

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou



Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Thème

Activité insecticide de l'huile essentielle de lentisque pistachier (*Pistacia lentiscus* L.) à l'égard de *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera : Tenebrionidae), un insecte ravageur des denrées stockées

Présenté par :

ABDESSELAM Dihya

SLIMANI Sara

Soutenu devant le jury :

|                       |                                      |            |       |
|-----------------------|--------------------------------------|------------|-------|
| <b>Présidente</b>     | M <sup>me</sup> KITOUS-BENOUFELLA K. | Professeur | UMMTO |
| <b>Promotrice</b>     | M <sup>me</sup> KHELFANE-GOUCHEM K.  | Professeur | UMMTO |
| <b>Co- promotrice</b> | M <sup>elle</sup> LAOUDI T.          | MCB        | UMMTO |
| <b>Examinatrice</b>   | M <sup>me</sup> LAMARA MAHAMED R.    | MCB        | UMMTO |

Promotion : 2024-2025

## Remerciements

Nous tenons tout d'abord, à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné Santé, force, courage et volonté de continuer nos études et de mener à bien ce modeste Travail.

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre promotrice madame **KHELFANE-GOUCEM K.**, Professeure à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ainsi que notre Co-promotrice Mademoiselle **LAOUDI T.**, Maitre de Conférence classe B à la même université pour leurs patience, leurs disponibilité, surtout leurs judicieux conseils, il s'agit pour nous d'un immense honneur de leur exprimer nous remerciements et notre gratitude pour leurs connaissances apportées.

Nous adressons notre profonde gratitude à Mme **KITOUS-BENOUFELLA K.**, Professeure à l'UMMTO pour l'honneur qu'elle nous fait de présider ce jury.

Nos remerciements s'adressent également à Mme **LAMARA MAHAMED R.**, Maitre de Conférence classe B à l'UMMTO, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mme **SAHOUI S.**, directrice de l'entreprise "Sosabio", pour nous avoir permis d'effectuer notre stage au sein de son laboratoire, nous sommes reconnaissantes pour sa confiance, sa rigueur professionnelle et son accueil bienveillant.

Nous remercions vivement l'ensemble de nos enseignants au sein du département des Sciences agronomiques, ainsi que toute l'équipe du laboratoire de recherche et de la bibliothèque Pour leurs disponibilités à notre égard.

Nos sincères remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



# *Dédicaces*

**Louange à dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu**

**Je dédie ce travail :**

**A mon cher père Belkacem, tu as toujours été pour moi l'incarnation d'un père respectueux et honnête, je tiens à honorer l'homme que tu es. Aucune dédicace ne peut témoigner de l'affection, de la considération et du respect que je t'ai toujours voué.**

**A ma chère mère Hakima, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, accepte à travers ce travail, aussi modeste soit-il, l'expression de ma gratitude éternelle. Je prie le créateur pour qu'il te donne une bonne santé ainsi qu'une longue et belle vie.**

**A mes frères Mohammed, Koceila et ma sœur Cylia, votre présence et votre soutien inconditionnel ont été des sources d'inspiration constantes. Merci d'avoir été là pour moi à chaque étape de ma vie.**

**A mes nièces Amélia et Elina, petites lumières de joie et d'innocence dans ma vie et à ma cousine Kamilia et à toute ma famille.**

**Dihya**

A red rose is positioned on the left side of a piece of aged, yellowed paper with a torn corner. The rose is vibrant red with green leaves and a stem. The paper has a textured, slightly mottled appearance. The title 'Dédicaces' is written in a black, serif font in the upper right quadrant of the paper.

# *Dédicaces*

Avant tout, je tiens à remercier Dieu le tout puissant qui m'a donnée la santé, la volonté, et la patience et m'a guidée à réaliser ce modeste travail.

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du Dieu, qui me doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père adoré  
Saïd ;

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargnée aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère  
Dehbia.

A mes chers frères Ali et Ahmed qui n'ont pas cessées de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protèges et leurs offre la chance et le bonheur.

A la mémoire de mon cher grand père, ma chère grande mère et mon oncle que dieu les accueillent dans son paradis

A notre promotrice professeur Mme Goucem K. et Copromotrice Laoudi T. que je remercie infiniment pour leurs précieux conseils et leur soutien constant.

**Sara**

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....   | 1  |
| <b>Première partie : Revue bibliographique</b>                           |    |
| <b>Chapitre I : Généralités sur le blé dur</b>                           |    |
| 1. Généralités sur les céréales.....                                     | 3  |
| 1.1. Définition du blé.....  | 3  |
| 1.2. Historique et origine du blé.....                                   | 3  |
| 1.3. Aire de répartition et utilisations des blés .....                  | 4  |
| 1.4. Caractéristiques botaniques des blés.....                           | 5  |
| 2. Présentation du blé dur.....  | 5  |
| 2.1. Systématique .....  | 5  |
| 2.2. Description .....   | 6  |
| 2.3. Cycle biologique .....  | 9  |
| 3. Intérêt économique du blé dur .....                                   | 11 |
| 3.1. Dans le monde.....  | 11 |
| 3.2. En Algérie.....   | 11 |
| 4. Valeurs nutritionnelles.....  | 12 |
| 5. Stockage .....  | 13 |
| 5.1. Méthodes de stockage.....   | 13 |
| 6. Conservation.....   | 16 |
| 7. Problèmes de stockage des blés.....                                   | 18 |
| 7.1. Facteurs abiotiques.....  | 18 |
| 7.2. Facteurs biotiques.....   | 18 |
| <b>Chapitre II : Généralités sur l'insecte <i>Tribolium confusum</i></b> |    |
| 1. Caractères généraux des Tenebrionidae .....                           | 21 |
| 2. Caractères généraux du genre <i>Tribolium</i> .....                   | 21 |
| 3. Présentation de <i>Tribolium</i> brun de la farine.....               | 22 |
| 3.1. Origine et répartition.....   | 22 |
| 3.2. Position systématique.....  | 22 |
| 3.3. Description des différents stades de développement.....             | 22 |
| 3.4. Cycle de développement.....   | 27 |
| 3.5. Régime alimentaire.....   | 27 |
| 3.6. Dégâts.....   | 29 |
| 4. Moyens de lutte.....  | 29 |

### **Chapitre III : Les huiles essentielles**

|   |    |
|---|----|
| 1. Définition d'une huile essentielle.....                            | 34 |
| 2. Toxicité des huiles essentielles.....                              | 34 |
| 3. Composition chimique.....  | 36 |
| 3.1.Terpenoides.....  | 36 |
| 3.2.Dérivés de phénylpropane.....                                     | 36 |
| 3.3.Composés d'origine diverses.....                                  | 37 |
| 4. Localisation des huiles essentielles dans la plante.....           | 37 |
| 5. Propriétés physiques et biologiques.....                           | 37 |
| 5.1.Propriétés physiques.....   | 37 |
| 5.2.Propriétés biologiques.....                                       | 38 |
| 6. Les différentes méthodes d'extraction des huiles essentielles..... | 41 |
| 6.1.Extraction par hydro-distillation.....                            | 42 |
| 6.2.Extraction à froid.....   | 42 |
| 6.3.Extraction par entrainement à la vapeur d'eau.....                | 42 |
| 6.4.Extraction sans solvant assistés par micro-ondes.....             | 43 |
| 7. Conservation des huiles essentielles.....                          | 44 |

### **Deuxième partie : Expérimentation**

#### **Chapitre IV : Matériel et Méthodes**

|  |    |
|--|----|
| 1. Matériels utilisés .....                            | 45 |
| 1.1. Matériels et produits de laboratoire.....         | 46 |
| 1.2.Matériel biologiques.....                          | 46 |
| 2. Méthodes .....                                      | 50 |
| 2.1.Élevage de masse .....                             | 50 |
| 2.2.Méthodes d'extraction des huiles essentielles..... | 51 |
| 2.3. Application des traitements biologiques.....      | 52 |
| 2.4. Étude histologique du <i>P. lentiscus</i> .....   | 55 |
| 3. Analyses statistiques.....                          | 56 |

## Chapitre V : Résultats et Discussion

|   |    |
|---|----|
| 1. Résultats.....   | 57 |
| 1.1.Rendement en huile essentielle.....   | 57 |
| 1.2. Localisation des structures sécrétrices de l'huile essentielle du <i>P. lentiscus</i> .... | 57 |
| 1.3. Évaluation de la toxicité de l'HE de <i>P. lentiscus</i> sur <i>T. confusum</i> .....      | 59 |
| 2. Discussion.....  | 63 |
| <b>Conclusion</b> .....   | 68 |
| <b>Références bibliographiques</b>  | 70 |
| <b>Annexes</b>  |    |
| <b>Résumé</b>   |    |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1.</b> Production mondiale de blé par pays (FaoStat, 2021).....   | 4  |
| <b>Figure 2.</b> Anatomie du blé (Soltner, 1998) .....  | 7  |
| <b>Figure 3.</b> Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus (Surget et Barron, 2005).....  | 8  |
| <b>Figure 4.</b> Cycle de développement du blé (Zadoks et <i>al.</i> , 1974).....   | 10 |
| <b>Figure 5.</b> Bulletin de production céréalière dans le monde (FAO, 2025).....   | 11 |
| <b>Figure 6.</b> Stockage en gerbes (ITGC Tiaret, 2021).....  | 13 |
| <b>Figure 7.</b> Stockage en vrac (Frisomat, 2017).....   | 15 |
| <b>Figure 8.</b> Stockage de blé en sac (Marielle, 2021).....   | 15 |
| <b>Figure 9.</b> Stockage en silos : (A).Silos en béton (ANESRIF, 2024) ; (B).Silos métallique (CCLS Constantine, 2021).....  | 16 |
| <b>Figure 10.</b> Machine de séchage (Anonyme, 2011).....   | 17 |
| <b>Figure 11.</b> Dispositif de ventilation (Anonyme, 2021).....  | 17 |
| <b>Figure 12.</b> Œuf de <i>Tribolium confusum</i> (G 4,5×10) (Originale, 2025).....  | 23 |
| <b>Figure 13.</b> Larve (larve de 5 <sup>ème</sup> stade) de <i>Tribolium confusum</i> (G 10×2,5) (Originale, 2025).....  | 23 |
| <b>Figure 14.</b> Nymphe de <i>Tribolium confusum</i> (G 10×2,5) (Originale, 2025).....   | 24 |
| <b>Figure 15.</b> L'adulte après son émergence de <i>Tribolium confusum</i> (G 10×2,5) (Originale, 2025).....   | 24 |
| <b>Figure 16.</b> L'adulte de <i>Tribolium confusum</i> (G10×2,5) (Originale, 2025).....  | 26 |
| <b>Figure 17.</b> Extrémité abdominale de deux nymphes de <i>T. confusum</i> indiquant les urogomphes (flèche noir), les cornes chez la femelle et la protubérance chez le mâle (flèche rouge) (G : 10×4,5)(Originale, 2025)..... | 26 |
| <b>Figure 18.</b> Cycle de développement de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).....   | 28 |
| <b>Figure 19.</b> Adulte dévoré par une larve (G : 10×2) (Originale, 2025).....   | 28 |
| <b>Figure 20.</b> Dégâts causées par <i>T. confusum</i> sur la semoule (Originale, 2025).....   | 29 |
| <b>Figure 21.</b> Dispositif d'extraction par hydro-distillation (Originale, 2025).....   | 42 |
| <b>Figure 22.</b> Schéma du dispositif d'extraction des HEs par entrainement à la vapeur d'eau (Lucchesi, 2010).....  | 43 |
| <b>Figure 23.</b> Dispositif de la méthode d'extraction sans solvant assistée par microondes (SFME) (Lucchesi, 2005).....   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 24.</b> Matériel utilisé au laboratoire (Originale, 2025).....  | 45 |
| <b>Figure 25.</b> Produits utilisés au laboratoire pour la double coloration (Originale, 2025).....   | 46 |
| <b>Figure 26.</b> Localisation du site d'échantillonnage Souk El Tenine au niveau de la wilaya de Tizi Ouzo (Google, 2025).....   | 47 |
| <b>Figure 27.</b> Aire de répartition géographique du genre <i>Pistacia</i> (Belfadel, 2009).....   | 48 |
| <b>Figure 28.</b> Description botanique du <i>Pistacia lentiscus</i> (Originale, 2025).....   | 49 |
| <b>Figure 29.</b> Matériels d'extraction de l'huile essentielle par hydro-distillation (Originale, 2025).....   | 50 |
| <b>Figure 30.</b> Élevage de masse de <i>Tribolium confusum</i> (Originale, 2025).....  | 51 |
| <b>Figure 31.</b> Test par inhalation par l'HE de <i>Pistacia lentiscus</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).....  | 52 |
| <b>Figure 32.</b> Test par répulsion par l'HE de <i>Pistacia lentiscus</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).....   | 54 |
| <b>Figure 33.</b> Protocole expérimental de la double coloration (Originale, 2025).....   | 55 |
| <b>Figure 34.</b> L'huile essentielle extraite des parties aériennes de <i>P. lentiscus</i> par hydro-distillation (Originale, 2025).....   | 57 |
| <b>Figure 35.</b> Coupe transversale d'une feuille de <i>P. lentiscus</i> observé au microscope optique (Originale, 2025).CG : canal glandulaire, CS : cellules sécrétrices.....  | 58 |
| <b>Figure 36.</b> Coupe transversale d'une tige de <i>P. lentiscus</i> observé au microscope optique (Originale, 2025) CG : canal glandulaire, CS : cellules sécrétrices.....   | 58 |
| <b>Figure 37.</b> Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne $\pm$ SEM) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par l'HE de <i>P. lentiscus</i> en fonction des doses et de la durée d'exposition.                                   | 59 |
| <b>Figure 38.</b> Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de <i>T. confusum</i> en fonction du logarithme des doses soumis à l'action de l'HE de <i>P. lentiscus</i> .....               | 60 |
| <b>Figure 39.</b> Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de <i>T. confusum</i> en fonction du logarithme des durées d'exposition soumis à l'action de l'HE de <i>P. lentiscus</i> ..... | 61 |
| <b>Figure 40.</b> Taux de répulsion de l'HE <i>P. lentiscus</i> à différentes doses sur les adultes de <i>T. confusum</i> .....   | 62 |
| <b>Figure 41.</b> Paramètres anatomiques au niveau d'une coupe transversale d'une feuille de <i>P. lentiscus</i> observée au microscope optique G $\times$ 100.....   | /  |

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1.</b> Composition des différentes parties du grain (Roudaut et Lafrancq, 2005 <i>in</i> Aoues, 2018).....   | 8  |
| <b>Tableau 2.</b> Valeurs nutritionnelles du blé dur (pour 100g) (USDA, 2019).....  | 12 |
| <b>Tableau 3.</b> Quelques insectes ravageurs des céréales stockées (Aziez et <i>al.</i> , 2003).....   | 20 |
| <b>Tableau 4.</b> Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et <i>al.</i> (1970).....   | 54 |
| <b>Tableau 5.</b> Rendement en HE du <i>P. lentiscus</i> extrait par hydro-distillation.....  | 58 |
| <b>Tableau 6.</b> résultats de l'analyse statistiques de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'HE de <i>P. lentiscus</i> par inhalation sur la mortalité des adultes de <i>T. confusum</i> ..... | 61 |
| <b>Tableau 7.</b> Résultats de la CL50 de l'HE de <i>P. lentiscus</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation après une durée d'exposition de 48h.....           | 62 |
| <b>Tableau 8.</b> résultats du TL50 à la dose 32µl de l'HE de <i>P. lentiscus</i> à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> .....   | 63 |
| <b>Tableau 9.</b> nombre moyen des adultes de <i>T. confusum</i> recensé dans les parties traitées et non traitées et le pourcentage de répulsion de l'HE de <i>P. lentiscus</i> .....      | 64 |

---

# *Introduction*

---

Les céréales sont considérées comme des aliments de base les plus importants dans le monde entier. En Algérie, les céréales et leurs dérivées constituent l'épine dorsale du système alimentaire Algérien. Durant la campagne agricole 2023/2024, la production céréalière a atteint 1,8 million de tonnes (MADR, 2024) avec des rendements moyens de céréales évalués ces dernières années aux environs de 15,4 quintaux /ha (Bessaoud, 2018). En effet, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique, et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale (Feillet, 2000).

Ces céréales sont considérées comme un produit de saison, mais elles sont utilisées tout au long de l'année comme aliment pour les humains et leurs animaux. C'est pour cette raison que la population a recours à leurs stockages en utilisant diverses techniques traditionnelles et modernes. Toutefois, la conservation de ces céréales est menacée par l'apparition de divers organismes nuisibles dans les dépôts, comme les rongeurs, les insectes, les mites, les moisissures qui entraînent la dégradation et la modification des grains entreposés. Il est indéniable que les pratiques de conservation des céréales et les conditions de stockage non conformes aux normes strictes et scientifiques contribuent à l'aggravation de la situation.

En Afrique, les insectes restent les principaux ravageurs des denrées entreposées. Ils peuvent causer des dégâts considérables au niveau des stocks, occasionnant d'importantes pertes aux producteurs pouvant atteindre 30 % après six mois de stockage (Georg et *al.*, 2005).

A l'échelle mondiale, les pertes de produits agricoles occasionnées par les ravageurs des denrées stockées sont estimées à 10% en moyenne et représentent une valeur monétaire annuelle de près de 58 milliards US\$ selon les récentes statistiques de la FAO (2016).

Parmi les principaux insectes ravageurs des denrées stockées et des céréales dans le monde entier figure le tribolium brun de la farine *Tribolium confusum* Duval, 1868 qui est un insecte cosmopolite dont les dégâts sont signalés dans le monde entier. C'est un ravageur secondaire des céréales et des produits céréaliers; il se nourrit généralement de farines et de céréales transformées, et préfèrent les graines précédemment infestés ou endommagés mécaniquement (Boyer et *al.*, 2012). Ses dégâts conduisent à des dommages économiques et à un grave problème dans le stockage des grains.

L'utilisation d'insecticides chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les insectes nuisibles de par leur efficacité et leur application facile et pratique. Cependant, l'emploi intensif et inconsidéré de ces insecticides provoque une contamination de la chaîne alimentaire. De plus, l'usage très répandu de ces pesticides induit l'apparition de formes de résistances chez les insectes traités (Leonard, 2004). Plusieurs auteurs ont associé les pesticides à des problèmes de santé et d'environnement. D'après eux, les pesticides chimiques sont, de par leur nature, des produits dangereux et toxiques même à très faibles doses (Aissata, 2009).

Par conséquent, un grand nombre d'études récentes ont concentré leurs efforts sur la quête de matériaux à capacité insecticide qui soient respectueux de la santé humaine et de l'environnement. À l'heure actuelle, les huiles essentielles constituent une alternative dans la lutte pour la sauvegarde des produits alimentaires conservés. L'emploi de ces huiles a été le sujet de nombreuses études au cours des vingt dernières années, générant un intérêt scientifique marqué, comme en témoigne le nombre d'études abordant l'efficacité des huiles essentielles pour la protection des grains et des denrées entreposées (Bouzouita *et al.*, 1990 ; Kellouche et Soltani, 2004 ; Enan, 2005 ; Hance et Ngamo, 2007; Ketoh *et al.*, 2008 ; Aissata, 2009 ; Boyer *et al.*, 2012 ; Cissokho *et al.*, 2015; Kirouani, 2024).

Ceci nous a incité à entreprendre ce travail de recherche qui consiste à évaluer l'activité insecticide par fumigation et par répulsion de l'huile essentielle du pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) à l'égard des adultes du tribolium brun de la farine *Tribolium confusum*.

Ce travail se divise en quatre chapitres, le premier présente une revue bibliographique (connaissances liées aux techniques de conservation des céréales, aux différents nuisibles des céréales et aux techniques de lutte). Le chapitre deux se focalise sur la présentation de l'insecte nuisible qu'est le *Tribolium confusum*, tandis que le chapitre trois aborde les huiles essentielles (leur définition, composition et champ d'application). Le quatrième chapitre est dédié à l'expérimentation et aux techniques mises en œuvre, et dans le dernier chapitre, nous avons présenté les résultats et la discussion.

Enfin, notre travail est clôturé par une conclusion ainsi que des perspectives de recherche.

---

# *Première partie*

*Revue bibliographique*

---

---

# ***Chapitre I***

*Généralités sur le blé dur*

---

## 1. Généralités sur les céréales

Par définition, les céréales sont des plantes cultivées principalement pour leurs grains destinés à l'alimentation humaine et animale. Par leur forte teneur en amidon, elles constituent le socle de l'alimentation humaine en apportant de l'énergie, sous forme de glucides, assurant ainsi la sécurité alimentaire mondiale.

Selon Moule (1971), la plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (Poacées) comme le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho. Les unes appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées : blé, orge, avoine, seigle, tandis que d'autres à la sous-famille des Panicoïdées : maïs, riz, sorgho, millet.

Le blé reste la céréale la plus cultivée et consommée à travers le monde, elle est aussi la plus échangée sur les marchés internationaux.

### 1.1. Définition du blé

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Graminées. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*). En termes de production commerciale et d'alimentation humaine, le blé dur est la plus importante espèce du genre *Triticum* après le blé tendre (Feillet, 2000).

### 1.2. Historique et origine du blé

Selon la FAO (2016), le blé est cultivé largement dans le monde sous des conditions climatiques diverses et a été la denrée alimentaire de base pour la plupart des civilisations en Europe, Asie, et Afrique du Nord pendant 8000 ans.

