **Pruthi, H. S., M. Singh, (1950).** Pests of stored grain and their control. Special number. Indian journal of Agricultural Science. 1-52 p.
- **Regnault-Roger C., (2005).** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement. Tec et Doc Lavoisier, Paris, pp. 1013.
- **Regnault-Roger C., 2002.** De nouveaux phyto- insecticides pour le troisième millénaire. In : Philogène BJR, Ragnault-Roger C, Vincent C. coord. Biopesticide d'origine végétale. Paris: Lavoisier-Editions Tec et Doc, 19-39p
- **Richard F., (1992).** Manuel des corps gras, Paris, Ed: Lavoisier, Tec. &Doc.1228-1242 p.
- **Salvatori, O., (2005).** Botanica encyclopédie de botanique &d'horticulture : plus de 10000 plantes du monde entier. H.F. Ullmann, Königswinter (Allemagne). p 816. 1020P. ISBN : 978-3-8331-5648-9.
- **Samson M.F. et Desclaux D., (2006).** Amélioration de la valeur technologique et commercial du Blé dur : vers une réduction des taux de mouchetures et de mitadins. Ed. Tec; & Doc. Lavoisier. Paris
- **Sanon A, Garba M, Auger J., (2002).** Journal of Stored Products Research. 38, 129 p.
- **Schaal S., (2010).** Les plantes médicinales des pelouses calcaires de la réserve naturelle de Montenach (57)., thèse doctorat. Université Henri Poincare – Nancy 1.
- **Schuhmachier A., Reichling P., (2003).** Virucidal effect of Peppermint oil on the enveloped viruses Herpès Simplex Virus type 1 and type 2 in vitro. Phytomedicine, 10(6-7), 504- 510 p.
- **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.
- **Semsar., (2013).** Effet insecticide de l'huile végétale d'argan (*Argania spinosa*) à l'égard de deux insectes ravageurs du blé. UMMTO.

- **Serpeille A., (1991).** Le bruche du haricot : un combat facile. Bulletin semences, n° 116, Ed. FNAMS, Paris, p : 32-34.
- **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.
- **Simon H., Codaccioni P., Lecoeur X., (1989).** « Produire des céréales à paille », Tec & doc. Lavoisier, Paris, 333 p.
- **Siret C., (2004).** Structure des aliments techniques de l'ingénieur traité agroalimentaire. p 9-10.
- **Smith C.K., Moore C.A., Alahi E.N., Smart Â.T., Hotchkiss S.A., (2000).** Human skin absorption and metabolism of the contact allergens, cinnamic aldehyde and cinnamic alcohol. Toxicol. S. Ed., Paris, p 168-189.
- **Smith E.H., Whitman R.C., (1992).** Field Guide to Structural Pests. National Pest Management Association, Dun Loring, VA. New York, p 59-62.
- **Spedona., (2017).** “Grain de Blé.” Wikipedia, 20 Mar. 1970, fr.wikipedia.org/wiki/Grain\_de\_bl%C3%A9#/media/Fichier:Weizenkorn-fr.svg.
- **Steffan J.R., (1978).** Description et biologie des insectes. Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. AFNO R.-I .T. G. C. F, Paris.237 p.
- **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.
- **Tara A., (2005).** Modification chimique de l'amidon par extrusion réactive. Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, France, p4.
- **Theou G., Papachristos DP., Stamopoulos DC., (2013).** Journal hellénique de la protection des plantes 6 (1), 29-39.
- **Tongnuanchan P. et Benjakul S.J., (2014).** Food Sci. 79p.

- **Tripathy B., Satyanarayana S., Abedulla Khan K. et Raja K., (2017).** An Updated Review on Traditional Uses, Taxonomy, Phytochemistry. Pharmacology and Toxicology of *Origanum majorana*. *Int. J. Pharma Res. Health Sci*, 5, 1717-1723 p.
- **Valnet M., (2005).** Antibacterial activity of 11 essential oils against *Bacillus cereus* in tyndallized carrot broth International. *Journal of Food Microbiology*.85. 73-81 p.
- **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 p. 261-267.
- **Velé H., (2015).** Valorisation officinale des huiles essentielles autorisées dans les phytomédicaments. [Thèse]. Angers : Université d'Angers.
- **Zaghouane F., Merabiti A., Zaghouane O., Bouabdelli F., (2003).** Le blé dur : qualité, importance et utilisation dans la région des hauts plateaux, ITGC, Alger, p43.
- **Zerrougui N, Boukhatem M., (2020).** Activité adulticide et larvicide de l'huile essentielle de *Origanum vulgare* sur un ravageur secondaire des denrées stockées - *Tribolium confusum*- mémoire de fin d'étude université de Tébessa.
- **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 de trois huiles essentielles *Origanum majorana*, *Mentha piperita* et *Salvia sclarea* sur les œufs et les larves de *Tribolium confusum* dans les conditions de laboratoire.

Nos résultats indiquent que les huiles essentielles testées exercent une toxicité importante par inhalation sur les œufs de *T. confusum*. En effet, elles entraînent une mortalité de 100% après 72h d'exposition à la dose 40 µl. Par contre sur les larves, la toxicité des huiles essentielles testées est faible. En effet, le taux de mortalité le plus élevé est de 50% obtenu à la dose 100 µl, après 72h avec l'huile essentielle de la marjolaine à coquilles. Les résultats de la mixture de la CL50 des trois huiles essentielles, ainsi que la mixture de 40 µl de chaque huile, ont montré une forte activité insecticide vis-à-vis des œufs de *T. confusum* avec un taux de mortalité de 90% et 73,33%, respectivement, après 24h.

De ce fait, les huiles essentielles de menthe poivrée, de marjolaine et de sauge sclarée peuvent être utilisées seules ou en mélange pour réduire les pertes dues à cet insecte ravageur.

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

## Abstract

The present study aims to evaluate the toxicity by inhalation of three essential oils *Origanum majorana*, *Mentha piperita* and *Salvia sclarea* on eggs and larvae of *Tribolium confusum* under laboratory conditions.

Our results indicate that the tested essential oils exert significant inhalation toxicity on *T. confusum* eggs. Indeed, they cause 100% mortality after 72 hours of exposure to the 40 µl dose. On the other hand, on the larvae, the toxicity of the essential oils tested is low. Indeed, the highest mortality rate is 50% obtained at a dose of 100 µl, after 72 hours with the essential oil of shell marjoram. The results of the mixture of the LC50 of the three essential oils, as well as the mixture of 40 µl of each oil, showed a strong insecticidal activity vis-à-vis the eggs of *T. confusum* with a mortality rate of 90% and 73.33%, respectively, after 24h.

Therefore, essential oils of peppermint, marjoram and clary sage can be used alone or in combination to reduce losses due to this insect pest.

**Keywords:** *Tribolium confusum*, essential oils, *Mentha piperita*, *Origanum majorana*, *Salvia sclarea*, bioinsecticides.