Les céréales furent parmi les premières espèces cultivées par l'Homme, le blé étant l'une des premières à avoir été domestiquée. Ce premier processus de domestication, survenu en Asie, fut à l'origine de l'évolution des sociétés humaines. En effet, c'est au moment de la révolution néolithique, il y a une dizaine de milliers d'années, que le mode de vie de l'Homme est passé de la chasse et la cueillette, pour se nourrir, à la culture de différentes espèces, dont les blés (Baillot, 2019). En effet, les montagnes du Karaca Dag, dans le sud-est de la Turquie, sont le berceau de la domestication des blés. L'histoire commence par une hybridation naturelle qui a donné un blé tétraploïde (2 jeux de  $2 \times 7 = 28$  chromosomes) au grain vêtu, *Triticum dicoccoides*. Le blé dur, proche de celui que nous connaissons

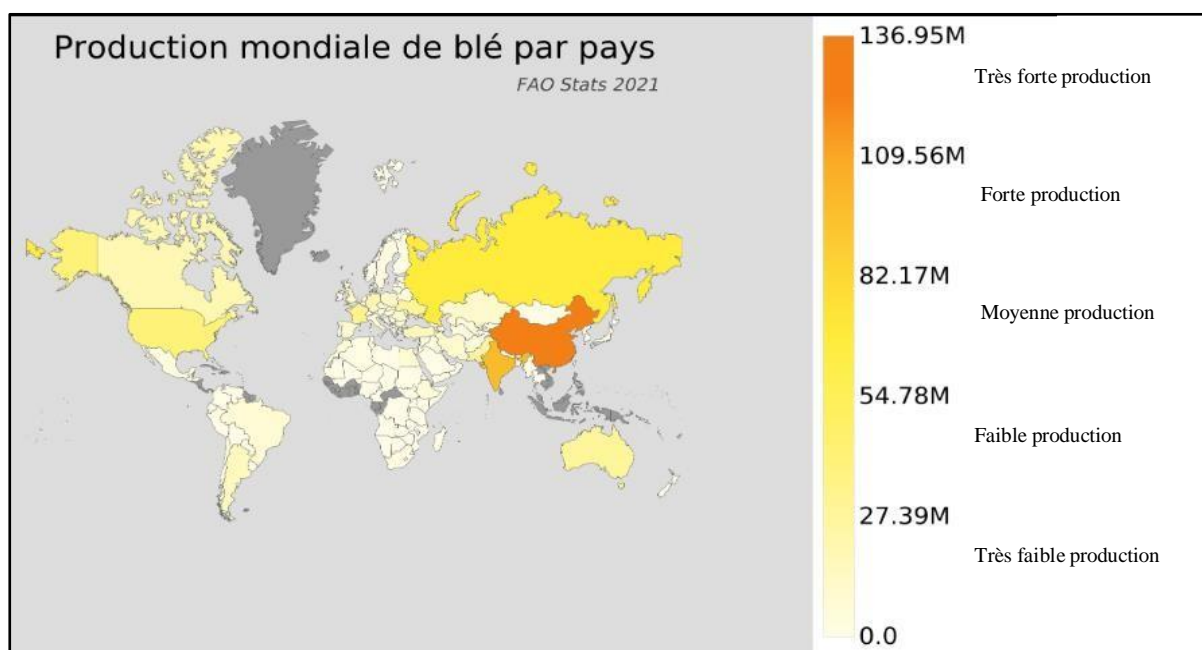
aujourd'hui, est apparu il y a environ 7000 ans avant J.-C., suite à une mutation donnant un blé à grain nu (Killmayer et *al.*, 2017).

### 1.3. Aire de répartition et utilisation des blés

La culture du blé est universellement répandue en vue de l'utilisation du grain pour l'alimentation humaine et parfois animale. Cela fait d'elle la céréale la plus cultivée derrière le riz et le maïs, ces trois céréales représentent 89% de la production mondiale (Baillot, 2019). La grande majorité des pays producteurs sont la Chine, l'Inde, la Russie, les Etats-Unis et la France (Fig. 1) (FAO, 2024).

Concernant la production mondiale de blé en 2024, la FAO livre une estimation préliminaire de 797 MT.

Bien que le blé soit majoritairement utilisé dans l'alimentation humaine (la farine de blé) et animale (blés fourragers), il est également utilisé à des fins industrielles dans l'amidonnerie et la glutennerie, l'industrie cosmétique, la papeterie, et plus récemment pour la fabrication de matériaux plastiques biodégradables ainsi que pour la production de bioéthanol (Poitrat, 1999 *in* Baillot, 2019).



**Figure 1.** Production mondiale de blé par pays (FaoStat, 2021)

### 1.1. Caractéristiques botaniques des blés

Le blé est une plante herbacée à feuilles assez larges, dont la forme peut être caractérisée par les détails suivants : à l'endroit où le limbe se détache de la tige, au sommet

de la partie engainante de la feuille, se trouvent deux stipules finement poilus et une ligule transparente, courte et assez importante, appliquée sur la tige (Grandcourt et Sprats, 1966).

D'après Lommez et Leondurand (1965), le blé dur et le blé tendre présentent de nombreux caractères communs quant à la racine, à la tige, aux feuilles, aux fleurs et aux épis, mais ils se différencient par les caractères suivants :

- Dans la partie supérieure, la tige est pleine (moelle) dans les blés durs alors qu'elle est creuse et vide dans les blés tendres ;
- Les grains, quant à leur aspect, leur couleur, leurs poids et contenu, sont très différents ;
- Le nombre de chromosomes est différent ;
- Le gluten dénote une structure chimique différente ;
- Le cycle de développement est différent ;
- Les exigences climatiques, pédologiques et la zone de culture sont différentes ;
- Le niveau de productivité du blé dur est moins élevé que celle du blé tendre.

## 2. Présentation du blé dur

### 2.1. Systématique du blé dur

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est érigé au rang d'espèce pour la 1<sup>ère</sup> fois par le botaniste Français Desfontaines en 1798 (Erroux, 1991). Selon Cronquist (1981), le blé appartient au :

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| Règne :      | Plantae               |
| Sous-règne : | Viridiplantae         |
| Division :   | Magnoliophyta         |
| Classe :     | Liliopsida            |
| Ordre :      | Cyperales             |
| Famille :    | Poaceae               |
| Genre :      | <i>Triticum</i>       |
| Espèce :     | <i>Triticum durum</i> |

### 2.2. Description du blé dur

Du point de vue morphologique, l'espèce Blé dur est caractérisée par:

- Des feuilles longues et étroites dépourvues de pilosité, à teinte vert clair ;
- Des chaumes longs, à diamètre faible ;

→ Et des épis barbus, compacts, à glumes longs fortement carénées, des grains allongés, à embryon saillant et à brosse peu développée (Grignac, 1978).

### **2.2.1. Racines**

Deux systèmes racinaires différents sont présents; l'un comprend des racines séminales, se développant directement à partir de la graine lors de la levée, l'autre est constitué de racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante (se développent dès l'apparition des premières talles) et constituent le système racinaire permanent, il est dit de type fasciculé peu développé (Fig. 2) (Grandcourt et Sprats, 1966).

### **2.2.2. Système aérien**

Le système aérien est formé d'un certain nombre d'unités biologiques ou talles partant d'une zone située à la base de la plante : le plateau de tallage. Chaque talle, après le développement complet de la plante, est formée d'une tige feuillée ou chaume portant à son extrémité une inflorescence (Moule, 1971).

#### **2.2.2.1. Tige (Chaume)**

La tige de la plante adulte consiste en un nombre variable d'entrenœuds alternant avec des nœuds, à la base desquels les feuilles sont insérées (Fig.2) (Westphal et *al.*, 1985).

#### **2.2.2.2. Feuille**

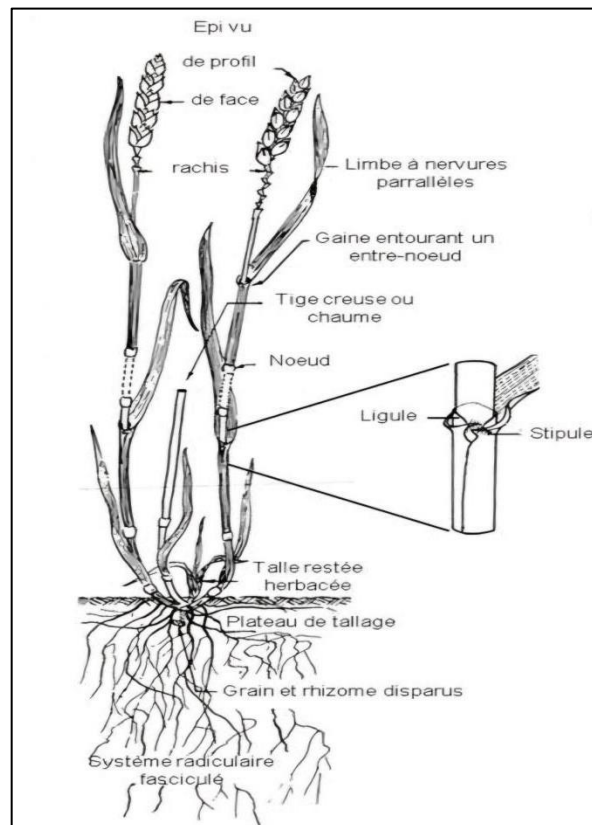
La feuille est longue et étroite, constituée de deux éléments : la gaine et le limbe. Le limbe est le premier élément photosynthétique de la plante. Ces deux composants se rejoignent au niveau de la ligule, qui est une membrane poilue se situant sur la surface interne de la feuille. Enfin, des oreillettes également poilues sont une caractéristique du blé et sont présentes à la base du limbe, de chaque côté de la ligule (Setter et Carlton, 2000 *in* Baillot, 2019).

#### **2.2.2.3. Epi**

L'épi de blé comporte une tige pleine coudée et étranglée à intervalles réguliers et portant alternativement deux rangées d'épillets (Aoues, 2018).

#### **2.2.2.4. Epillet**

L'épillet représente l'unité florale (inflorescence). Selon Aoues (2018), il regroupe trois fleurs à l'intérieur de deux glumes. Chaque fleur est dépourvue de pétales, et entourée de deux glumelles (pièces écailleuses non colorées). Elle contient trois étamines (pièces mâles), un ovaire surmonté de deux styles plumeux (les pièces femelles). La fleur du blé est dite cléistogame, c'est-à-dire que, le plus souvent, le pollen est relâché avant que les étamines ne sortent de la fleur. Il s'attache alors au stigma, où peut se produire la fécondation.



**Figure 2.** Anatomie du blé (Soltner, 1998)

#### 2.2.2.5. Graine

La graine de blé est un caryopse dont la teinte varie du jaune clair à l'ocre roux, constitué de deux surfaces, l'une plane et l'autre convexe. Un sillon médian et profond traverse la surface plane, abritant le faisceau nourrissant du grain. La partie inférieure de la face bombée présente une zone saillante qui abrite le germe (Fig. 3). La composition des différentes parties du grain est illustrée dans le tableau 1.

Le grain de blé se compose de trois parties :

##### ➤ L'écorce

L'écorce représente l'enveloppe qui préserve la graine. Elle constitue entre 13 et 15% de la masse du grain.

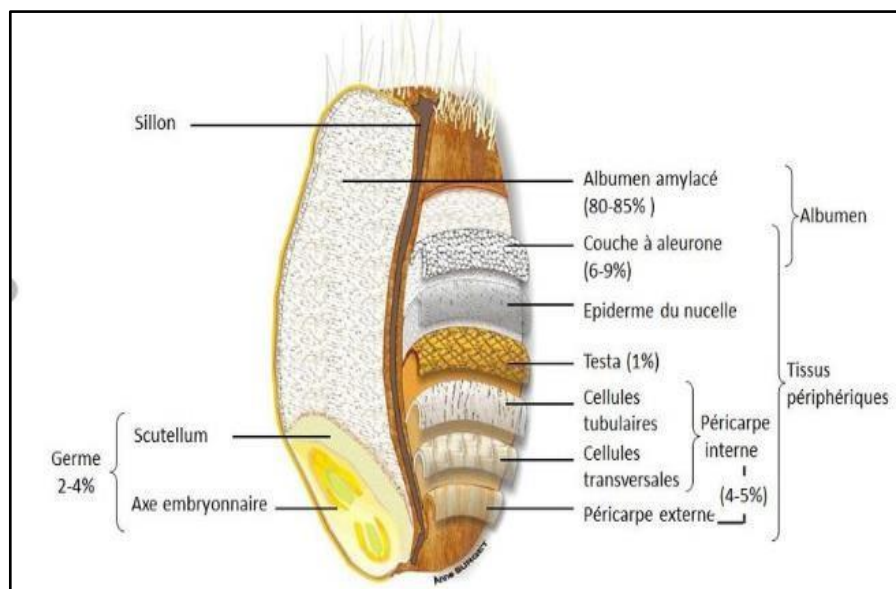
Lors de la transformation des grains, l'enveloppe du grain donne le son, substance riche en fibres, en minéraux, en vitamines et en protéines (Cruz et *al.*, 2019).

##### ➤ L'amande ou albumen amylicé

L'amande représente 75 à 90% du grain, contient une grande quantité d'amidon et de gluten (Moule, 1971).

### ➤ Le germe

Le germe des céréales est formé de la plantule et d'un seul cotylédon (plante monocotylédone). Le cotylédon appelé scutellum est un organe, riche en protéines, en lipides, en minéraux et en vitamines (Cruz *et al.*, 2019). Il représente environ 3% du grain. Il est éliminé à la mouture pour éviter le rancissement et augmenter la durée de conservation (Fig. 3) (Tableau 1).



**Figure 3.** Anatomie schématique du grain de blé et proportion relative des principaux tissus (Surget et Barron, 2005)

La composition des différentes parties du grain sont représentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 :** Composition des différentes parties du grain (Roudaut et Lafrancq, 2005 *in* Aoues, 2018).

| Partie du grain   | % du grain | Composition en pourcentage  |
|-------------------|------------|---|
| Enveloppes        | 9%         | Cellulose $\geq$ 20%.   |
| Assise protéique  | 8%         | Protide : 20%, lipides : 9%, minéraux : 16%, vitamines                      |
| Amande ou albumen | 80%        | Amidon : 72%, protides $\geq$ 10%   |
| Germe ou embryon  | 3%         | Protide : 26%, lipides $\geq$ 10%, glucide : 10% Minéraux : 4.5%, vitamines |

### **2.3. Cycle biologique**

Le processus de développement du blé dur se divise en trois phases principales : la phase végétative, la phase reproductrice et la phase de formation du grain (Fig. 4).

#### **2.3.1. Phase végétative**

La phase végétative comprend elle-même trois phases : la phase semis-levée, la phase levée-début tallage et la phase début tallage-début montaison (Moule, 1971).

##### **2.3.1.1. Semis-levée**

Selon Moule (1971), la germination se traduit par la sortie des racines séminales de la coléorhize et, à l'opposé, par la croissance d'une pré-feuille, la coléoptile. Celle-ci sert de manchon protecteur et de perforateur du sol pour la première feuille qui sera fonctionnelle et percera le sommet de la coléoptile peu après l'apparition de cette dernière au niveau du sol.

##### **2.3.1.2. Levée-début tallage**

Lorsque la plante possède quatre feuilles, une nouvelle tige (la talle primaire) apparaît à l'aisselle de la feuille la plus âgée. C'est le stade dans lequel le bourgeon végétatif évolue en bourgeon floral (Lakhder, 2010).

##### **2.3.1.3. Début tallage-début montaison**

Ce stade marque la fin du tallage, les plantes se redressent. Le sommet de l'épi des tiges principales (ou maître-brins) est en moyenne distant de 1 cm du plateau de tallage. La tige principale commence à s'allonger, c'est le redressement, suivi par l'élongation des entre-nœuds (ITGC, 2015).

#### **2.3.2. Phase reproductrice**

La phase reproductrice englobe le développement et la maturation de l'épi (Fig. 4) ; elle se distingue par plusieurs phases :

##### **2.3.2.1. Phase montaison-gonflement**

Elle se manifeste à partir du stade épi à 1 cm, c'est la fin du tallage herbacé et la tige principale (Belaid, 1996). Il est suivi du stade 1 à 2 nœuds, ici les nœuds sont aisément repérables sur la tige (Merizek, 1992 *in* Ait-Slimane-Ait-Kaki, 2008).

##### **2.3.2.2. Phase épiaison-fécondation**

C'est durant cette période que la formation des organes floraux s'achève et que la fécondation va se produire. La floraison commence quelques jours après l'apparition de l'inflorescence. Si les stigmates sont réceptifs au moment où les anthères commencent à déverser leur pollen, la fleur s'autoféconde. Sinon il y a allo-fécondation partielle ou complète (Westphal et *al.*, 1985).

### 2.3.3. Phase formation du grain

Cette période comprend trois stades :

#### 2.3.3.1. Stade grain laiteux

Il correspond à la croissance de l'ovaire. A la fin de cette phase, 40 à 50% de réserves s'accumulent dans le grain qui, ayant bien sa taille définitive, reste mou et de couleur verte (Ait-Slimane-Ait-Kaki, 2008).

#### 2.3.3.2. Stade grain pâteux

Ce stade marque la fin de migration des réserves; la teneur en eau est de l'ordre de 40 % du poids frais (Moule, 1971).

#### 2.3.3.3. Grain mûr

Le grain mûr est obtenu après la dessiccation du grain entre stade laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable (Bourras, 2001 *in* Lakhder, 2010).

Les blés durs présentent d'une façon constante une phase végétative courte et une phase reproductive longue (Lommez et Leondurand, 1965).

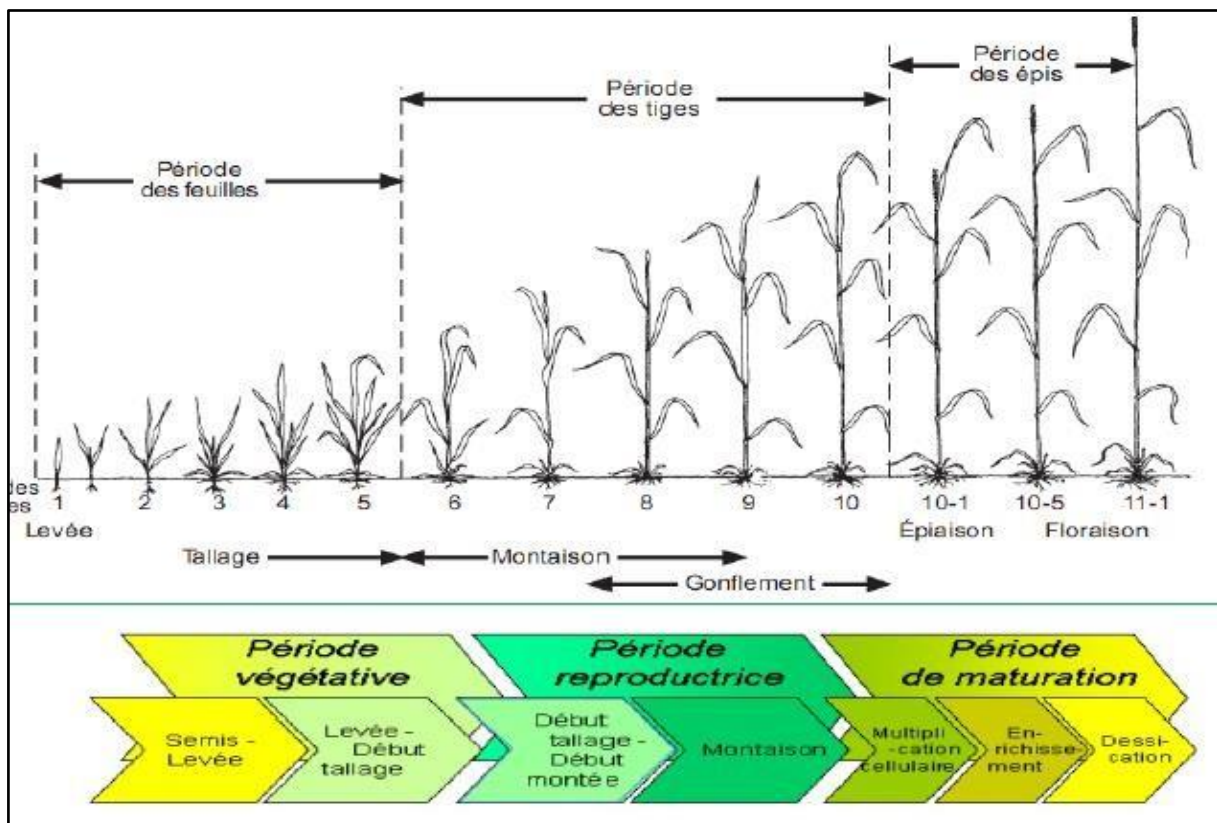


Figure 4. Cycle de développement du blé (Zadoks et *al.*, 1974)

### 3. Intérêt économique du blé dur

#### 3.1. Dans le monde

Selon les données révisées de la FAO en 2025, la production mondiale de céréales pour la campagne 2024-2025 est estimée à 2 842 millions de tonnes, marquant une légère hausse par rapport à l'année précédente. Cette augmentation est principalement attribuée à une meilleure production de riz, notamment en Inde, au Cambodge et au Myanmar, ainsi qu'à une révision à la hausse des prévisions pour le blé, en particulier en Iran (Fig. 5).

Les prévisions concernant l'utilisation mondiale de céréales en 2024-2025, établies à 2 867 millions de tonnes, ont été réduites de 1,9 million de tonnes, indiquant encore une augmentation de 1% par rapport à 2023-2024. Les prévisions au sujet de l'utilisation mondiale de blé en 2024-2025 restent quasiment inchangées, car une diminution de la consommation alimentaire compense un accroissement des autres utilisations, principalement en Chine (Continentale) (FAO, 2025).



**Figure 5.** Bulletin de production céréalière dans le monde (FAO, 2025)

#### 3.2. En Algérie

En Algérie, le plus grand pays d'Afrique, la majorité des 8,5 millions d'hectares de terres agricoles est utilisée pour cultiver des céréales. Pour la saison 2023/2024, plus de 2,6 millions d'hectares sont consacrés à la culture des céréales (APS, 2024). Le blé dur, traditionnellement la principale céréale consommée par les Algériens, est la première culture dans le pays. Elle occupe, en moyenne, 1,5 million d'hectares (DSASI, 2020), principalement dans les hautes plaines. La culture est essentiellement conduite en pluvial ; ce mode de conduite, dans la région méditerranéenne déjà connue pour ses faibles précipitations et leur

irrégularité, rend la production très sensible aux variations climatiques. Cet effet s'est accentué avec les changements climatiques.

Les cultures céréalières sont concentrées dans trois régions principales qui diffèrent en fonction des niveaux des précipitations pluviométriques qu'elles reçoivent : une région à haut potentiel de production dans le nord de l'Atlas Tellien (Mitidja, Kabylie, vallée du Seybouse, vallée de la Soummam) qui couvre 0,4 million d'ha de la SAU, avec une pluviométrie qui dépasse les 500 mm/an. Une région à moyenne potentialité vers l'ouest du pays, caractérisée par un climat semi-aride et une pluviosité entre 400 et 500 mm/an (massif de Médéa, coteaux de Tlemcen, vallée de Chélif). Une région à basses potentialités située dans les Hauts plateaux allant de l'Est vers l'Ouest (massif des Aurès, plaines d'Annaba, Constantine) avec une moyenne de précipitations de moins de 350 mm/an (Chehat, 2005 ; Chabane et Jean-Mark, 2012).

#### 4. Valeurs nutritionnelles

Le blé dur est une bonne source de glucides complexes, de protéines, de fibres et de plusieurs vitamines et minéraux essentiels. C'est également une bonne source de sélénium, un oligo-élément qui joue un rôle dans la protection contre les dommages cellulaires (Tableau 2).

**Tableau 2** : Valeurs nutritionnelles du blé dur (pour 100g) (USDA, 2019).

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Calories            | 339kcal |
| Acides gras saturés | 0,5g    |
| Sodium              | 2mg     |
| Potassium           | 431mg   |
| Glucides            | 71g     |
| Protéines           | 14g     |
| Fer                 | 3,5mg   |
| Vitamine B6         | 0,4mg   |
| Magnésium           | 144mg   |
| Calcium             | 34mg    |

## 5. Stockage

Le stockage est la seconde opération après le nettoyage de blé de ses impuretés, il consiste à placer pour une période donnée, des céréales dans un magasin suivant des normes et des règles qui permettent la bonne conservation des grains (Laurent, 2003). Le bon stockage et la bonne conservation ont pour but de préserver au maximum les qualités originelles des grains et graines.

### 5.1. Méthodes de stockages

Il existe plusieurs techniques de stockages qui sont :

#### 5.1.1. Techniques traditionnelles

##### ❖ Stockage en épis

Le stockage de blé en épis a été mentionné avant 1440 ans, dans le saint Coran à la sourate Yusuf, ou ALLAH (Dieu) a inspiré au prophète Yusuf (paix sur lui) de conseiller aux anciens égyptiens de stocker le blé en épis pour faire face à la sécheresse, c'est une preuve de l'importance de stockage en épis (Mouellef, 2019).

##### ❖ Stockage en gerbes

C'est la méthode traditionnelle appliquée depuis le haut Moyen Age au moins dans presque toute l'Europe non méditerranéenne. On peut entasser les gerbes en plein air (gerbiers, meules), mais cette variante semble plutôt récente, 18<sup>ème</sup> siècle, l'usage le plus courant étant le stockage en grange, laquelle abrite aussi l'aire à battre au fléau (Fig.6) (Multon, 1982).



**Figure 6.** Stockage en gerbes (ITGC Tiaret, 2021)

### ❖ Silos souterrains (El Matmoura)

Le paysan algérien, sur les hauts plateaux, conservait tant bien que mal, le produit de ses champs d'orge et de blé, dans des enceintes creusées de simples trous cylindriques ou rectangulaires construites dans des zones sèches, en sol stable, généralement argileux où le niveau de la nappe phréatique est suffisamment bas, c'est ce que l'on appelle (El matmoura) à un endroit surveillé ou proche de la ferme ; la capacité de ces lieux de stockage est variable elle est de l'ordre de quelques mètres cubes (Doumandji et *al.*, 1989).

Cette technique est utilisée dans plusieurs pays de l'Afrique, au proche orient et en Asie (Bartali, 1990).

### 5.1.2. Techniques modernes

#### ❖ Stockage en vrac (courte durée)

Dans ce cas les grains en tas sont laissés à l'air libre dans des hangars ouverts à charpente métallique. Malheureusement les contaminations sont possibles d'autant plus que dans ce type de construction, il demeure toujours des espaces entre les murs et le toit, ainsi que la possibilité du libre passage des souris, des rats, des moineaux, des pigeons et des insectes. Par ailleurs, l'influence des intempéries est encore assez forte et le développement des moisissures et des bactéries est toujours à craindre (Doumandji et *al.*, 2003).

Cette méthode est généralisée dans les pays développés alors qu'elle est encore peu répandue dans les pays en voie de développement. Elle nécessite des infrastructures modernes permettent un contrôle rigoureux de la température, de l'humidité et de la qualité sanitaire des céréales. Ce type de stockage facilite également les opérations de manutention, de pesée, de séchage et de transport, tout en limitant les pertes post-récolte.

En Algérie, seul l'Office National Interprofessionnel des céréales (OAIC) et quelques entreprises privées disposent de structures qui répondent aux normes. Le contrôle et la surveillance des produits ensachés sont difficiles alors qu'ils sont plus aisés en vrac (Fig.7) (Benlameur, 2016).



**Figure 7. Stockage en vrac (Frisomat, 2017)**

#### ❖ Stockage en sac

Cette méthode est utilisée dans les pays en voie de développement, les grains de blé sont stockés dans des sacs fabriqués en toile de jute, doublés par un sac en plastique pour une très bonne conservation. Il faut que les grains soient secs, que le sac plastique ne soit pas percé, qu'il n'y a pas de fumigant et que le sac soit bien attaché (Fig. 8) (Ntsam, 1989 ; Ndiaye, 1999).



**Figure 8. Stockage de blé en sac (Marielle, 2021)**

### ❖ Stockage en silos (longue durée)

L'emploi des silos réduit la main d'œuvre, augmente l'air de stockage et supprime l'utilisation des sacs chers (Doumandji et *al.*, 2003).

Ces silos sont des enceintes cylindriques en béton armé ou en métal. Elles sont fermées à leur partie supérieure par un plancher sur lequel sont installés les appareils de remplissage des cellules. Quant à la méthode de stockage effectuée en silos (atmosphère renouvelée), l'aération est réalisée par un système de ventilation installé à la base même des silos en faisant circuler l'air extérieur ambiant (Fig. 9) (Boudreau et Ménard, 1992 ; Bartali, 1995).



**Figure 9.** Stockage en silos : (A).Silos en béton (ANESRIF, 2024) ; (B).Silos métallique (CCLS Constantine, 2021)

## 6. Conservation

La conservation est l'action de garder (stocker) un produit de manière à le maintenir autant que possible dans le même état. La conservation des céréales revient donc à stocker ou garder les céréales de façon à ce que leur quantité et qualité demeurent autant que possible intacte (Anonyme, 2004).

Il est important de dissocier les mots stockage et conservation même si ces deux concepts sont liés et ont des significations proches. En effet, le stockage doit se faire suivant des normes particulières pour favoriser une bonne conservation.

### 6.1. Méthodes de conservation

#### 6.1.1. Séchage

La méthode de séchage dépend des conditions locales (climat, saison, volume de produit, matériaux disponibles). Il est conseillé d'utiliser au maximum le soleil et le vent et de

prendre les mesures appropriées pour éviter que les produits séchés ne soient pas mouillés par la rosée ou la pluie (Fig.10) (De Groot, 2004).



**Figure 10.** Machine de séchage (Anonyme, 2011)

### 6.1.2. Ventilation

La ventilation consiste à faire circuler l'air non chauffé dans une masse de grain, pour refroidir ou uniformiser la température et le taux d'humidité dans l'enceinte des lieux de stockage. Ce procédé sert à abaisser et à équilibrer la température du grain et à empêcher la migration de l'humidité. Afin d'éviter l'échauffement des grains, la ventilation permet d'évacuer au fur et à mesure la chaleur produite (Fig.11) (St-Pierre et *al.*, 2024).



**Figure 11.** Dispositif de ventilation (Anonyme, 2021)

## 7. Problèmes de stockage de blé

### 7.1. Facteurs abiotiques

- **Température**

La température joue un rôle important dans la conservation des produits agricoles car elle conditionne la vitesse de dégradation des grains. Elle accélère la vitesse des réactions chimiques et enzymatiques et respiration des grains (Bhalla, 1986). Il est à noter que la température seule peut agir sur le taux de la croissance des ravageurs des denrées stockées, pour chaque espèce, il existe un optimum de développement et des degrés différents de tolérance thermique. En effet, les températures optimales, maximales et minimales varient avec les groupes spécifiques de ravageurs (De Luca, 1975 *in* Kouassi, 1991).

- **Humidité relative**

L'humidité est le facteur de dégradation le plus important. Il favorise la respiration du grain et accroît les phénomènes de dégradation interne, elle entraîne la pourriture des grains à travers les moisissures et les champignons qui s'y déposent. Après une longue durée, les céréales se fermentent et dégagent une odeur forte (Gwinner et *al.*, 1996).

- **Le temps**

C'est le facteur prépondérant puisqu'il conditionne la durée de dégradation du grain. Plus un grain humide reste sans traitement, plus il se dégrade, il convient donc d'agir le plus rapidement possible après la récolte pour mettre ce grain dans de bonnes conditions de stockage.

### 7.2. Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques englobent l'ensemble des organismes vivants susceptibles d'affecter la qualité, la conservation et la sécurité des grains entreposés. Ce sont :

- **Les rongeurs** : ils causent des dégâts importants aux cultures et aux produits stockés endommageant les produits stockés de quatre manières (Berhaut et *al.*, 2003). Ils mangent une partie du produit, ils souillent de leurs excréments une autre partie, ils percent le matériel d'emballage, ce qui cause des pertes et les sacs en jute peuvent être sérieusement abîmés. Les produits stockés en vrac sont moins vulnérables car les rats ne peuvent en grignoter que la surface. Ces animaux sont porteurs de maladies dangereuses pour l'homme qui peuvent être induites suite à la consommation ou

manipulation des graines contaminées par les excréments, l'urine ou les parasites des rongeurs.





- **Les oiseaux** : sont attirés par les céréales depuis le stade laiteux jusqu'à la maturité. Ils séparent le grain des épillets, laissant les épis endommagés et les glumes et lemmes éparpillés sur le sol. Les oiseaux qui endommagent le plus fréquemment les semis de céréales sont les moineaux. Ces oiseaux arrachent les jeunes plants et consomment le reste des graines (Azoui, 2015).
- **Les microorganismes** : dès que les conditions de température et d'humidité deviennent favorables, les microorganismes notamment les moisissures, se développent en envahissant progressivement le grain et secrètent des substances toxiques dites les mycotoxines. Le déoxynivalénol (DON), aussi appelé vomitoxine, est une mycotoxine produite principalement par des champignons du genre *Fusarium*, notamment *Fusarium graminearum* et *Fusarium culmorum*. est le principal risque sanitaire auquel le blé dur est particulièrement sensible (Killmayer et al., 2017). Les conditions climatiques en régions tropicales et notamment les zones humides sont très favorables à la croissance de ces microorganismes (Coraf, 2007). En zones sèches, les risques d'attaque par les moisissures sont également présents si les conditions de stockage sont mauvaises. Les moisissures altèrent l'aspect, l'odeur et le goût des grains sur lesquels elles se développent rendant ces derniers impropres à la consommation humaine ou animale (Coraf, 2007).
- **Les insectes** : les céréales sont habituellement attaquées par les insectes ravageurs au cours de leur entreposage depuis le début de la civilisation humaine (Aissata, 2009). Divers groupes écologiques sont présents au sein des denrées stockées dont notamment des espèces cléthrophages (des insectes vivant à l'intérieur des grains), psychophages (qui se nourrissent des débris, les grains brisés, etc.), mycétophages (qui se nourrissent des moisissures et de mycélium), des parasites et enfin, au sommet du réseau trophique, des prédateurs se nourrissant de proies vivantes (harpactophages) ou de leurs cadavres (nécrophages). Les insectes des denrées stockées sont classiquement répartis en trois catégories : les espèces primaires, secondaires et tertiaires (Huchet, 2017).
- **Les ravageurs primaires** : appelés aussi « à formes cachées » capables de s'attaquer à des grains sains et entiers (Bekon et Fleurât-Lessard, 1989). Ces insectes sont capables de casser l'enveloppe dure des graines saines. Certaines espèces pondent leurs œufs à l'intérieur de la graine et les larves mangent le contenu du grain. D'autres

pondent leurs œufs à la surface du grain et les larves pénètrent l'enveloppe (De Groot, 2004).

- **Les ravageurs secondaires** : appelés aussi « à formes libres » ne peuvent déprécier les grains qu'à partir des dégâts causés par les ravageurs primaires (Bekon et Fleurât-Lessard, 1989). Car ils sont incapables de percer l'enveloppe des semences saines. Donc ils se nourrissent des grains cassés (De Groot, 2004).
- **Les ravageurs tertiaires** : se nourrissent des grains cassés, débris de grains ou des poudres laissées par les deux groupes précédents (De Groot, 2004).

Le tableau ci-après expose quelques exemples d'insectes ravageurs des céréales stockées et leurs dégâts.

**Tableau3** : Quelques insectes ravageurs des céréales stockées (Aziez et *al.*, 2003).

| Espèce  | Dégâts   |
|---|--|
| <b>Ravageurs primaires</b>  |  |
| Petit Capucin des grains<br><i>Rhyzopertha dominica</i><br><br>Ordre : Coleoptera<br>Famille : Bostrychidae |  Réduction en poudre du contenu du grain (par l'adulte)  |
| Charançon du grain<br><i>Sitophilus granarius</i><br><br>Ordre : Coleoptera<br>Famille : Curculionidae      |  Trous dans les grains<br>Germe et amande dévorée   |
| <b>Ravageurs secondaires</b>  |  |
| Cadelle<br><i>Tenebroides sp.</i><br><br>Ordre : Coleoptera<br>Famille : Trogossitidae                      |  Des grains dévorés   |
| Tribolium rouge<br><i>Tribolium confusum</i><br><br>Ordre : Coleoptera<br>Famille : Tenebrionidae           |  Par ses excréments, cadavres, mues, et sécrétions odorantes communique aux denrées une odeur nauséabonde |

---

# ***Chapitre II***

*Généralités sur l'insecte*

---

### 1. Caractères généraux des Tenebrionidae

D'après Darwin (1871), les coléoptères sont le groupe d'insecte le plus abondant et varié, ils représentent plus d'un quart des espèces connues sur terre avec environ 4000 espèces décrites. Ce sont les ravageurs les plus importants et les plus destructeurs des denrées entreposées (Delobel et Tran, 1993).

Les coléoptères sont des insectes à métamorphoses complètes, essentiellement terrestres et parfois aquatiques, ils peuplent toutes les niches écologiques par leurs biologies très variées. Certains comme les Ténébrionidés sont phytophages et s'attaquent aux graines, fleurs et feuilles (Lerant, 2017).

D'après Dajoz (2010), cette famille est la plus évoluée des coléoptères. L'origine de son nom vient du fait que la plupart ont des élytres de couleur sombre. Cependant, il existe des espèces de couleur claire et variée (Lerant, 2015). Selon Haines (1991), le terme Tenebrionidae vient du latin *tenebrae*, qui signifie ténèbres, en raison de leur habitude de vivre dans des endroits sombres.

La famille des Tenebrionidae a une répartition mondiale, mais c'est dans les régions désertiques et subdésertiques qu'elles atteignent leur plus grande diversité (Delobel et Tran, 1993). D'après Lerant (2015), ces insectes colonisent les ruines, les éboulis et le dessous des pierres. Ils sont nuisibles aux denrées alimentaires entreposées dans les magasins; ils sont caractérisés par une forme allongée, une taille petite (3 à 4mm), et leur couleur brun rouge plus ou moins sombre.

### 2. Caractères généraux du genre *Tribolium*

Le genre *Tribolium* comporte 36 espèces (Angelini et al., 2008). Pour Ferrer (1995), l'identification du genre *Tribolium* compte deux caractères essentiels : l'existence d'une suture carénée et la présence de méso-tibia et méta-tibia simples.

Les espèces du genre *Tribolium* sont des coléoptères de la famille des Tenebrionidae, fréquemment associées aux denrées alimentaires. Parmi les espèces les plus connues de ce genre, on peut citer : *T. confusum*, *T. castaneum*, *T. destructor* et *T. madens* (Calmont et Soldati, 2008). D'après Boukhalfa et al. (2020), le tribolium est un ravageur secondaire qui se nourrit de graines déjà endommagées par les ravageurs primaires.

Le genre *Tribolium* comprend plusieurs espèces polyphages mais deux d'entre elles sont cosmopolites et nuisibles, *T. confusum* et *T. castaneum* (Balanchowsky, 1962). Delobel (1984) affirme que *T. confusum* est moins cosmopolite que *T. castaneum*.

### 3. Présentation du tribolium brun de la farine

#### 3.1. Origine et répartition

*T. confusum* a été décrite pour la première fois par Jacquelin Du Val (1868). Le nom commun Français attribué à ce ravageur est le tribolium brun de la farine. Dans les autres langues courantes, il est connu comme *confused flour beetle*, *mason beetle* en Anglais, *Tribolio confuso* ou *escarab ajoamericano de la harina* en espagnol (Delobel et Trans, 1993).

L'aire de répartition de *T. confusum* est très vaste à travers le monde. Cette espèce est généralement distribuée dans le monde entier, elle est très abondante dans l'ensemble des États-Unis (Anonyme, 1955). Selon Lepesme (1944), cette espèce préfère les régions tempérées et remonte assez loin dans le Nord de l'Europe et de l'Amérique sous les climats froids et aussi en Afrique (Delobel et Tran, 1993; Anonyme, 2001). D'après Delobel et Tran (1993), cette espèce se rencontre dans la nature sous l'écorce des arbres.

#### 3.2. Position systématique

Selon Lepesme (1944), la classification de *T. confusum* est la suivante :

|                      |  |
|----------------------|--|
| Règne :              | Animalia   |
| Embranchement :      | Arthropoda                                       |
| Sous-embranchement : | Hexapoda   |
| Classe :             | Insecta  |
| Ordre :              | Coleoptera                                       |
| Sous-ordre :         | Polyphaga  |
| Famille :            | Tenebrionidae                                    |
| Genre :              | <i>Tribolium</i>                                 |
| Espèce :             | <i>Tribolium confusum</i> Jacquelin Du Val, 1868 |

#### 3.3. Description des différents stades de développement

Le cycle biologique de *Tribolium confusum* passe par 4 stades de développement : œuf, larve, nymphe et adulte.

### 3.3.1. Œuf

L'œuf est ovalaire, sans sculpture, il mesure en moyenne 0,6 mm de long (Steffan, 1978). Il est oblong et blanchâtre, presque transparent, sa surface lisse est recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet d'adhérer à la denrée infestée (Fig. 12) (Lepesme, 1944).



**Figure 12.** Œuf de *Tribolium confusum* (G 4,5×10) (Originale, 2025).

### 3.3.2. Larve

La larve est étroite, mobile, de couleur blanche à jaune-brun (Anonyme, 2001). Son corps est recouvert d'un tégument assez mou, taché de jaune sur le dessus et couvert de nombreuses soies et porte une paire d'urogomphes de couleur rousse à son extrémité (Fig. 13). Lors de l'éclosion, les larves ne dépassent pas 1,4 mm ; elles atteignent 6 à 7 mm à l'achèvement de leur croissance. Le nombre de mues varie selon de nombreux facteurs tels que la température, l'humidité, la qualité de l'alimentation, ...etc. (Steffan, 1978). D'après Delobel et Tran (1993), le tribolium brun de la farine compte 7 ou 8 stades larvaires.



A : face ventrale

B : face dorsale

**Figure 13.** Larve de *Tribolium confusum* (larve de 5<sup>ème</sup> stade) (G 10×2,5) (Originale, 2025).

### 3.3.3. Nymphe

La nymphe est de couleur blanche, les segments de son abdomen sont explantés latéralement en lames rectangulaires à bords crénelés. La nymphe sans protection (nue) ne s'alimente pas et reste immobile (Fig. 14) (Balachowsky, 1936).



**Figure 14.** Nymphe de *Tribolium confusum* (G 10×2,5) (Originale, 2025).

### 3.3.4. Adulte

La nymphe subit une mue imaginale et donne naissance à un adulte. A son émergence l'adulte est de couleur brun claire, la pigmentation du corps augmente rapidement pendant les premières 24 heures (Fig.15) (Soliman, 1987).



A : face ventrale



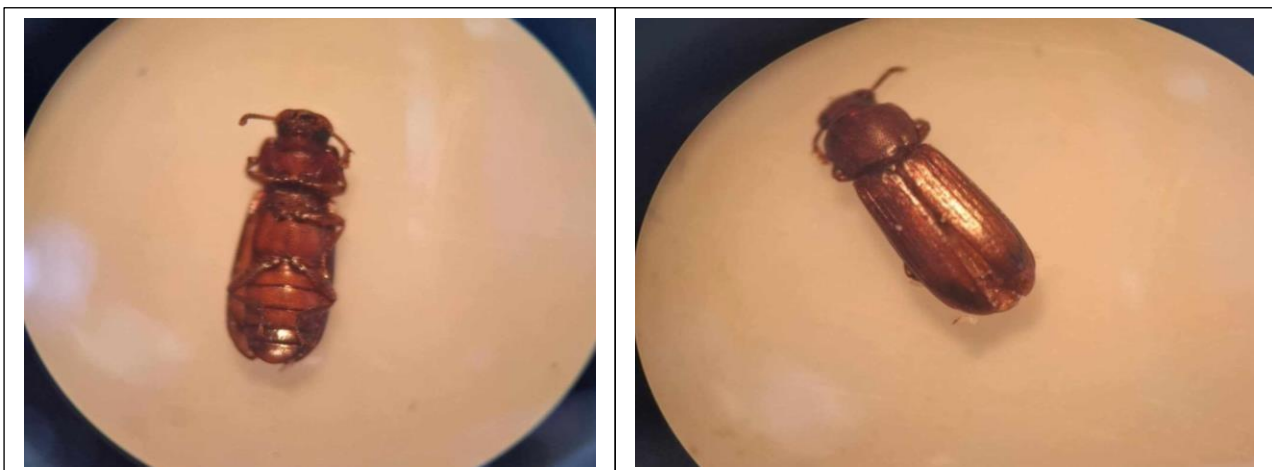
B : face dorsale

**Figure 15.** L'adulte après son émergence de *Tribolium confusum* (G 10×2,5) (Originale, 2025).

L'adulte de *Tribolium confusum* est un petit coléoptère brun rougeâtre, mesurant environ 3 à 5 mm. Les antennes sont moniliformes, les 3 derniers articles sont nettement épais à leurs extrémités (Balachowsky, 1962). L'espace entre les yeux (espace inter-oculaire) est très large, mesurant environ 2,5 fois la largeur de l'œil, ce qui lui donne un aspect « à face large ». Les joues (ou canthus) sont très saillantes et dépassent au-dessus des yeux, ce qui est un caractère distinctif (Calmont et Soldati, 2008).

Le pronotum (la plaque située derrière la tête) présente une ponctuation fine et espacée, et n'est pas réticulée (en forme de réseau) sur les côtés. Les élytres (ailes dures recouvrant l'abdomen) sont allongés, parcourus de rangées régulières de petits points bien visibles. Entre ces rangées, chaque inter-strie (espace entre deux stries) porte une fine côte longitudinale en son centre (Calmont et Soldati, 2008).

Les trois paires de pattes sont courtes, les tarsi des pattes antérieures et médianes sont formés de 5 articles et ceux des pattes postérieures n'en possèdent quatre (Fig. 16) (Calmont et Soldati, 2008).



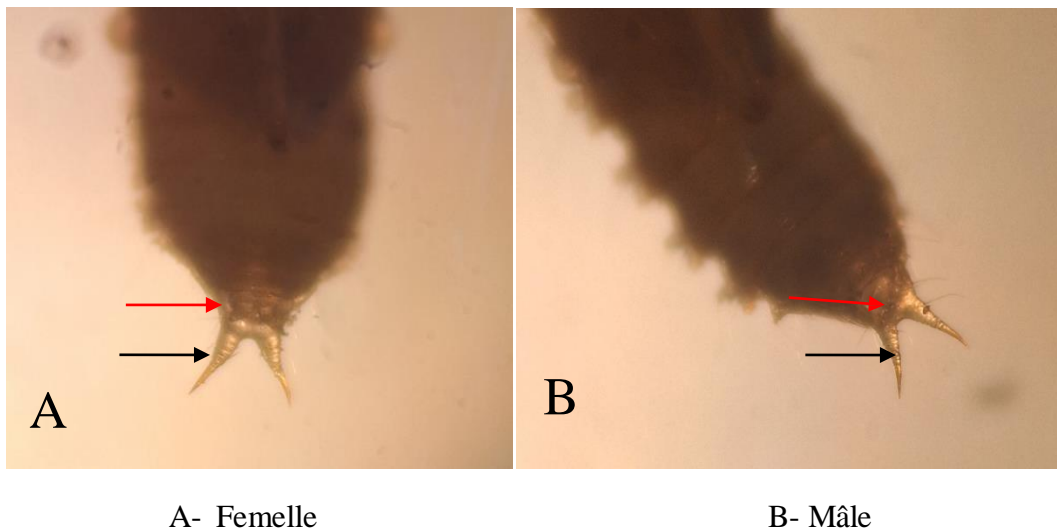
A : face ventrale

B : face dorsale

**Figure 16.** L'adulte de *Tribolium confusum* (G 10×2,5) (Originale, 2025).

### 3.3.5. Dimorphisme sexuel

Le mâle se distingue de la femelle chez *T. confusum* à l'état nymphal. La nymphe femelle présente deux petites cornes à la face ventrale au-dessus de la paire d'urogomphes à extrémité très aiguë et de couleur brun sombre, qui chez le mâle s'atténue à une légère protubérance déprimée au centre (Fig. 17) (Brown et *al.*, 2009 ; Skukla et Palli, 2012).



A- Femelle

B- Mâle

**Figure 17.** Extrémité abdominale de deux nymphes de *T. confusum* indiquant les urogomphes (flèche noir), les cornes chez la femelle et la protubérance chez le mâle (flèche rouge) (G : 10×4,5) (Originale, 2025).

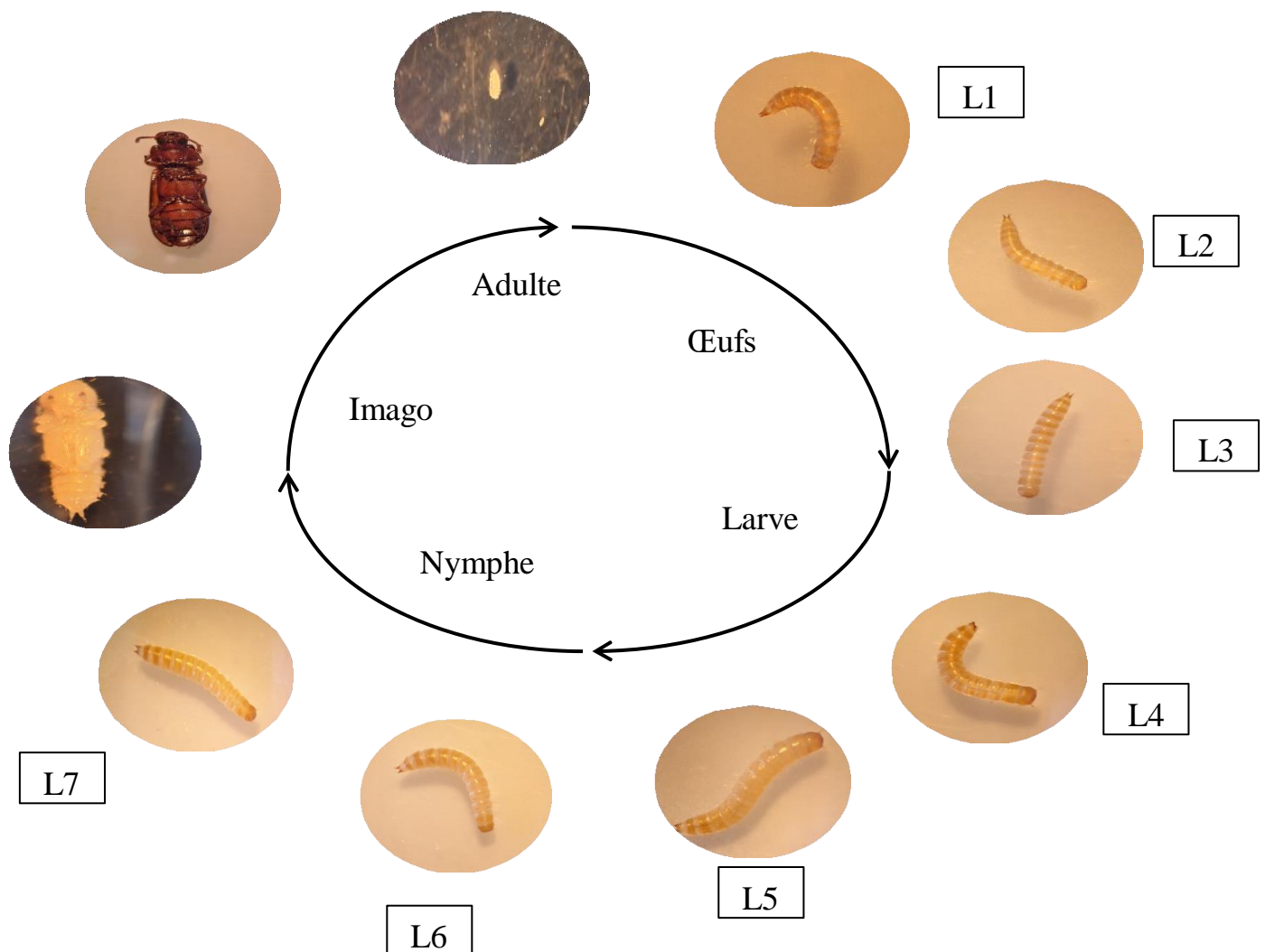
### 3.4. Cycle de développement de *Tribolium confusum*

Le tribolium brun de la farine est un insecte holométabole dont les stades immatures ne ressemblent pas à l'adulte (Fig. 18) (Shanholtzer et Lumsden, 2012). La durée de vie des adultes de *T. confusum* varie de 3 à 12 mois ou plus (Good, 1933). L'accouplement des adultes se fait peu après leurs émergences et la femelle commence à pondre entre 2 et 11 œufs par jour sous des conditions optimales de 35 °C et 75% d'Humidité relative ; ces œufs éclosent au bout de 2 à 3 jours (Hill, 2002). Au cours de sa vie et à une température variant entre 25°C et 32 °C, la femelle peut déposer, en moyenne, entre 150 et 600 œufs (Brindly, 1930 ; Dawson, 1964). D'après Good (1933), après avoir été séparée du mâle, la femelle peut continuer la ponte jusqu'à 5 mois et peut avoir jusqu'à 976 œufs viables.

À l'éclosion, l'œuf donne naissance à une larve néonate de couleur blanche et de petite taille (1,3mm). Elle passe par 7 stades, la larve du dernier stade est de forme cylindrique mesure environ 7 mm de long et 0,8 mm de large, sa couleur est jaune pâle. Son corps presque glabre, se termine par deux paires d'urogomphes (Moussi, 2017). La larve achève son

développement au bout de 18 jours puis se nymphose pour donner un adulte après 6 jours (Brindly, 1930).

Après son émergence, l'imago présente une couleur blanc jaunâtre puis devient brun rouge après 2 à 3 jours et sa taille atteint 3 à 4 mm de long. D'après Robinson (2005), le cycle se complète en 25 jours à 32,5°C et 70% d'Humidité Relative. Cinq générations peuvent se succéder par an (Drees et Jackman, 1998). Selon Pai (2010), l'optimum thermique de *T. confusum* se situe entre 32°C et 35°C, son développement s'arrête au-dessous de 22°C et elle résiste aux basses hygrométries. En absence d'alimentation, *T. confusum* exerce le cannibalisme, il dévore les œufs et les larves de leurs congénères. Les anciennes larves se nourrissent des adultes en fin de vie dont l'exosquelette n'est pas sclérifié (Fig. 19) (Pai, 2010).



**Figure 18.** Cycle de développement de *T. confusum* (Originale, 2025).



**Figure 19.** Adulte dévoré par une larve (G :10×2) (Originale, 2025)

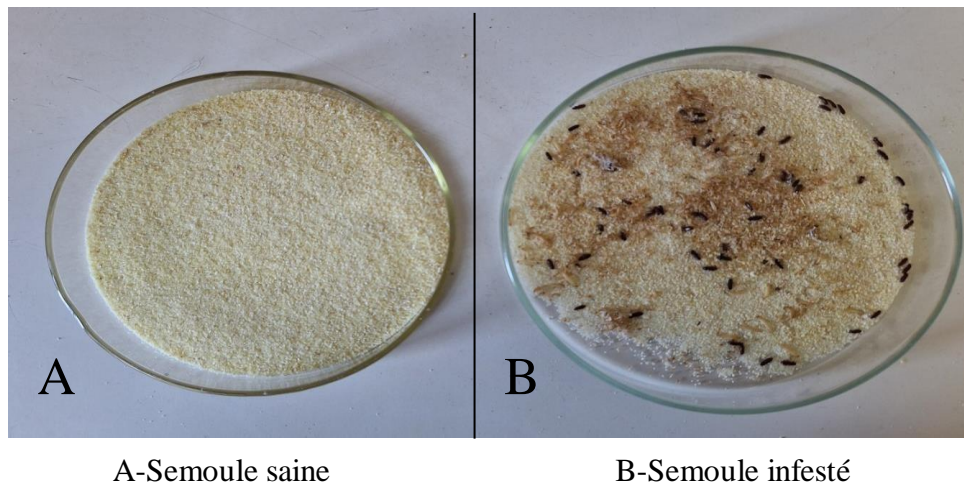
### 3.5. Régime alimentaire

Le tribolium a un régime très polyphage (Ford, 1937). C'est un ravageur secondaire des céréales telles que le blé, le maïs, le riz, l'orge, le seigle et l'avoine. D'après Ford (1937), la vitamine B qui est présente dans la plupart des farines est essentielle pour son développement. Comme son habitat typique se trouve dans les magasins de farine des céréales, cet insecte est communément appelé « coléoptère de la farine » ou « insecte du son » (Pai, 2010). Bien qu'il soit majoritairement présent dans les produits céréaliers, ce ravageur se retrouve également dans une grande variété d'autres aliments, notamment les légumineuses (tels que les haricots et les pois), les fruits à coque, le chocolat, ainsi que certaines épices comme le gingembre et le poivre rouge (Pai, 2010).

### 3.6. Dégâts associés

*Tribolium confusum* est une espèce nuisible aussi bien à sa phase larvaire qu'à sa phase adulte. La contamination par les excréments et les exuvies larvaires ainsi que les fragments d'insectes peut être considérable si les stocks sont envahis par le ravageur (Fig. 20). Ils émettent une sécrétion malodorante qui rend les produits de meunerie infestés impropres à la consommation. Ces insectes nuisibles peuvent causer une diminution de la masse sèche du produit infesté et une augmentation de son niveau d'humidité, favorisant ainsi la prolifération des moisissures, ce qui réduit leur valeur nutritive et engendre des pertes financières considérables (Nowaczyk et al., 2009).

En se nourrissant du germe de blé et de son endosperme, *T. confusum* réduit le pourcentage de germination du grain (White et Demianyk, 1996).



**Figure 20.** Dégâts causés par *T. confusum* sur la semoule (Originale, 2025).

#### 4. Moyens de lutte

En raison de l'étendue des destructions provoquées par ces coléoptères, diverses techniques de contrôle peuvent être mises en place afin de maintenir le degré d'infestation à un niveau économique tolérable. La gestion de l'expansion des insectes durant le stockage implique un ensemble de méthodes de lutte préventive et curative.

##### 4.1. Lutte préventive

La lutte préventive comprend toutes les techniques destinées à empêcher les infestations et assurer une protection maximale au sein des industries agro-alimentaires tout en maintenant la qualité des produits, avant l'installation des nuisibles, ainsi qu'au début et pendant le stockage.

D'après la FAO (1986), Kellouche (2005), Cruz et *al.* (2016), Lessard (2018) et Moreau (2019), cette méthode fait appel à plusieurs moyens comme :

- Nettoyer la structure d'entreposage ;
- Balayer tous résidus de grains répandus, de poussière ;
- Dépoussiérer le matériel de manutention et l'outillage ;
- Désinfecter les sacs et les paniers en les exposant au soleil ou en les traitant chimiquement ;
- Obturer toutes les ouvertures des portes, toitures, *etc.*, par lesquelles les ravageurs pourraient entrer (les fissures des murs où les ravageurs pourraient se cacher) ;
- Traiter le bâtiment et le produit contre les ravageurs ;
- Garder l'entrepôt dans un état de parfaite propreté ;

- Enlever et détruire les résidus infestés qui pourraient contaminer des produits nouvellement emmagasinés ;
- Nettoyer les grains ;
- Sécher les grains afin de réduire le taux d'humidité ;
- Faire un dépistage précocement des insectes dans les livraisons et surveiller continuellement les espèces qui se développent dans les cellules de stockage ;

#### 4.2. Lutte curative

La lutte curative est mise en œuvre lorsque les mesures préventives se révèlent insuffisantes pour assurer la protection des denrées stockées contre les organismes nuisibles. Elle a pour objectif de limiter la prolifération de ces derniers en situation d'infestation, afin d'éviter l'évolution vers des stades plus avancés et irréversibles. A cet effet, divers moyens peuvent être utilisés :

##### 4.2.1. Lutte chimique

En raison de son efficacité, l'usage du traitement chimique est largement répandu. Cependant, il doit être mis en œuvre avec précaution pour minimiser les dangers potentiels qu'il pourrait représenter pour les consommateurs de produits alimentaires. Selon Stejskal et *al.* (2021), l'effet biologique d'un insecticide dépend principalement de l'activité de la substance active contre les arthropodes cibles (toxicité, perturbation hormonale ou comportementale, *etc.*). Toutefois, pour assurer une bonne efficacité des insecticides sur le terrain, la substance active doit avoir une formulation appropriée, tant sur le plan physique que chimique afin d'être livrée en quantité suffisante et sous sa forme la plus active au site cible physiologiquement sensible de l'organisme arthropode. Deux types de traitement sont généralement employés:

- **Le traitement par contact**, qui consiste à recouvrir les grains, l'emballage ainsi que les locaux de stockage d'une pellicule de produit insecticide qui agit par contact sur les déprédateurs, dont l'effet est plus ou moins rapide avec une persistance d'action plus longue. Les insecticides les plus couramment utilisés sont entre autres l'Actellic® (Pirimiphos-méthyle), la K-Othrine® (deltaméthrine) (Aoues, 2018).
- **Le traitement par fumigation**, qui est un procédé de lutte utilisant comme agent insecticide (le fumigant) ; un produit qui, au moment où il agit sur les ravageurs visés, se trouve sous forme gazeuse (Multon, 1982). L'un des fumigants le plus utilisé est le Phosphate d'aluminium ® qui peut être mélangé avec du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) (Aoues, 2018).

D'après Cruz *et al.* (2016), les avantages de la lutte chimique avec des insecticides à longue persistance d'action sont liés à son faible coût, sa facilité de mise en œuvre et à la durée de protection qui peut se prolonger plusieurs mois après le traitement. Mais l'usage régulier d'insecticides comporte aussi de sérieux inconvénients comme les possibilités de créer des races résistantes et de laisser des résidus dans les produits transformés et aliments à base de céréales.

L'emploi des insecticides demeure le moyen de base pour lutter contre les ravageurs des denrées alimentaires ; divers méthodes se sont développées pour agir en complémentarité avec ces produits chimiques.

#### **4.2.2. Lutte physique**

Elle repose sur la manipulation de l'environnement physique des ravageurs de sorte que la population soit éliminée ou ramenée sous le seuil de nuisibilité économique. Bien qu'encore peu pratiquée, la lutte physique est particulièrement adaptée au stockage des grains, l'environnement y étant artificiel et donc partiellement contrôlable (Cabacos *et al.*, 2020).

##### **4.2.2.1. Traitement thermique**

Les insectes sont poïkilothermes et la manipulation de la température de leur environnement a une incidence directe sur leur métabolisme et sur le taux d'accroissement de leurs populations (Crépon et Cabacos, 2020). De ce fait, le chauffage ou la réfrigération est largement utilisé pour lutter contre les insectes et les acariens nuisibles des produits entreposés (Fields, 1992). Le traitement par la chaleur, en faisant transiter les grains dans un séchoir réglé à 60 ou 65°C pendant une heure est suffisant pour détruire les insectes sous forme cachées dans les céréales peu sensibles à la chaleur (Lessard, 2018). À partir de 35°C, les populations d'insectes décroissent rapidement, et les températures sont létales dès 45°C, le chauffage est utilisé en traitement des locaux vides et en traitement des grains (Cabacos *et al.*, 2020).

Par ailleurs, l'abaissement de la température par la ventilation des grains, par air ambiant ou réfrigéré, est une méthode préventive largement répandue (Crépon et Cabacos, 2020). Les grains conservés à 20°C stoppent le développement de la plupart des insectes des produits stockés, en dessous de 12°C les insectes des grains ne se multiplient plus (Fields, 1992).

##### **4.2.2.2. Dessiccation par des poudres inertes**

Selon Cissokho *et al.* (2015), il existe quatre types de poudres inertes desséchantes et abrasives, en l'occurrence la terre (argile poudrée, sable, terre à diatomées comme (Protect-It,

Dryacide et Silicosec), les gels siliceux, et les poudres inertes non siliceuses [(roches phosphatées, terre soufrée, chaux (hydroxyde de calcium), calcaire (carbonate de calcium), sel (chlorure de sodium))].

Les terres à diatomées sont les plus étudiées dans le domaine de l'utilisation de substances inertes dans la protection des stocks. Ce sont des dépôts géologiques de diatomites constitués de couches sédimentaires d'algues microscopiques fossilisées appelées diatomées. Les terres de diatomée agissent sur la régulation des échanges hydriques des insectes. L'abrasion et l'adsorption des corps gras de la cuticule occasionnées par le contact de l'insecte avec la terre de diatomée favorisent sa déshydratation (Crépon et Cabacos, 2020).

#### 4.2.2.3. Insolation

L'insolation est une pratique effectuée le plus souvent avant emmagasinage des récoltes. Elle permet d'achever le séchage et de faire fuir les insectes grâce à la chaleur et à l'incidence directe des rayons solaires (Guèye et *al.*, 2011).

#### 4.2.2.4. Atmosphère contrôlée

D'après Cabacos et *al.* (2020), deux mécanismes sont à l'œuvre pour expliquer la mortalité des insectes en atmosphère contrôlée : l'anoxie (privation d'O<sub>2</sub>) et l'hypercapnie ou l'hypercarbie (excès de CO<sub>2</sub>). Dans les deux cas, la mortalité serait le fait d'une altération du métabolisme des insectes et d'une dessiccation, les pertes en eau n'étant plus régulées. Une anoxie simple peut être obtenue en enrichissant l'atmosphère en N<sub>2</sub>. La concentration limite en O<sub>2</sub> à atteindre pour parvenir à une mortalité des insectes dépend à la fois de l'espèce et de son stade, de la température et de l'humidité relative. La mort est d'autant plus rapide que la concentration en O<sub>2</sub> est faible, la température élevée et l'humidité relative basse.

#### 4.2.3. Lutte biotechnologique

Cette méthode implique l'utilisation de phéromones synthétiques spécifiques pour surveiller et identifier d'éventuelles infestations au sein des stocks. Elle provoque une confusion sexuelle et une capture massive des insectes par des appâts. Les régulateurs de croissance des insectes, également appelés IGR (Insect Growth Regulators), sont employés pour la gestion de diverses nuisibles affectant les grains entreposés. Deux IGRs, l'hydroprène et le méthoprène, appliqués à des grains de blé et de maïs, à des concentrations allant de 2 à 10 ppm, réduisent efficacement les populations de la 1<sup>ère</sup> génération de *T. confusum* (McGregor et Kramer, 1975 in Kheloul, 2021).

#### 4.2.4. Lutte biologique

La lutte biologique se définit comme « l'ensemble des techniques de protection des végétaux basées sur l'utilisation de mécanismes naturels ». Ainsi, le principe de cette lutte est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. Elle stipule le recours à des ennemis naturels pour lutter contre les nuisibles, tels que les prédateurs, les parasitoïdes ou les agents pathogènes, ainsi que des produits naturels végétaux.

##### 4.2.4.1. Ennemis naturels

Certains insectes parasitoïdes (souvent des guêpes) pondent leurs œufs dans ou sur les œufs, larves ou pupes du *Tribolium*. Les larves du parasitoïde se nourrissent ensuite de l'hôte. D'après Crepon et al. (2019), l'hyménoptère *Lariophagus distinguendus* constitue un agent potentiel de lutte biologique contre certains insectes déprédateurs des grains stockés. Ces mini-guêpes sont des parasitoïdes des larves de différents insectes coléoptères prédominants au stockage des céréales. Aussi, *Holpyris sylvanidis* est un micro-hyménoptère qui parasite principalement les larves du tribolium brun de la farine *T. confusum* (Anses, 2016).

Plusieurs insectes ou arthropodes chassent et mangent les *Tribolium* à différents stades (œufs, larves, adultes). C'est l'exemple de *Xylocoris flavipes*, une punaise prédatrice polyphage des Coléoptères et des Lépidoptères. Ses cibles principales sont les Coléoptères du genre *Tribolium*. En effet, *X. flavipes* présente un très fort taux de prédation sur les jeunes larves de *Tribolium* sp.

*Bacillus thuringiensis* est une bactérie ubiquiste gram positive qui produit des cristaux parasporaux lors de la phase stationnaire de son cycle de développement. Ces cristaux sont des endotoxines et ont des activités larvicides/insecticides contre des Coléoptères, Lépidoptères et Diptères d'où son utilisation comme pesticides naturels (Nanfack et al., 2015).

Trois nématodes entomophages, *Heterorhabditi sbacteriophora*, *Steinernema carpocapsae* et *S. feltiae* sont utilisés contre quatre insectes des céréales stockées : la pyrale de la farine *Ephestia kuehniella* (larves), le capucin des grains *Rhizopertha dominica* (Adultes), le charançon du riz *Sitophilus oryzae* (Adultes) et *T. confusum* (Athanassiou et al., 2010 in Ncibi, 2020).

#### 4.2.4.2. Biopesticides

L'utilisation des substances végétales en tant que biopesticides dans la protection des grains au cours du stockage contre les insectes a fait l'objet de nombreux travaux. Les plantes sont naturellement dotées de médiateurs chimiques permettant la communication entre les espèces et présentant divers effets. Beaucoup de molécules dans ces composés interviennent dans la défense du végétal contre les ravageurs (Aoues, 2018). Ainsi plus de 2000 espèces végétales dotées de propriétés insecticides sont identifiées.

Les plantes sont utilisées contre les ravageurs pour leurs effets répulsifs ou insecticides par contact ou par fumigation (Guèye et *al.*, 2011). Des études comparatives ont montré que les extraits de plantes pouvaient avoir des activités biologiques (insecticides) sur les insectes ravageurs des cultures ou des stocks de légumineuses proches de celles des pesticides organiques de synthèse (Lessard, 2011).

Ces biopesticides ont plusieurs avantages écologiques, ils sont biodégradables, ont une activité sélective, diminuent les effets non intentionnels sur les espèces non cibles, et diminuent les résistances (Ncibi, 2020). Ces biopesticides peuvent être utilisés sous diverses formes, telles que des extraits de plantes, des poudres, des plantes entières, des huiles végétales ou encore des huiles essentielles (HEs) (Kumar, 2017).

D'après Guèye et *al.* (2011), les huiles essentielles (HEs) font partie ces dernières années des voies les plus explorées dans la régulation des ravageurs. Leur application dans la protection des stocks a fait l'objet de nombreux travaux. Leur toxicité s'exprime de différentes manières : activités ovicide, larvicide, anti nutritionnelle et inhalatrice. Le spectre d'action des HEs est très diversifiée; elles jouent un rôle de régulateur de croissance et possèdent des propriétés antimicrobiennes et anti-oxydantes (Cissokho et *al.*, 2015).

Les phytopesticides valorisables sous la forme des HEs présentent un réel avantage du fait de leur faible rémanence, leur faible toxicité pour l'homme et de leur mode d'action sur les ravageurs (Ngamo et Hance, 2007). Les constituants des HEs sont des sources potentielles d'insecticides botaniques. Plusieurs constituants sont insecticides ; le safrole et l'eugenol ont des fortes activités insecticides sur les ténébrions et surtout le tribolium rouge de la farine *T. castaneum*.

---

# ***Chapitre III***

*Généralités sur les huiles essentielles*

---

## 1. Les huiles essentielles

### 1.1. Définition d'une huile essentielle

Les huiles essentielles (HEs) sont des substances aromatiques, parfumées, à la consistance huileuse, produites par le métabolisme des plantes (Toninoli et Meglioli, 2013).

Elles constituent exclusivement la fraction volatile des plantes. Ces essences naturelles sont produites au sein de structures spécialisées (organes sécréteurs) pouvant se trouver sur ou dans différentes parties de la plante (feuille, fruit, fleur, ...), dénommées organes producteurs d'essences. Une biomasse importante d'une même plante est nécessaire à la production d'un faible volume d'HE qui représente une forme concentrée de nombreuses molécules produites par la plante (Lobstein et *al.*, 2019).

Les HEs sont obtenues par divers modes d'extraction : distillation et entraînement à la vapeur d'eau, distillation sèche, extraction par expression mécanique à froid, *etc.*

### 1.2. Toxicité des huiles essentielles

Les HEs, produits naturels par excellence, où le terme « naturel » prend une connotation inoffensive tandis que les produits chimiques évoquent le danger. Cela dit, le naturel n'est pas synonyme de bénin. Ces dernières années, les professionnels de la santé ont constaté une augmentation de l'utilisation des HEs et du nombre d'intoxications associées (Noury et *al.*, 2023). Les sujets les plus fragiles sont les enfants, les femmes enceintes et allaitantes, ainsi que les sujets épileptiques et asthmatiques mais la toxicité concerne tout le monde (Maillard, 2022).

Les HEs sont des substances très actives, dont l'utilisation demande certaines précautions (Heute, 2012). La toxicité d'une HE est définie par des effets indésirables qui peuvent affecter le métabolisme ou la peau et devenir nocifs. La toxicité d'une HE dépend principalement de sa composition chimique et de la dose utilisée.

D'après l'étude de Noury et *al.* (2023), les HEs les plus mises en cause lors des intoxications recensées dans l'enquête sont les HEs d'Eucalyptus (18%), Arbre à Thé (15%), Agrumes (15%), Lavande (12%) et Thym (12%). L'application cutanée (75%) est la voie la plus mise en cause et les voies orale et respiratoire correspondent respectivement à 25% et 33% des intoxications.

En raison de leur caractère lipophile ; les HEs présentent souvent un impact au niveau du système nerveux central, les symptomatologies observées concernent : une activité psychotrope, avec excitation, dépression, léthargie, effet hypnotique, comme c'est le cas avec le menthol (Teuscher et *al.*, 2005).

Certaines HEs contiennent de puissants principes actifs aux propriétés relaxantes, narcotiques, hypnotiques ou sédatives comme le cas du céleri et du lime (Heute, 2012). Selon Teuscher *et al.* (2005), d'autres effets secondaires toxiques sont observés lors de cas cliniques, tels que des dépressions cardiaques (HE de lavande), des arythmies (HE de cannelle), des spasmes (HE de menthe), des hémorragies (HE de rue), des convulsions (HE de sauge). Certaines HEs notamment celles issus des Citrus (agrumes), sont phototoxiques, elles ne doivent pas être utilisées avant ou pendant une exposition au soleil sous peine de voir apparaître des taches brunes sur la peau (Heute, 2012).

## 2. Composition chimique des huiles essentielles

La composition chimique de l'HE d'une plante diffère selon l'organe utilisé, la période de prélèvement de la plante, les facteurs climatiques, la nature du sol, les pratiques culturales et le mode d'extraction (Ouis, 2015).

Teisseire (1991) signale que, les constituants des HEs peuvent être classés en trois groupes provenant de trois voies de biosynthèse bien distinctes :

- ✓ Les terpénoïdes
- ✓ Les dérivés du phénylpropane
- ✓ Et les composés d'origines diverses

### 2.1 Terpénoïdes

Dans le cas des HEs, seuls les terpènes les plus volatils, c'est à dire, ceux dont la masse moléculaire n'est pas élevée sont observés. Ils répondent dans la plupart des cas à la formule générale ( $C_5H_8$ ). Suivant les valeurs de n, on a les héli-terpènes (n=1), les mono-terpènes (n=2), les sesquiterpènes (n=3), les tri-terpènes (n=6), les tétra-terpènes (n=8) et les polyterpènes. Les constituants des HEs sont très variés; en plus des terpènes, il y a des hydrocarbures, des esters, des lactones, des aldéhydes, des alcools, des acides, des cétones, des phénols, des oxydes et autres (Teisseire, 1991).

### 2.2 Dérivés du phénylpropane

Ce sont très souvent des allyles propénylphénols, parfois des aldéhydes (Bruneton, 1993). Ces composés aromatiques constituent un ensemble important car ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des HEs. Nous pouvons citer en exemple l'eugénol qui est responsable de l'odeur du clou du girofle (Teisseire, 1991).

### 2.3 Composés d'origines diverses

Compte tenu de leur mode d'extraction, les HEs peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, entraînés lors de l'hydro distillation. Ces produits peuvent être azotés ou soufrés (Teisseire, 1991).

### 3 Localisation des huiles essentielles dans la plante

Les HEs se trouvent dans toutes les parties vivantes de la plante et se forment dans le protoplasme de différentes cellules sécrétrices selon l'organe végétal considéré. Elles s'accumulent par la suite dans des cellules glandulaires spécialisées recouvertes d'une cuticule. Puis, elles sont stockées dans des structures histologiques spécialisées, à savoir, des cellules à HEs (Lauraceae et Zingiberaceae), des poils glandulaires épidermiques qui produisent les essences dites superficielles (Labiaceae, Geraniaceae et Rutaceae), des poches sécrétrices (Myrtaceae, Rutaceae) ou encore des canaux sécréteurs (Apiaceae, Umbelliferaeae et Asteraceae) (Bruneton, 1999 ; Boz et *al.*, 2009).

Ces essences se trouvent dans divers organes de la plante : les fleurs (bergamotier), les feuilles (menthe poivrée), mais aussi dans des écorces (cannelier de Ceylan), des bois (bois de santal), des racines (angélique), des rhizomes (gingembre), des fruits (badiane), ou encore des graines (muscade) (Deschepper, 2017).

### 4 Propriétés physiques et biologiques des huiles essentielles

#### 4.1. Propriétés physiques

Selon Bruneton (1999), Charpentier et *al.* (2008) et Desmares et *al.* (2008), les HEs sont généralement :

- Liquides à température ambiante, certaines sont visqueuses ;
- Volatiles, inflammables, odorantes et entraînés à la vapeur d'eau ;
- Incolores ou jaune pâle ;
- De densité généralement inférieure à 1 sauf exception (HE de saffran, de girofle, ou de cannelle) ;
- Indice de réfraction souvent élevé et sont douées de pouvoir rotatoire ;
- Peu solubles dans l'eau, solubles dans les alcools élevés, les huiles fixes et la plupart des solvants organiques qui sont apolaires.

Les HEs peuvent parfois sembler grasses ou huileuses, mais ce ne sont pas des corps gras. Contrairement, les huiles fixes (huile d'olive, de tournesol, *etc.*) ne sont pas volatiles et laissent une trace grasse durable sur le papier (Bernadet, 2000).

## 4.2. Propriétés biologiques

Les huiles essentielles (HEs) sont des extraits naturels volatils issus de plantes aromatiques. Elles possèdent de nombreuses propriétés biologiques qui les rendent utiles en agriculture et en agroalimentaire, notamment dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. De nombreuses études ont montré que l'activité biologique d'une HE est liée directement à ses constituants chimiques (Lahlou, 2004).

### 4.2.1. Propriétés antibactériennes

Les HEs inhibent la croissance de nombreuses bactéries pathogènes ou d'altération (Gram + et Gram -). Les bactéries à Gram positif sont plus sensibles à l'action des huiles essentielles, par rapport aux bactéries à Gram négatif (Burt, 2004).

Plusieurs théories sont proposées pour expliquer le mécanisme par lequel les HEs exercent leur activité antimicrobienne. Leur composition complexe tend à prouver que cette activité serait due à plusieurs mécanismes d'action différents, liés à la nature chimique de ces composés (Skandamis *et al.*, 2001 ; Carson *et al.* ; 2002 ; Burt, 2004). La plupart des mécanismes d'action sont attribués à l'interaction des composants des HEs avec la membrane cellulaire (Benchaar *et al.*, 2008). Les HEs sont constituées de molécules lipophiles capables de :

- Pénétrer la double couche phospholipidique, leur accumulation entre les phospholipides entraîne alors un changement de conformation et un mauvais fonctionnement de la membrane cellulaire, perturbant ainsi le transport membranaire des substances nutritives (Sikkema *et al.*, 1994 ; Ultee *et al.*, 1999) ;
- Perturber le gradient ionique de la membrane cytoplasmique ce qui diminue la stabilité membranaire et perturbe aussi le transport membranaire. Mais certaines bactéries sont capables de contrebalancer cet effet par l'utilisation de la pompe ionique, dans ce cas la croissance peut être ralentie grâce à l'épuisement de l'énergie de la pompe (Griffin *et al.*, 1999 ; Ultee *et al.*, 1999 ; Cox *et al.*, 2001).

#### 4.2.2. Propriétés antifongiques

Les huiles essentielles possèdent une forte activité antifongique, principalement grâce à leurs composés bioactifs tels que les phénols (ex. : eugénol, thymol, carvacrol) et les aldéhydes (ex: cinnamaldéhyde) (Zhang et *al.*, 2017).

Le même auteur ajoute que le mécanisme antifongique des HEs implique des composants qui pourraient :

- Perturber la membrane plasmique fongique ce qui augmente la fluidité et la perméabilité de la membrane ;
- Perturber les protéines membranaires et inhibe la respiration ;
- Lutter contre les champignons pathogènes ou responsables de moisissures des denrées, et aussi contre les champignons producteurs de mycotoxines ;

#### 4.2.3. Propriétés Anti-oxydantes

Les antioxydants peuvent être définis comme étant des substances qui, présentes à de faibles concentrations par rapport à un substrat oxydable, sont capables de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat par la libération d'un ou plusieurs électrons (Prior et *al.*, 1999 ; Moon et Shibamoto, 2009).

Les huiles essentielles (HEs) possèdent d'importantes propriétés antioxydantes, principalement dues à la présence de composés phénoliques tels que le thymol, le carvacrol, l'eugénol et le linalol. Ces molécules sont capables de neutraliser les radicaux libres, responsables du stress oxydatif, en inhibant les réactions en chaîne de peroxydation lipidique et en protégeant ainsi les cellules contre les dommages oxydatifs. Grâce à ces propriétés, les HEs sont utilisées dans les industries agroalimentaire et cosmétique pour prolonger la durée de conservation des produits et prévenir le vieillissement cellulaire.

#### 4.2.4. Propriétés anti-virales

Moins étudiée que les autres propriétés, des travaux ont montré que certaines HEs perturbent la réplication virale. La majorité des virus sont accessibles aux HEs à phénol. Etant lipophiles, ces derniers peuvent s'introduire profondément dans l'enveloppe des virus et sont donc plus actives sur les virus comme les HS1 et 2(Herpès) (Velé, 2015).

Plus d'une dizaine d'HEs possèdent des propriétés antivirales par exemples : l'HE de camphrier (Ravintsara) ou l'HE de cannelle de Ceylan (Mayer, 2012).

#### 4.2.5. Propriétés anti-inflammatoires

Les huiles essentielles (HEs) possèdent des propriétés anti-inflammatoires bien documentées, attribuées principalement à des composés actifs tels que l'eugénol, le 1,8- cinéole, le thymol ou encore le carvacrol. Ces molécules agissent en modulant la réponse inflammatoire, notamment en inhibant la production de médiateurs pro-inflammatoires comme les prostaglandines, les cytokines (ex. : TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ ) ou les enzymes COX-2. Grâce à ces effets, les HEs sont utilisées dans le traitement de diverses affections inflammatoires cutanées, articulaires ou respiratoires, et représentent une alternative naturelle prometteuse aux anti-inflammatoires conventionnels (De Cássia da Silveira e Sá et al., 2013)

#### 4.2.6 Propriétés Cytotoxiques / anticancéreuses

Certaines HE présentent des activités anti-tumorales et sont utilisées dans le traitement préventif de certains types de cancers. L'HE, isolée des graines de *Nigella sativa* L., démontre une activité cytotoxique in vitro contre différentes lignées cellulaires tumorales. In vivo, elle limite la prolifération de métastases hépatiques et retarde la mort des souris ayant développé la tumeur P815 (Mbarek et al., 2007).

L'HE de *Melissa officinalis* s'est, quant à elle, révélée efficace contre des cellules de lignées cancéreuses humaines, incluant les cellules leucémiques HL-60 et K562 (De Sousa et al., 2004).

#### 4.2.7 Propriétés insecticides

L'activité des huiles essentielles (HEs) sur les insectes nuisibles des denrées stockées a été largement étudiée dans la littérature scientifique. Ces substances naturelles se distinguent par leurs puissantes propriétés biologiques, notamment leur effet insecticide, répulsif et perturbateur du comportement, à l'encontre des principaux ravageurs des produits stockés.

✓ **Insecticide**

De nombreuses HEs ont une action létale sur les insectes, souvent observé après exposition par contact ou inhalation. C'est en grande partie le résultat de la perturbation des processus physiologiques, entraînant la mort des insectes (Isman, 2000 ; Rajendran et Sriranjini, 2008).

✓ **Répulsive**

Les huiles essentielles ont une puissante activité répulsive, empêchant les insectes de s'approcher des aliments traités. Cette action comportementale est attribuée à la volatilité des composés actifs qui interagissent avec les récepteurs olfactifs (Nerio et *al.*, 2009).

✓ **Anti-appétante (Antifeedant)**

Cette propriété est due à l'interférence des composés volatils avec les mécanismes de détection gustative et olfactive chez l'insecte diminuant considérablement la consommation des aliments stockés (Tapondjou et *al.*, 2005).

✓ **Neurotoxique**

Plusieurs constituants des huiles essentielles, tels que l'eugénol, le thymol ou le 1,8-cinéole agissent sur le système nerveux central des insectes, notamment via l'inhibition de l'acétylcholinestérase ou l'altération des canaux ioniques, provoquant la paralysie et la mort (Enan, 2001 ; López et *al.*, 2008).

## **5. Les différentes méthodes d'extraction des HEs**

### **5.1 Extraction par Hydro-distillation**

L'extraction des HEs par hydro-distillation, consiste à immerger ou à placer les parties végétales (fleurs, feuilles, écorces, etc.) au-dessus ou dans de l'eau portée à ébullition. La vapeur d'eau entraîne les composés volatils de la plante, puis ce mélange vapeur-huile essentielle est condensé dans un refroidisseur. L'huile essentielle est ensuite séparée de l'eau par décantation, grâce à leur différence de densité. Cette technique est largement utilisée car elle permet d'extraire efficacement les huiles sans les altérer (Bruneton, 1999). L'inconvénient de ce procédé est principalement dû à l'action de la vapeur ou de l'eau bouillante, certains

organes végétaux, en particulier les fleurs, sont trop fragiles pour supporter le traitement de distillation à la vapeur et d'hydro-distillation (Fig. 21) (Farhat, 2010).



1 : Source de chaleur

2 : Cocotte-minute

3 : Réfrigérant à serpentin

4 : Eprouvette

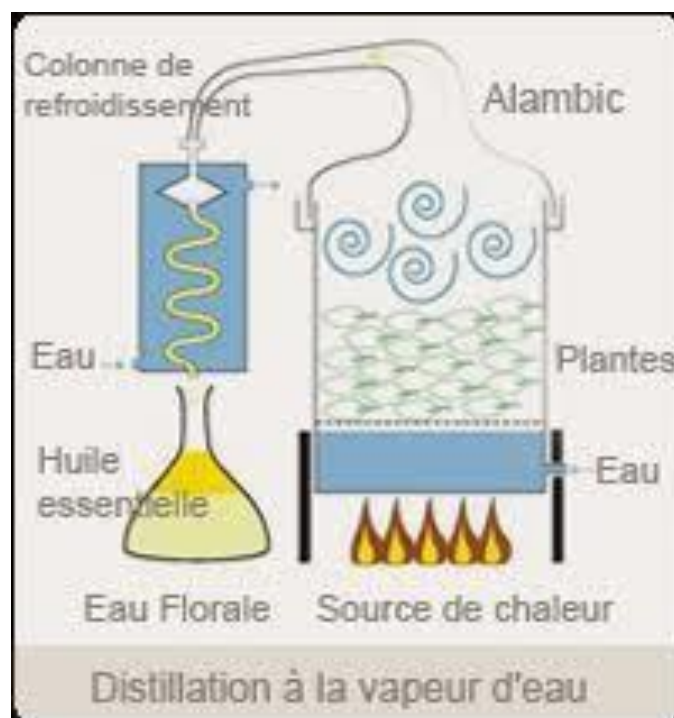
**Figure 21.** Dispositif d'extraction par hydro-distillation (Originale, 2025)

## 5.2 Extraction à froid

L'extraction à froid, aussi appelée expression à froid, est une méthode principalement utilisée pour obtenir les huiles essentielles des agrumes (comme l'orange, le citron, la bergamote). Elle consiste à extraire mécaniquement l'huile contenue dans les poches glandulaires de l'écorce du fruit, sans utilisation de chaleur ni de solvant. Le procédé peut être manuel ou industriel (par pression, abrasion ou centrifugation), ce qui permet de préserver les composés volatils sensibles à la chaleur. Le mélange obtenu (huile + eau + résidus) est ensuite décanté pour récupérer l'huile essentielle. Cette méthode est simple, écologique, et permet d'obtenir des huiles très proches de l'arôme naturel du fruit (Nzeyumwami, 2004).

## 5.3 Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

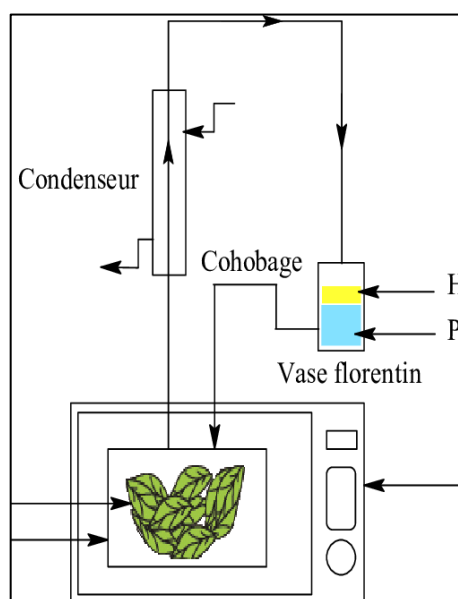
L'extraction par entraînement à la vapeur d'eau est l'une des méthodes officielles (reconnue, validée et approuvée par des instances réglementaires ou normatives), pour l'obtention des HEs. Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. Les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées dans l'essencier, avant d'être séparées en une phase aqueuse et une phase organique (HE) (Fig. 22) (Boukhatem et *al.*, 2019).



**Figure 22.** Schéma du dispositif d'extraction des HEs par entraînement à la vapeur d'eau (Lucchesi, 2010).

#### 5.4 Extraction sans solvant assistée par micro-ondes

L'extraction sans solvant assistée par microondes SFME (Solvent Free Microwave Extraction), a été élaborée et testée par Lucchesi et ses collaborateurs (Chemat *et al.*, 2004). Elle consiste à mettre la matière végétale fraîche dans un réacteur se trouvant dans un four à microondes, sans solvant ni eau. Les molécules d'eau naturellement contenues dans la matrice végétale absorbent les microondes ce qui provoque leur échauffement et ainsi leur évaporation. La pression régnant dans l'enceinte contenant la matière végétale provoque l'éclatement de la structure cellulaire de la plante, ce qui permet la libération de l'HE qui va être entraînée par la vapeur produite. Le mélange est ensuite condensé à l'extérieur du four à micro-ondes. La phase aqueuse est réinjectée afin de garder un taux d'humidité constant dans le réacteur et assurer une meilleure efficacité (Fig. 23) (Lucchesi, 2005).



**Figure 23.** Dispositif de la méthode d'extraction sans solvant assistée par microondes (SFME) (Lucchesi, 2005).

## 6. Conservation des huiles essentielles

Avec le temps et sous l'action de différents facteurs tels que l'air ou la lumière, des réactions chimiques (oxydation, photo-isomérisation) peuvent altérer la qualité de l'HE et ses propriétés. C'est pour cela qu'il est primordial de respecter certaines règles de conservation, afin de minimiser la survenue de ces réactions (Barros, 2019).

Les HEs ne devraient pas être conditionnées dans des flacons transparents, elles sont sensibles à la lumière, à l'air et à la température et doivent, par conséquent, être conservées dans des récipients protecteurs (Teuscher et *al.*, 2005). Les HE sont conservés dans des flacons en verre sombre et entreposés à l'abri de la chaleur, la lumière et l'humidité (Toninoli et Meglioli, 2013).

Après usage, les flacons doivent être fermés hermétiquement, car les HEs sont volatiles et s'évaporent dans l'atmosphère et perdent progressivement leurs propriétés et leur arôme. Les flacons doivent être également stockés en position verticale, car en position horizontale il y a un risque que le bouchon soit attaqué par l'huile à cause de l'action corrosive des HEs sur le plastique (Ferkous, 2016). Elles doivent être conservées au réfrigérateur à la température de 4°C environ pour éviter la thermolyse des monoterpènes qui sont en majorité thermosensibles (Nebie, 2023). Si ces conditions sont respectées la durée de conservation des HEs est de 5 ans. Cependant celles du genre *Citrus* étant un peu moins stables, elles ont une durée de conservation de l'ordre de 3 ans (Barros, 2019).

---

# *Deuxième partie*

*Expérimentation*

---

---

# ***Chapitre IV***

*Matériel et méthodes*

---

Notre travail dont l'objectif est de déterminer l'activité insecticide par inhalation et par répulsion de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* sur les adultes de *Tribolium confusum*, a été effectué au niveau du laboratoire Production, Sauvegarde des Espèces Menacées et des Récoltes, Influences des Variations Climatiques, de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

## 1. Matériel utilisé

### 1.1 Matériel et produits de laboratoire

Durant l'étude expérimentale, nous avons utilisé le matériel ci-dessous illustré dans la figure 1 :

- Des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre ;
- Des flacons en verre (capacité de 150 ml) et du papier filtre pour le test par inhalation ;
- Une balance électronique, une étuve;
- Une loupe binoculaire pour observer les différents stades de *T. confusum*;
- Un microscope optique ;
- Une micropipette de 2 à 20 $\mu$ l de volume pour le prélèvement de l'huile essentielle;
- Autres accessoires : étiquettes, pinceaux pour porter l'insecte, tamis.



Microscope optique



Balance



Étuve



Tamis, pinceaux,...

**Figure 24.** Matériel utilisé au laboratoire (Originale, 2025)

Nous avons également utilisé les produits suivants :

- Acétone pour le test par répulsion ;

- Eau distillée, eau de javel, rouge Congo, vert d'Iode, acide acétique pour la double coloration (Fig. 25).



**Figure 25.** Produits utilisés au laboratoire pour la double coloration (Originale, 2025).

## 1.2. Matériel biologique

### 1.2.1. Insectes

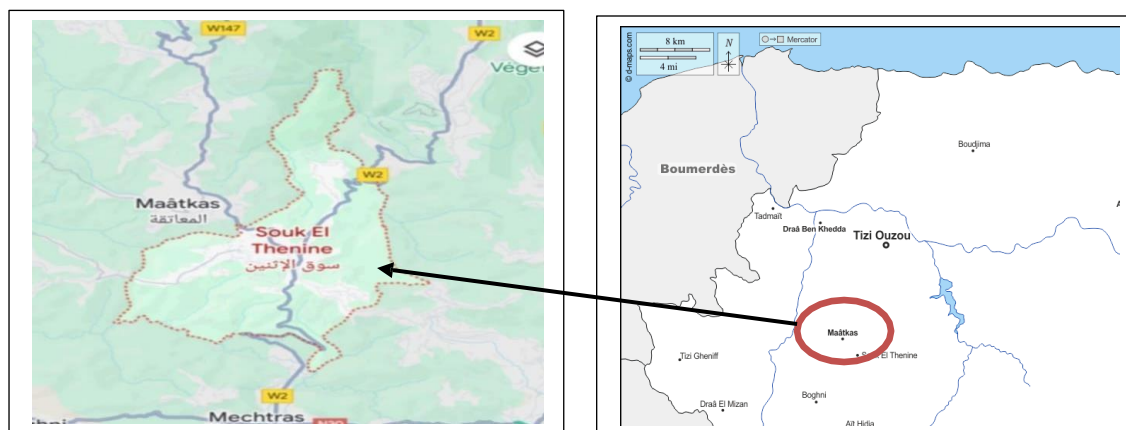
L'insecte utilisé durant notre expérimentation est le tribolium brun de la farine *Tribolium confusum* obtenu à partir d'un élevage de masse réalisé au laboratoire sur de la semoule. Les individus utilisés pour les différents tests sont des adultes âgés de 0 à 7 jours.

### 1.2.2. Substrat utilisé

Le substrat utilisé pour nos différents tests est la semoule moyenne de blé dur qui provient du marché local. Après stérilisation dans l'étuve pendant 1 heure à 60°C pour éliminer toute éventuelle infestation préalable, la semoule est conservée au réfrigérateur pendant toute la période expérimentale.

### 1.2.3. Espèce végétale

L'HE utilisée est extraite à partir du pistachier lentisque. Les feuilles et les tiges de *Pistacia lentiscus* ont été prélevées en Novembre 2024 au niveau de la commune de Souk-El-Tenine, dans la daïra de Maatkas située à 25 km de la wilaya de Tizi-Ouzou (Fig. 26). Les échantillons collectés sont séchés à l'ombre pendant 4 à 5 jours afin d'éviter l'altération des principes actifs par la lumière.



**Figure 26.** Localisation du site d'échantillonnage Souk El Tenine au niveau de la wilaya de Tizi Ouzou (Google, 2025)

#### 1.2.4. Systématique

L'Arbre à Mastic ou Lentisque est un arbuste dioïque qui appartient à l'ordre des Sapindales, à la famille des Anacardiaceae et au genre *Pistacia*.

D'après Cronquist (1981), *P. lentiscus* appartient à :

|              |                                    |
|--------------|------------------------------------|
| Règne :      | Plantae                            |
| Sous règne : | Tracheobionta                      |
| Classe :     | Magnoliopsida                      |
| Ordre :      | Sapindales                         |
| Famille :    | Anacardiaceae                      |
| Gerne :      | <i>Pistacia</i>                    |
| Espèce :     | <i>Pistacia lentiscus</i> L., 1753 |

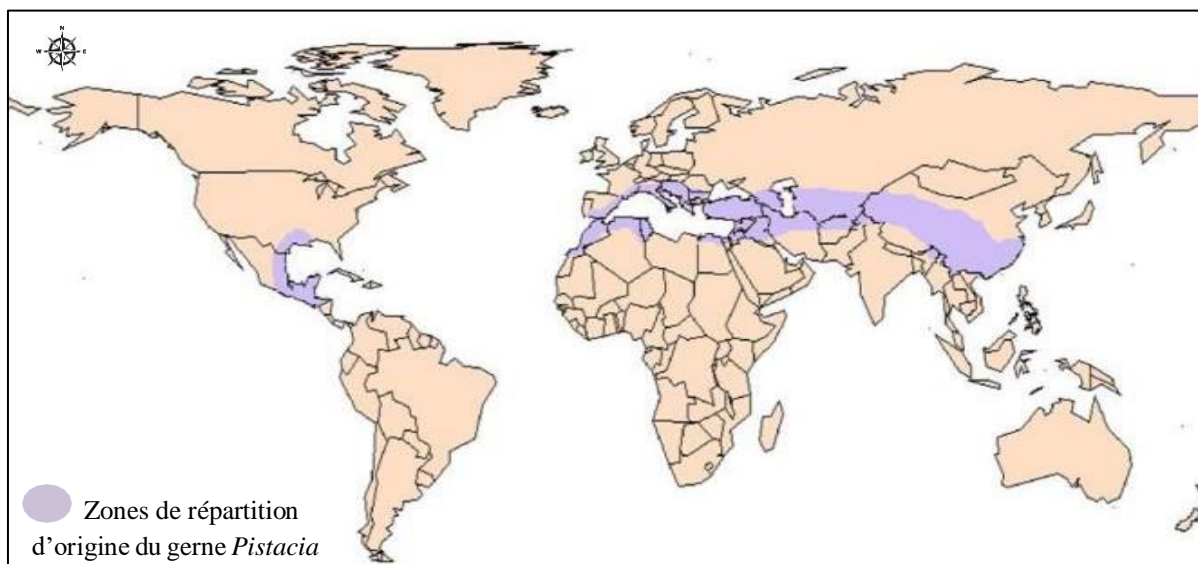
Dans la région de Kabylie, on désigne *P. lentiscus* par plusieurs termes dialectiques : amadagh, imidek ou bien tidekt.

#### 1.2.5. Répartition géographique

Le genre *Pisacia* est rencontré surtout dans les régions tropicales à subtropicales et dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord (Fig. 27) (Djedaia, 2017).

D'après Aït yousef (2006), l'espèce *P. lentiscus* est présente dans les pays du Maghreb. Elle est signalée comme très commune sur la frange littorale où elle constitue une formation caractéristique avec la variété oléastre d'*Olea europaea* L. (olivier sauvage). Elle est également présente dans les formations de l'espèce *Quercus ilex* L. (chêne vert), par ailleurs elle forme souvent des maquis.

C'est un arbrisseau très commun dans le Tell algérien, les lieux boisés, le maquis ; il préfère les sols siliceux (Delille, 2007).



**Figure 27.** Aire de répartition géographique du genre *Pistacia* (Belfadel, 2009)

#### 1.2.6. Description botanique du *P. lentiscus*

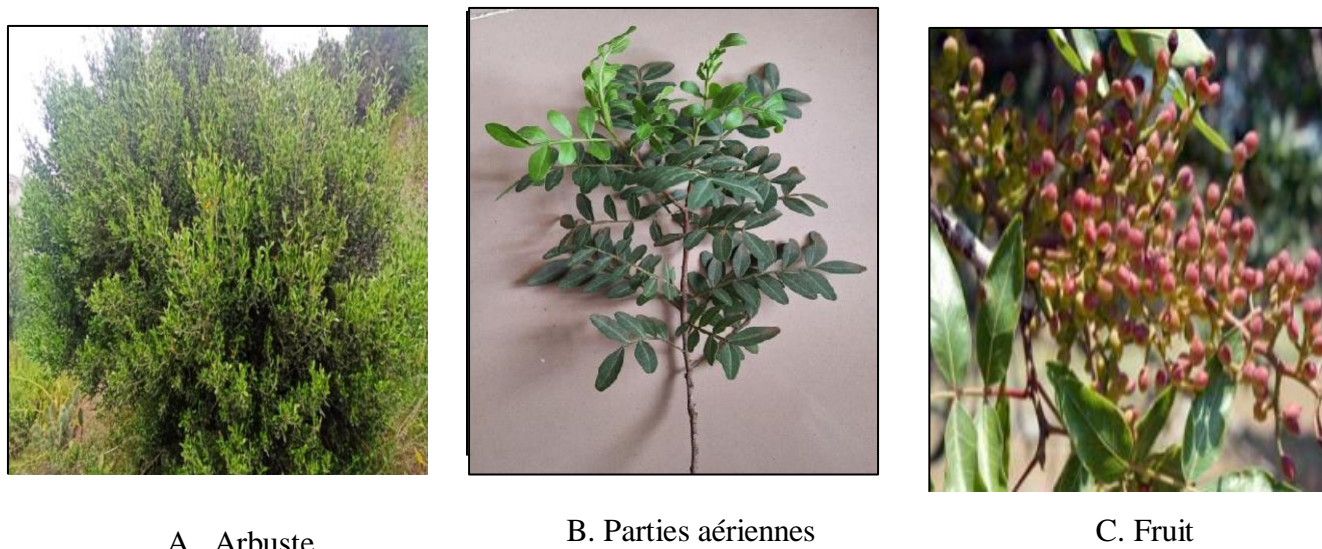
*Pistacia lentiscus* est un arbrisseau vivace de un à trois mètres de haut, dioïque, thermophile, à odeur résineuse très prononcée (Fig. 28A) (Saïdi *et al.*, 2023).

Selon Aït youssef (2006), la feuille, à pétiole étroitement ailé, est persistante, coriace, luisante, longue de 2 à 4 cm sur 8 à 15 mm de large, de couleur vert sombre brillant sur sa face supérieure. Elle est composée d'un nombre pair de folioles (4 à 5 paires), ces folioles sont glabres et ovales elliptiques ou lancéolées ; leurs deux extrémités sont obtuses (Fig. 28B).

L'inflorescence est en grappes spiciformes, rameuses, denses et courtes ; leur longueur est égale au plus à la longueur d'une foliole ; elles sont courtement pédicellées et comportent des fleurs petites, mâles ou femelles.

La fleur est unisexuée et sans pétales ; elle est verte ou rougeâtre. La fleur mâle comporte 5 étamines. La fleur femelle comporte un ovaire à 3 carpelles concrescents (soudés) et uniovulés (un ovule par carpelle) (Djedaia, 2017).

Le fruit, en octobre et novembre, est une drupe globuleuse de la grosseur d'un pois, d'abord rouge puis noir à maturité (Fig. 28C). La feuille et le fruit dégagent une odeur de térébenthine forte avec une saveur amère et camphrée (Delille, 2007).



**Figure 28.** Description botanique du *Pistacia lentiscus* (Originale, 2025)

### 1.2.7. Domaine d'utilisation du *P. lentiscus*

Le lentisque présente de nombreux bienfaits, il est utilisé pour la résine qu'il produit dans ses tiges, ses feuilles, son bois et ses fruits à des fins alimentaires, domestiques ou médicinales.

En médecine, le mastic est utilisé comme anti-diarrhéique pour les enfants, antiscorbutique ainsi que sous forme de cataplasme ou pour faire des fumigations ; il est également utilisé dans le traitement dentaire pour l'occlusion des dents cariées (Djedaia, 2017). L'écorce est employée, au Maroc sous forme de décocté ou réduite en poudre pour traiter les maladies digestives (Aït youssef, 2006). Le même auteur ajoute que les feuilles sont utilisées en infusion pour atténuer les odeurs désagréables de l'haleine et de la transpiration. Le lentisque présente des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, cyto-protectrices et anti-cancéreuses (Benguedouar et *al.*, 2022).

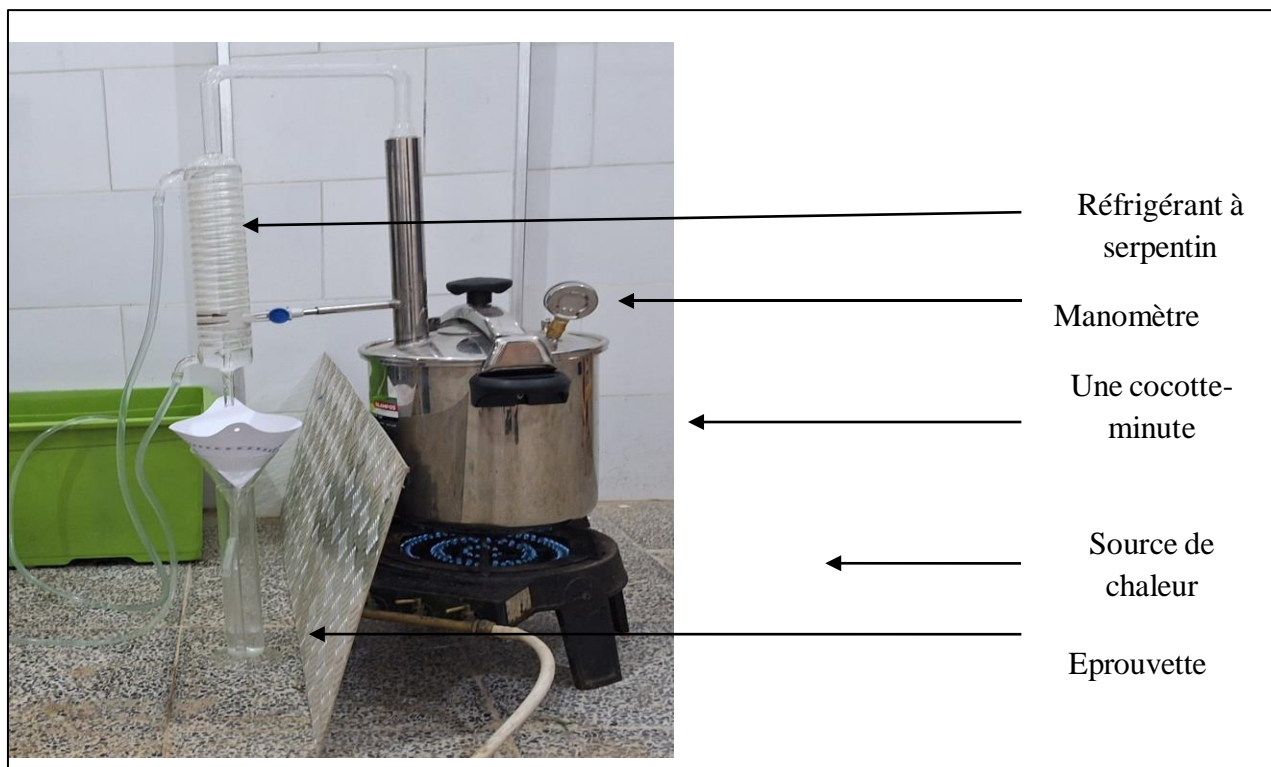
Ces auteurs ajoutent que le bois du pistachier lentisque, particulièrement dur, est employé en ébénisterie, en menuiserie et comme bois de chauffage.

### 1.2.7. Matériel d'extraction de l'HE du lentisque pistachier

Afin d'extraire l'HE de *P. lentiscus*, nous avons utilisé le matériel appartenant au laboratoire de la société SOSABIO qui se situe à la commune de Timizart au village de Souk El Had, wilaya de Tizi Ouzou. Le matériel est illustré dans la figure 29 :

- Un réfrigérant à serpentin est utilisé pour refroidir et condenser la vapeur (hydrolat + HE) ;

- Un bac à eau et de la glace pour refroidir le serpentin et séparer la phase liquide (hydrolat) et huileuse (HE) ;
- Un manomètre qui indique la pression de l'eau dans la cocotte-minute ;
- Du papier filtre pour se défaire des éventuels résidus ;
- Une ampoule à décanter utilisée pour séparer, par décantation, deux liquides non-miscibles (hydrolat-huile essentielle).



**Figure 29.** Matériels d'extraction de l'huile essentielle par hydro-distillation (Originale, 2025)

## 2. Méthodes

### 2.1 Élevage de masse

Les spécimens de *Tribolium confusum* employés sont issus d'un élevage de masse mené au laboratoire sur de la semoule, dans des bocaux en verre contenant 500g de semoule et munis d'un morceau de tulle pour assurer l'aération. Les bocaux sont maintenus dans une étuve à une température de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  et une humidité relative de  $50 \pm 5\%$  jusqu'à l'apparition des nouveaux individus (émergences des adultes) (Fig. 30). Le but de cet élevage est d'obtenir une masse suffisante d'individus âgés de 0 à 7 jours nécessaires pour les différents tests.



**Figure 30.** Élevage de masse de *Tribolium confusum* (Originale, 2025).

## 2.2 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Le protocole d'extraction utilisé au cours de notre expérimentation est l'hydro- distillation menée conformément au protocole ci-après :

Tout d'abord, une quantité déterminée de masse végétale séchée est introduite dans une grille, en rajoutant de l'eau de sorte à couvrir toute la quantité de la masse végétale. Le mélange est porté à ébullition à l'aide d'une plaque chauffante; ainsi les vapeurs chargées d'huile essentielle passent à travers le tube vertical puis dans le serpentin de refroidissement où aura lieu la condensation. Les gouttelettes ainsi produites s'accumulent dans le tube rempli auparavant de l'eau, l'huile essentielle de faible densité par rapport à l'eau, sur nage à la surface de cette dernière. Cette opération dure 2 Heures à partir de début d'ébullition.

Après décantation, l'HE ainsi obtenue est récupérée et conservée dans des flacons en verres opaques bien scellés à température basse pour la préserver de l'air et de la lumière.

Le rendement en HE (RHE), exprimé en pourcentage (%), est défini comme la proportion entre la masse d'HE obtenue (MEH) en grammes (g) et la masse de matière végétale sèche (MS) en grammes (g) selon l'équation suivant :

$$RHE = \frac{MEH}{MS} \times 100$$

Où :

RHE : Rendement en huile essentielle en % ;

MEH: Masse d'huile essentielle en gramme ;

MS : Masse de la plante sèche en gramme.

### 2.3. Application des traitements biologiques

Pour déterminer l'efficacité et évaluer l'effet insecticide *in vitro* de l'HE de *Pistacia lentiscus*, nous avons réalisé deux tests :

- Test d'inhalation.
- Test de répulsion.

#### 2.3.1. Test d'inhalation

Cette expérimentation vise à mesurer l'effet biocide de l'HE du pistachier lentisque sur les adultes de *T. confusum* par inhalation.

Vingt (20) adultes de *Tribolium confusum* âgés de 0 à 7j sont placés dans des bocaux en verre hermétiques d'une contenance de 130 ml, remplis d'un gramme de semoule (Fig. 31).

A l'aide d'une micropipette, des doses de 8µl, 16µl, 24µl et 32µl de l'HE sont parsemées sur des disques de papier filtre de 2cm de diamètre, puis ils sont suspendus par l'intermédiaire d'un fil fixé à la face interne du couvercle (Fig. 31).

Simultanément, un lot témoin (0µl) qui n'a pas subi de traitement à base de l'HE est mis en place. Quatre répétitions sont effectuées pour chaque dose et pour le témoin.

L'ensemble des bocaux est disposé dans une étuve obscure à une température de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  et une humidité relative de  $50 \pm 5\%$ .

Le comptage des individus morts est réalisé après une durée d'exposition de 24h, 48h, 72h et 96h pour chaque dose et chaque répétition.



**Figure 31.** Test par inhalation par l'HE de *P. lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

### 2.3.2. Estimation de la concentration létale CL50

La CL50 est une méthode d'évaluation de la toxicité à court terme (toxicité aiguë) d'une substance. Elle correspond à la quantité de la substance, dans notre cas l'HE, administrée en une seule application, qui entraîne la mort de 50 % des insectes soumis à l'expérimentation. Elle est calculée à partir de la droite de régression des probits correspondants au pourcentage de la mortalité corrigée en fonction des logarithmes des concentrations appliquées.

La mortalité corrigée (Mc) est calculée en se basant sur les taux de mortalités observés (Mo), tout en prenant en considération la mortalité naturelle du témoin (Mt), en utilisant la règle d'Abbott (1925) :

$$Mc\% = \frac{(Mo - Mt)}{(100 - Mt)} \times 100$$

**Mo** : Mortalité observée.

**Mt** : Mortalité observée dans le lot témoin.

### 2.3.3. Estimation du temps létale TL 50

Le temps létal 50 (TL50) représente la durée requise pour que 50% des insectes soumis à l'expérience meurent à la suite du traitement avec l'HE de *P. lentiscus*. Il est déterminé à partir de la droite de régression des probits ; correspondant aux pourcentages de la mortalité corrigée en fonction des logarithmes du temps de traitement en se référant à la formule d'Abbott (1925) et la table des probits.

### 2.3.4. Test par répulsion

Ce test vise à examiner l'effet répulsif que produit l'HE sur les individus adultes de *T. confusum*. Cette expérience est réalisée en utilisant la technique de la zone préférentielle sur papier filtre.

Pour mener à bien cette expérience, nous avons sectionné des disques de papier filtre de 9 cm de diamètre en deux parties identiques. Une des parties a été traitée avec différentes doses (8, 16, 24 et 32 µl) de l'HE diluée dans 0,2 ml d'acétone, tandis que l'autre partie qui sert de témoin a été traitée uniquement avec 0,2 ml d'acétone.

Après évaporation du solvant, les deux parties, traitées et non traitées de chaque boîte, ont été jointes à l'aide d'un ruban adhésif et disposées dans une boîte de Pétri ayant un diamètre de 9 cm et une hauteur de 1,5 cm.

Par la suite, vingt adultes de *T. confusum* ont été placés au centre de la boîte de Pétri. Chaque dose a été répétée quatre fois (Fig. 32).

Le dénombrement d'individus présents sur les 2 parties du disque est effectué après une demi-heure (30min) du traitement.



**Figure 32.** Test par répulsion par l'HE de *P. lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

Le pourcentage de répulsion (PR), induit par l'HE sur les adultes de *T. confusum*, est déterminé en utilisant la formule de Mc Donald et *al.*(1970) :

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

**NT**= nombre d'individus présents dans la partie traitée uniquement avec l'acétone (Témoin)

**TR**= nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'huile essentielle-acétone.

Le taux moyen de répulsion obtenu pour l'HE est attribué selon la classification de Mc Donald et *al.* (1970), à l'une des différentes classes variant de 0 à V, qui sont décrites dans le tableau ci-dessous (Tableau 4) :

**Tableau 4 :** Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et *al.*(1970).

| Classe     | Intervalle de répulsion | Propriétés                |
|------------|-------------------------|---------------------------|
| Classe 0   | $PR \leq 0,1\%$         | Très faiblement répulsive |
| Classe I   | $0,1\% < PR \leq 20$    | Faiblement répulsive      |
| Classe II  | $20\% < PR \leq 40\%$   | Modérément répulsive      |
| Classe III | $40\% < PR \leq 60\%$   | Moyennement répulsive     |
| Classe IV  | $60\% < PR \leq 80\%$   | Répulsive                 |
| Classe V   | $80\% < PR \leq 100\%$  | Très répulsive            |

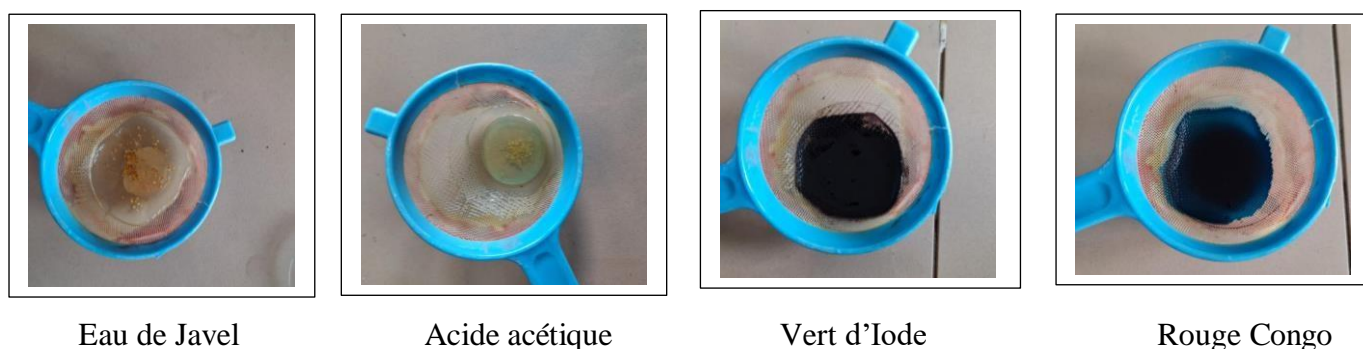
## 2.4. Étude histologique de *P. lentiscus*

Pour l'observation des structures sécrétrices de l'huile essentielle, des coupes transversales très fines de la feuille et de la tige de *P. lentiscus* ont été réalisées à main levée à l'aide d'une lame de rasoir puis elles ont été colorées par la technique de la double coloration (vert d'Iode, rouge Congo). Cette technique a permis de localiser les sites sécréteurs des essences végétales.

### 2.4.1. Protocole de coloration des coupes

La technique utilisée dans cette étude est celle de la double coloration (Deyson, 1954) (Fig. 33) qui consiste :

- A placer les coupes transversales dans l'eau de javel pendant 30 minutes afin de les éclaircir et de vider les cellules de leur contenu cytoplasmique puis les rincer abondamment à l'eau;
- Passer les coupes dans l'acide acétique dilué a 50% pendant 1 à 2 min pour éliminer l'excès d'eau de Javel et aider à fixer les colorants;
- Après cette étape et sans rincer à l'eau, les coupes sont placées dans du vert d'Iode pendant 4 à 5min;
- Une fois rincées abondamment à l'eau, les coupes sont placées dans du rouge Congo pendant 5 à 10 mn, puis rincées à l'eau et sont gardées dans de l'eau en attendant l'observation.



**Figure 33.** Protocole expérimental de la double coloration (Originale, 2025)

### 2.4.2. Montage et observation

Les coupes les plus fines sont sélectionnées puis placées entre lame et lamelle en ajoutant une goutte d'eau pour des observations au microscope optique (Optika) aux grossissements  $\times 100$  et  $\times 400$

### 3. Analyses statistiques

Les résultats obtenus pour les deux tests sont exprimés en pourcentage  $\pm$  ESM et représentés sous forme d'histogrammes en utilisant le logiciel Excel.

Après vérification de la normalité, les données des tests par fumigation révèlent qu'elles ne sont pas distribuées selon la loi normale, alors elles sont soumises au test non paramétrique de Kruskal-Wallis, au seuil de 5%, suivi d'un test post-hoc pour déterminer les groupes homogènes. Pour le test par répulsion, la normalité est vérifiée ; alors les données sont soumises au test paramétrique de l'analyse de la variance (ANOVA) à deux critères de classification, en utilisant le logiciel R version 4.5.0.

Si la probabilité :

$P > 0.05$  : Les variables montrent une différence non significative;

$P \leq 0.05$  : Les variables montrent une différence significative;

$P \leq 0.01$  : Les variables montrent une différence hautement significative;

$P \leq 0.001$  : Les variables montrent une différence très hautement significative.

Le calcul de la CL50 et TL50 sont réalisés à l'aide des équations de la droite de régression sur Excel.

---

# *Chapitre v*

*Résultats et discussion*

---

## 1. Résultats

### 1.1. Rendement en huile essentielle

L'huile essentielle utilisée dans les différentes expériences a été extraite des feuilles et des tiges du *P. lentiscus* par hydro-distillation. Elle est de couleur jaune pâle, d'aspect liquide, caractérisée par une bonne fluidité et offre une fragrance aromatique (Fig. 34).



**Figure 34.** L'huile essentielle extraite des parties aériennes de *P. lentiscus* par hydro-distillation (Originale, 2025).

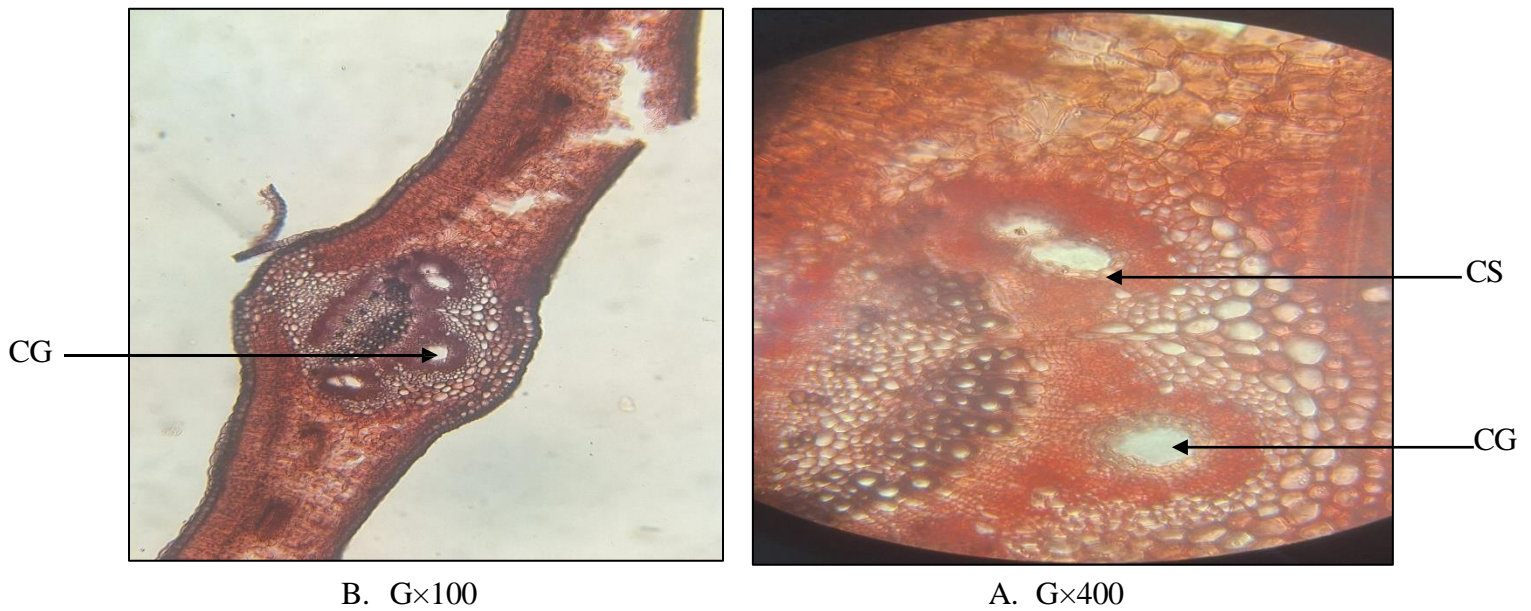
Les résultats du tableau 6 indiquent que le rendement en HE des parties aériennes de *P. lentiscus* récoltées au mois de novembre 2024 dans la région de Maatkas est de l'ordre de 0,05%.

**Tableau 5 :** Rendement en HE du *P. lentiscus* extrait par hydro-distillation.

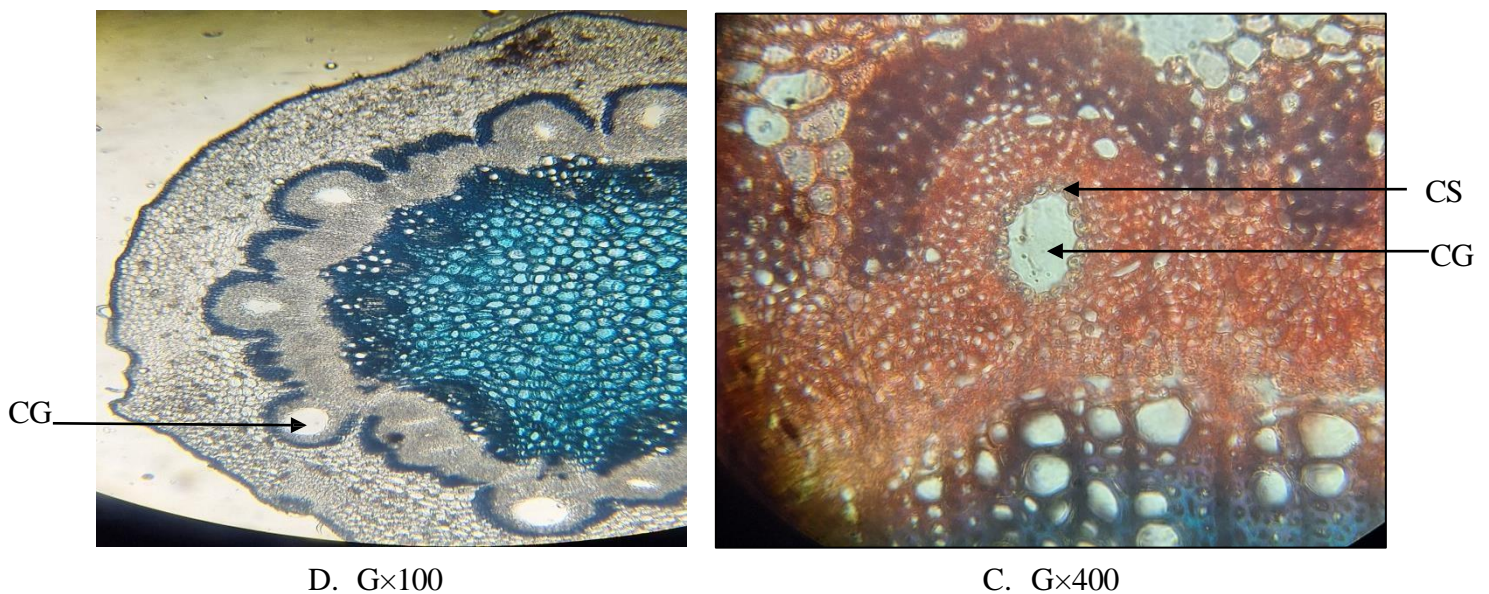
| Masse de la matière végétale utilisée en gr | Masse d'HE en gr | Rendement en HE % |
|---|------------------|-------------------|
| 10 000                                      | 5                | 0,05              |

### 1.2. Localisation des structures sécrétrices de l'HE du *P. lentiscus*

L'étude histologique a permis d'identifier les structures sécrétrices des essences végétales de *P. lentiscus* qui sont illustrées dans les Fig. 35 et 36.



**Figure 35.** Coupe transversale d'une feuille de *P. lentiscus* observé au microscope optique (Originale, 2025). CG : canal glandulaire, CS : cellules sécrétrices



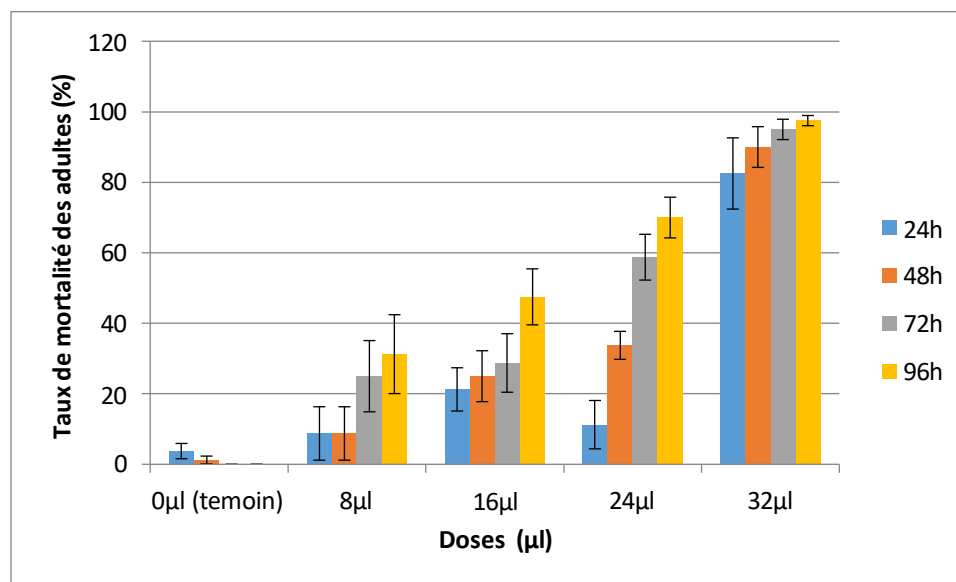
**Figure 36.** Coupe transversale d'une tige de *P. lentiscus* observé au microscope optique (Originale, 2025) CG : canal glandulaire, CS : cellules sécrétrices

L'observation morphologique des coupes des feuilles et des tiges au microscope optique a révélé la présence de canaux glandulaires lysigènes qui apparaissent comme des cavités de diamètre moyen avec une forme sphérique entourées d'une assise régulière de cellules sécrétrices.

### 1.3. Évaluation de la toxicité de l'HE de *P. lentiscus* sur *T. confusum*

#### 1.3.1. Évaluation de la toxicité par inhalation

Les résultats obtenus pour l'activité insecticide de l'HE de *P. lentiscus* sur les adultes de *T. confusum* soumis au test par inhalation sont exprimés en pourcentage de mortalité et illustrés dans la figure ci-dessous.



**Figure 37.** Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne  $\pm$ ESM) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'HE de *P. lentiscus* en fonction des doses et de la durée

Les données matérialisées dans le graphique indiquent que la mortalité des adultes de *T. confusum* augmente avec la dose de l'HE de *P. lentiscus* administrée par inhalation et la durée d'exposition. Le taux moyen de mortalité des insectes dans le lot témoin qui n'a subi aucun traitement et qui représente la mortalité naturelle, est pratiquement nul.

A la plus forte dose 32μl, la mortalité des adultes atteint 82,5% après 24h d'exposition à l'HE. Au contraire, la plus faible dose (8μl) a provoqué une faible mortalité vis-à-vis des adultes de *T. confusum* dont le taux de mortalité ne dépasse pas 31,25% après 96h d'exposition.

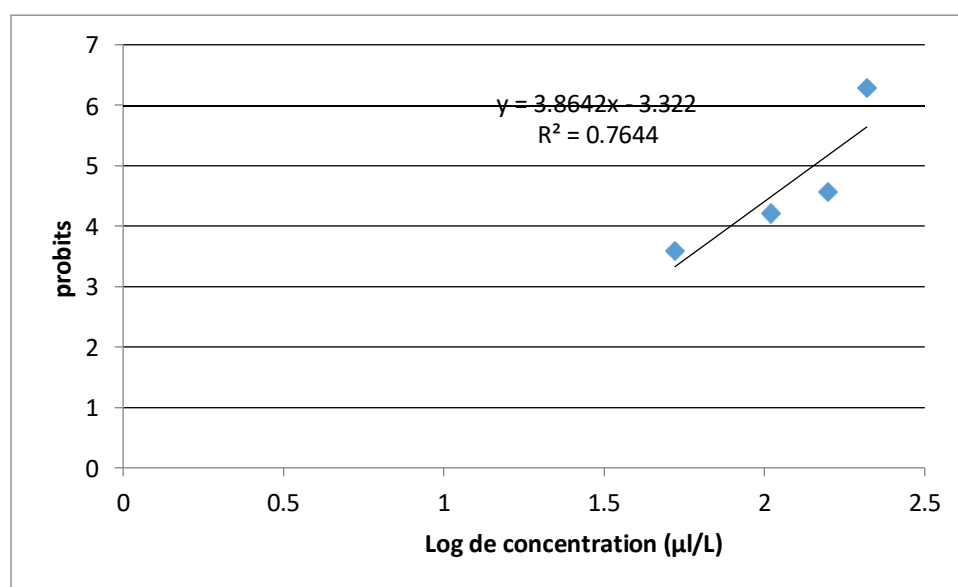
L'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'HE de *P. lentiscus* par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*, indique une différence significative pour le facteur dose de l'HE avec  $P = 3,26 \times 10^{-11}$ . Le même test montre une différence non significative pour le facteur temps d'exposition sur la mortalité des adultes ( $P = 0.24$ ) (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour les facteurs dose et temps d'exposition à l'HE de *P. lentiscus* par inhalation sur la mortalité des adultes de *T. confusum*.

|                      | $X^2$  | $p$                    | df |
|----------------------|--------|------------------------|----|
| <b>Concentration</b> | 54,989 | $3,26 \times 10^{-11}$ | 4  |
| <b>Temps</b>         | 4,199  | 0,24                   | 3  |

### 1.3.2. Estimation de la concentration létale CL50

L'estimation de la CL50 de l'HE de *P. lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum* par inhalation est réalisée après une durée d'exposition de 48h, elle est représentée dans la figure ci-dessous.



**Figure 38.** Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de *T. confusum* en fonction du logarithme des doses soumis à l'action de l'HE de *P. lentiscus*

La détermination de la concentration létale entraînant la mort de 50% des adultes de *T. confusum* a été réalisée en se basant sur la droite de régression établie à partir des logarithmes décimaux des doses et des moyennes de mortalités corrigées des adultes (probits). La valeur de X lorsque Y= 5 correspond à la concentration recherchée. Le calcul de la CL50 a donné une valeur

de 141,25 µl/L avec une forte corrélation ( $R^2 = 0,764$ ) entre la mortalité corrigée et le Log des doses (Tableau 7).

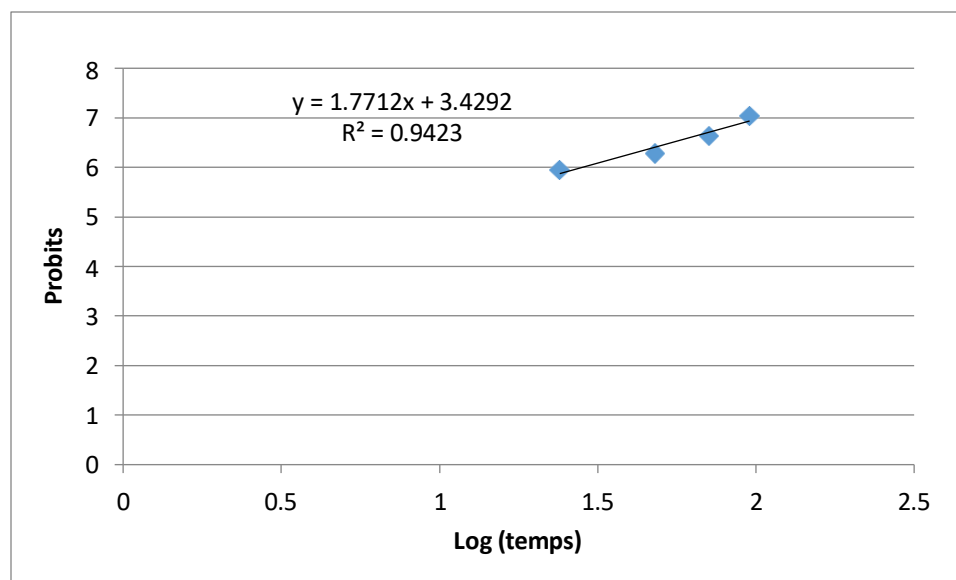
**Tableau 7** : Résultats de la CL50 de l'HE de *P. lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum* traités par inhalation après une durée d'exposition de 48h.

|           | Équation             | $R^2$ | CL50        |
|-----------|----------------------|-------|-------------|
| Après 48h | $Y = 3,864x - 3,322$ | 0,764 | 141,25 µl/L |

### 1.3.3. Estimation du temps léthal TL50

Le temps léthal 50 (TL50), correspond au temps nécessaire pour que 50% des adultes de *T. confusum* exposés par inhalation à l'HE de *P. lentiscus* meurent.

Afin d'évaluer le TL50 de l'action de l'HE de *P. lentiscus* sur les adultes de *T. confusum* par inhalation à la dose 32µl, une droite de régression a été tracée en fonction des logarithmes des durée d'exposition.



**Figure 39.** Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de *T. confusum* en fonction du logarithme des durées d'exposition soumis à l'action de l'HE de *P. lentiscus*.

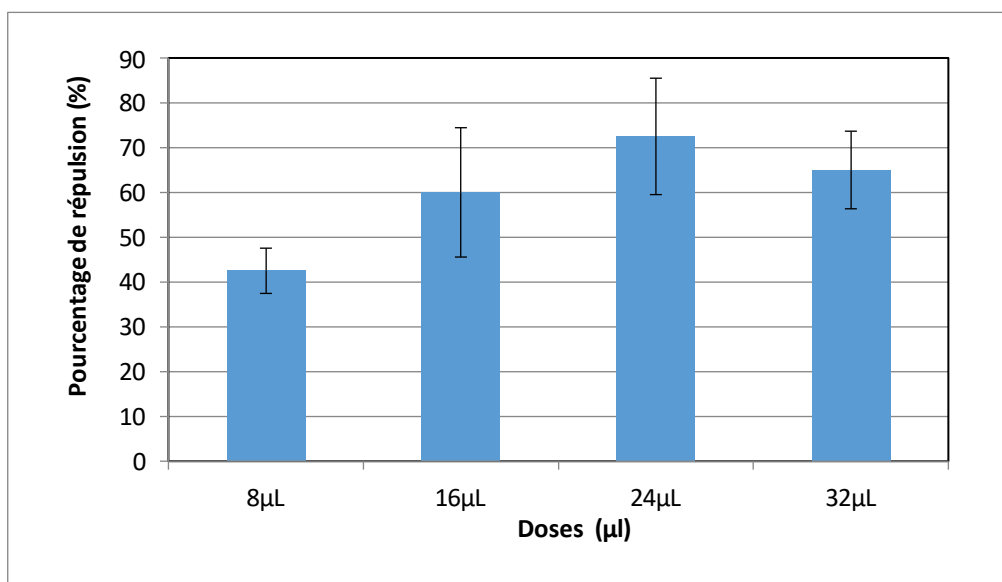
Le tableau ci-dessous montre que le temps léthal pour que 50% des adultes de *T. confusum* meurent, à la dose de 32µl, est de 7.76 h.

**Tableau 8 :** Résultats du TL50 à la dose 32 $\mu$ l de l'HE de *P. lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum* traités par inhalation.

|                 | Equation        | R <sup>2</sup> | TL50   |
|-----------------|-----------------|----------------|--------|
| Dose 32 $\mu$ l | Y=1,771x +3,429 | 0,942          | 7.76 h |

### 1.3.4. Evaluation de la toxicité par répulsion

Nous avons évalué l'effet répulsif de l'HE de *P. lentiscus* par la méthode de la zone préférentielle ; les résultats sont illustrés dans la figure 40.



**Figure 40.** Taux de répulsion(en %) (Moyenne  $\pm$ ESM) de l'HE *P. lentiscus* à différentes doses sur les adultes de *T. confusum*

L'huile essentielle de *P. lentiscus* a montré une forte action répulsive envers les adultes de *T. confusum*. Cette HE a exercé un effet répulsif même à la plus faible dose (8 $\mu$ l). L'effet le plus considérable est enregistré à la dose 24 $\mu$ l avec un taux moyen de répulsion de 72,5 %. L'activité répulsive de l'HE est dépendante de la dose; elle s'accroît progressivement avec l'augmentation de la dose de l'HE, puis elle baisse légèrement à la plus forte dose (Tableau 9).

Le calcul du taux moyen de répulsion de l'HE de *P. lentiscus* selon la méthode de Mc Donald et al. (1970), montre qu'il est égal à 60%, cela nous permet de constater que cette HE se classe dans la classe IV donc elle est répulsive.

L'analyse de la variance de l'effet dose de l'HE par répulsion sur *T. confusum* indique qu'il n'y a pas de différence significative pour ce facteur ( $X^2= 650, p=1,047, df=3$ ).

**Tableau 9 :** Nombre moyen des adultes de *T. confusum* recensé dans les parties traitées et non traitées et le pourcentage de répulsion de l'HE de *P. lentiscus*.

| Moyenne d'individus présents dans |       | Partie traitée avec l'HE de <i>P. lentiscus</i> + acétone | Partie non traitée avec l'HE uniquement l'acétone | Pourcentage de répulsion |
|-----------------------------------|-------|---|---|--------------------------|
| Dose                              | 8µl   | 5,75  | 14,25   | 42,5%                    |
|                                   | 16 µl | 4   | 16  | 60%                      |
|                                   | 24 µl | 2,75  | 17,25   | 72,5%                    |
|                                   | 32 µl | 3,5   | 16,5  | 65%                      |
| Taux moyen de répulsion           |       | 60%   |   |                          |
| Classe                            |       | Classe IV   |   |                          |
| Propriété                         |       | Répulsive   |   |                          |

## 2. Discussion

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la recherche de solutions alternatives visant à minimiser les pertes causées par des insectes nuisibles qui affectent les denrées stockées, tels que le tribolium brun de la farine *T. confusum* et ce, en valorisant une plante aromatique locale *P. lentiscus* par l'utilisation de son huile essentielle comme moyen de biocontrôle du ravageur.

En règle générale, le rendement en huile essentielle est très faible, car les HEs sont présentes en petite quantité dans la plantes. Il varie largement selon l'espèce végétale et la partie de la plantes utilisée (feuilles, tiges, fleurs, racines, écorce) (Castola et *al.*, 2000 ; Benhammou et *al.*, 2007) et en fonction des conditions de cultures telles que l'origine géographique, la saison, le climat, la nature du sol et l'altitude (Haloui et *al.*, 2015). De plus, les méthodes de séchage et de stockage du matériel végétal avant extraction peuvent impacter le rendement, tout comme la technique d'extraction employée (hydro-distillation, entraînement à la vapeur, *etc.*) (Ayub et *al.*, 2024). Par conséquent, il est crucial d'optimiser ces divers éléments afin d'augmenter à la fois la production et la qualité des huiles essentielles.

Le rendement de l'HE de *P. lentiscus* obtenu dans notre étude (0,05 %) est relativement faible comparé à d'autres travaux (Amara et *al.*, 2019 ; Haloui et *al.*, 2015). Néanmoins, cette valeur est proche de celle obtenue par Castola et *al.* (2000), en France à partir de la matière aérienne fraîche.

Les résultats obtenus par Benhammou et *al.* (2007) sont similaires aux nôtres ; ils montrent que les rendements en HE de *P. lentiscus*, extraites à partir des feuilles provenant de deux stations de la région de Tlemcen, Ain Fezza et Oum El Alou, sont respectivement de l'ordre de 0,05 % et 0,07 %. Par contre, un rendement beaucoup plus élevé est obtenu par Amara et *al.* (2019) qui enregistrent une valeur de 1,18%.

D'après Haloui et *al.* (2015), la teneur en l'HE de *P. lentiscus* dépend de la saison et de son origine géographique (Maroc). D'ailleurs, le rendement obtenu au mois de mai est de 0,32% alors qu'il est d'environ 0,26 % au mois de juin, et uniquement 0,18 % en janvier.

Pour Ayub et *al.* (2024), la méthode d'extraction constitue également un facteur important qui module le rendement des HEs en général et de l'HE de *P. lentiscus*. Ces auteurs ont montré des valeurs de rendement élevées obtenues par hydro-distillation, distillation à la vapeur et l'extraction à la vapeur surchauffée qui sont respectivement de 2%, 3,1% et 5,7 %.

L'étude menée sur les structures sécrétrices de *Pistacia lentiscus* a confirmé la présence de canaux glandulaires lysigènes situés majoritairement au niveau du parenchyme, principalement localisés dans le phloème entourant le xylème (annexe 1). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Bouzit et Haddad (2013) et Taleb-Toudert (2015), qui ont décrit le réseau étendu de canaux glandulaires lysigènes dans les tissus aériens du *P. lentiscus*, notamment au niveau des feuilles et des rameaux.

L'HE de *P. lentiscus* employée dans notre étude engendre une toxicité considérable par inhalation, diminuant de manière hautement significative la longévité des adultes de *T. confusum* au fur et à mesure que la dose augmente. Cette HE induit une mortalité de 82,5% chez les adultes à la dose de 32 $\mu$ l dès 24h d'exposition et une mortalité de plus de 50% à la dose 24 $\mu$ l après 72h d'exposition et elle a provoqué une mortalité presque totale (97,5%) des adultes de *T. confusum* à la dose 32 $\mu$ l après un temps d'exposition de 96h.

En revanche, l'HE de *P. lentiscus* testée par inhalation, par Bachrouch et *al.* (2010), sur les adultes du tribolium rouge de la farine *T. castaneum* a entraîné une mortalité de 100% à la concentration de 1023  $\mu$ l/l et une mortalité de 32,5% à la concentration de 568 $\mu$ l/l. Ces résultats indiquent qu'en dépit des fortes doses utilisées, *T. castaneum* a montré une résistance à l'action de l'HE de *P. lentiscus* comparé à *T. confusum*.

En effet, l'action de l'HE de *P. lentiscus* sur les adultes de *T. confusum*, par inhalation et répulsion, a induit des effets biocide et répulsif, comparables à plusieurs autres travaux réalisés

dans les mêmes conditions et ayant testés d'autres HEs à l'égard d'autres ravageurs des denrées stockées.

Ainsi, Taleb-Toudert (2015), a testé l'HE de *P. lentiscus* sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* qui a induit 100% de mortalité après 24h d'exposition à la dose 16µl/l. Ces résultats suggèrent que *T. confusum* est plus résistant à l'HE de *P. lentiscus* que *C. maculatus*. D'ailleurs Khani et Rahdari (2012) ont testé l'effet de l'HE de coriandre *Coriandrum sativum* sur deux insectes ravageurs des denrées stockées et ont constaté que la concentration la plus faible (43 µl/l) de l'HE de *C. sativum* a entraîné une mortalité de 100 % chez *C. maculatus* après 24 h d'exposition et uniquement 25 % chez *T. confusum*.

En outre, Kheloul (2021) a montré que les HEs d'eucalyptus (*E. globulus*), myrte (*Myrtus communis*) et romarin (*Rosmarinus officinalis*) ont induit une mortalité de 100% des adultes de *T. confusum* après 24h d'exposition avec la dose 250µl/l.

Dans notre expérimentation, nous avons calculé la CL50 de l'HE de *P. lentiscus* après 48h d'exposition sur les adultes de *T. confusum* par inhalation qui est de l'ordre de 141,25µl/L. Un grand nombre d'études sur l'évaluation de la CL50 et l'activité des HEs est réalisé sur divers nuisibles des produits entreposés.

Pour sa part, Boukraa (2023) a signalé que la concentration létale qui a occasionné la mortalité de 50% des adultes de *T. castaneum* est de l'ordre de 107,199µl/l pour l'HE d'*Artemisia herba-alba* après une exposition de 24h. Les HEs de *Juniperus phoenicea* et *R. officinalis* ont été moins toxiques exprimant des valeurs de CL50 de l'ordre de 155,724 µl/L et 156,589 µl/L, respectivement. Au-delà de 96h de traitement, les valeurs de CL50 correspondantes ont été de 66,45, 74,38 et 97,83µl/L pour les HEs de *R. officinalis*, *A. herba-alba* et *J. phoenicea*, respectivement. Ces valeurs obtenues pour le tribolium rouge de la farine restent inférieures à 141,25µl/L montrant un degré de toxicité plus important par rapport à l'huile essentielle du pistachier lentisque à l'égard de *T. confusum*.

Nemmar (2017), a signalé que la dose létale qui occasionne la mortalité de 50% des adultes mâles de *Bruchus rufimanus* soumis à l'action de l'HE de la menthe poivrée *Mentha piperita* est de 3,54µl par inhalation.

Au cours de notre étude, nous avons déterminé le TL50 de l'HE de *P. lentiscus* sur les adultes de *T. confusum* par inhalation à la dose 32µl, le TL50 est de 7.76h.

En effet, il y a un grand nombre de recherches concernant l'évaluation du TL50 et l'activité des HEs vis-à-vis de divers nuisibles affectant les produits entreposés (Ncibi, 2020 ; Laoudi et al., 2023 et 2025).

Pour sa part, Ncibi (2020) a montré qu'à une concentration de 23,58 µl/l ; les HEs de *Lavandula stoechas* et *Ruta chalepensis* présentent des TL50 respectifs de 733.05 et 184.56 h, sur *T. castaneum*. Ces résultats suggèrent que *T. castaneum* serait résistant aux HEs de *L. stoechas* et *R. chalepensis*.

Laoudi et al. (2025) ont montré des TL50 plus faibles sur des adultes du silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* ; elles sont de 1.8 h pour la mixture des HEs de *M. piperita* et *Ocimum basilicum* et de 1.99 h pour l'HE de lavande.

Plusieurs travaux ont mis en évidence l'activité répulsive qui varie en fonction des HEs et des insectes cibles. Pour notre cas, l'huile essentielle de *P. lentiscus* a montré une forte action répulsive envers les adultes de *T. confusum* enregistrant un taux moyen de répulsion de 60%. Sekrane (2023) a constaté qu'à la dose 3µl/l, l'HE de *Mentha rotundifolia* possède un effet très répulsif vis-à-vis des adultes de *Sitophilus oryzae* et *T. confusum* après un temps d'exposition très court de 2h avec un taux de répulsion de 88,5%.

Ncibi et al. (2019), ont constaté que *Rhyzopertha dominica* semble plus tolérante à l'effet répulsif des HEs que *T. Castaneum* qui a montré une plus grande sensibilité. L'HE de *P. lentiscus* a montré une activité répulsive contre *R. dominica* et *T. castaneum* pour les différentes doses testés (0,035 ; 0,076 ; 0,15 ; 0,31 et 0,38 µl/cm<sup>2</sup>) et les différentes durées d'exposition (3, 6 et 24h).

Baghouz et al. (2024) ont constaté que l'activité répulsive la plus élevée (100%) a été observé à une concentration de 16 µl de l'HE de la sariette calament *Satureja calamintha* à l'égard des adultes de *C. maculatus*, tandis qu'un pourcentage de répulsion de 93,33% a été observé à une concentration similaire pour l'HE du petit basilic *Ziziphora hispanica*.

Pour sa part, Defat (2023) a signalé que l'HE de la melisse de calme *Lippie alba* s'est révélée très répulsive contre le charançon du maïs *Sitophilus zeamais* à la dose 8 µl après 60 min d'exposition.

D'après Joseph et *al.* (2023), les HEs de *Zingiber officinale* et *Chenopodium ambrosioides* se sont montrées répulsives vis à vis de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* même à la plus faible dose de 0,015  $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ . Cette activité augmente avec les doses de l'HE après 2 h d'exposition. A la plus forte dose de 0,125  $\mu\text{l}/\text{cm}^2$ , la répulsion varie de 85% à 100% respectivement pour les HEs de *Zingiber officinale* et *Chenopodium ambrosioides* extraites d'organes frais. Parallèlement, l'étude a montré que le taux de répulsion des HEs extraites d'organes secs est plus important comparé à celui obtenu sur les organes frais. En effet, à l'état frais, l'huile essentielle de *C. ambrosioides* affiche un taux moyen de répulsion de 93,75%, contre 98,13 % lorsqu'elle est utilisée à l'état sec. Ces résultats révèlent que les HEs extraites à partir de la matière sèche possède plus de propriétés répulsives que celles extraites de la matière fraîche.

Mboussy Tsoungould et *al.* (2021), ont indiqué que l'HE de *C. ambrosioides* présente un taux de répulsion négatif. En effet, l'HE extraite a montré un effet d'attraction envers les imagos d'*A. obtectus*.

Au terme de notre étude, il ressort que l'HE du *P. lentiscus* a une activité insecticide et répulsive significative sur les adultes de *T. confusum* impactée par plusieurs paramètres comme la dose de l'HE et le temps d'exposition. De ce fait, elle pourrait avantageusement être utilisée comme bio-pesticide pour la conservation des produits stockés.

---

# *Conclusion*

---

L'utilisation d'insecticides pour lutter contre les insectes nuisibles des grains stockés est une solution ultime employée par l'homme, c'est pourquoi les recherches actuelles dans ce domaine s'orientent de plus en plus vers l'identification de molécules et de procédés naturels pour la préservation de l'environnement et de la santé humaine. La présente étude vise à offrir un ensemble d'éléments pouvant aider à trouver des solutions alternatives aux insecticides chimiques, en utilisant des huiles essentielles extraites à partir des plantes aromatiques locales.

Ce travail porte sur l'évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle extraite des feuilles et des tiges de *Pistacia lentiscus* sur le tribolium brun de la farine *Tribolium confusum* insecte ravageur des denrées entreposées, par inhalation et par répulsion.

L'extraction de l'huile essentielle par hydro-distillation a permis d'obtenir un rendement relativement faible de l'ordre de 0,05 %. Par ailleurs, l'examen histologique des coupes des feuilles et des tiges a révélé la présence de structures sécrétrices spécifiques, qui représentent un réseau étendu de canaux glandulaires lysigènes dans les tissus aériens du *P. lentiscus*, corroborant la capacité de la plante à synthétiser ces composés bioactifs.

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons conclure que l'huile essentielle utilisée exerce une toxicité significative sur les adultes de *T. confusum* pour les différentes doses évaluées, cette toxicité varie en fonction du mode d'exposition par inhalation et par répulsion.

En effet, la mortalité des adultes augmente proportionnellement aux doses inhalées, atteignant une mortalité maximale de 97,5 % à la dose de 32 µL après 96 heures d'exposition. L'estimation de la concentration létale médiane (CL50) s'élève à 141,25µl/L, suggérant que l'huile essentielle de *P. lentiscus* présente une toxicité supérieure à celle d'autres huiles essentielles étudiées antérieurement dans des conditions similaires.

A la dose 32µl, le temps létal (TL50) s'élève à 7.76 h, mettant en évidence une activité insecticide rapide et significative de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* à l'égard des adultes de *T. confusum*.

Par ailleurs, l'application de la méthode de Mc Donald et al. (1970) a permis de déterminer un taux moyen de répulsion de 60 %, classant ainsi l'huile essentielle dans la catégorie IV confirmant son effet répulsif marqué sur les adultes de *T. confusum*.

Ces résultats soulignent le potentiel de cette huile essentielle comme agent de protection naturelle des denrées stockées, en constituant une alternative prometteuse aux insecticides chimiques pour la lutte contre *T. confusum*. Il serait donc pertinent de poursuivre les recherches dans le but d'évaluer l'activité bio-insecticide de cette huile sur d'autres insectes ravageurs des denrées stockées.

Par ailleurs, il est essentiel de poursuivre l'identification de plantes locales présentant des propriétés insecticides efficaces tout en étant non toxiques pour l'homme.

Enfin, l'analyse approfondie de la composition chimique de cette huile essentielle par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse est recommandée, afin d'identifier les molécules actives. Ces composés pourraient ensuite être testés isolément ou en combinaison contre *T. confusum* et d'autres insectes nuisibles, afin de révéler d'éventuels effets synergiques. De telles huiles essentielles pourraient constituer la base de formulations d'insecticides biologiques innovants, destinés à la protection des denrées stockées.

---

# *Références bibliographiques*

---

**-A-**

- **Aissata D. 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales » Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maîtrise en sciences de l'environnement : 174p
- **Amara N., Benrima A., Anba C. et Belkhir H. 2019.** Activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits du pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.). *Agrobiologia*, 9(2): 1669-1676.
- **Angelini M.C., Rudolph J.L., Salow M.J. et Mc Glinchey R.E. 2008.** The anticholinergic risk scale and anticholinergic adverse effects in older persons. *Arch. In. Med.*, 168(5): 508-513.
- **Anonyme. 1955.** Les ravageurs des grains entreposés. 3<sup>ème</sup> Ed., CRET, Paris. 54p.
- **Anonyme. 2004.** Coordination d'Afrique verte Burkina Faso, les techniques de stockage et de conservation des céréales. 1<sup>er</sup> Ed., Burkina Faso. 42p
- **Anonyme. 2011.** Séchoirs de céréales : prévenir et éviter les risques d'incendies.
- **Anonyme. 2021.** Colonnes céréales AIRSTOCK. Récupéré sur Fontaine silo S.A. <https://www.fontaine-silo.com/fr/ventilation/ventilation-par-aspirationairstock/colonnescereales/>
- **Anses. 2016.** Agence national de sécurité sanitaire, alimentaire, environnemental et travail. Macro-organisme non indigène *Holepyris sylvanidis* dans le cadre de la lutte biologique. Ed., Maisons-Alfort, France, 6p.
- **Anses. 2020.** Agence national de sécurité sanitaire, alimentaire, environnemental et travail. Macro-organisme non indigène utile aux végétaux Souche non indigène de *Xylocoris flavipes* de la société AMW Nützlinge. Ed., Maisons-Alfort, France, 5p.
- **Aoues K. 2018.** Amélioration des techniques de stockage du blé pour la préservation contre les attaques de quelques déprédateurs des stocks. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Blida1, Algérie, 134p
- **APS. 2024.** Algérie Presse Service.

- **Ayub MA., Iram I., Waseem R., Ayub I., Hussain A., Abid MA. et Iqbal SZ. 2024.** Optimizing the extraction of essential oil yield from *Pistacia lentiscus* oleo-gum resin by superheated steam extraction using response surface methodology. *Sci. Rep.*, 14(1):25791.
- **Azeiz M., Mallein S., Hammadouche O. et Tacherifet S. 2003.** Le guide pratique pour l'agréeur céréales et légumineuses alimentaires C.N.M.Z, Algérie, 55p.
- **Azoui H. 2015.** Étude du comportement d'une collection de blé cultivé en Algérie vis-à-vis de quelques stress biotiques. Mémoire de Magistère en SCIENCES agronomiques. Université EL Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 10p.
- **Aït Youssef M. 2006.** Plantes médicinales de Kabylie. Ed., Ibis press, Paris, 349p.
- **Aït-Slimane-Aït-Kaki S. 2008.** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologiques chez le blé dur en Algérie. Thèse de doctorat en Sciences, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 174p.

**-B-**

- **Bachrouch O., Mediouni-Ben Jemâa J., Chaieb I., Talou T., Marzouk B. et Abderraba M. 2010.** Insecticidal activity of *Pistacia lentiscus* essential oil on *Tribolium castaneum* as alternative to chemical control in storage. *Tunisian J. Plant Protec.*, 5: 63-70.
- **Baghouz A., Bouchelta Y., Es-safi I., El Brahimi R., Imtara H. et Mashail N. 2024.** Biocidal activity of *Ziziphora hispanica* L. and *Satureja calamintha* Scheele L. essential oils against the *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) pest on cowpea seeds during storage. *Front. Sustain. Food Syst.*, 8: 1329100.
- **Baillet N. 2019.** Distribution de la masse individuelle du grain de blé tendre : analyse de la variabilité de la masse en fonction de la position au sein de l'épi. Thèse de Doctorat en Biologie, Université Clermont Auvergne, France, 183p.
- **Balachowsky A.S. 1936.** Contribution à l'étude des Coccidés du Nord-africain (15<sup>e</sup> note) sur deux remarquables Pseudococcinae découverts dans le Sahara marocain par Ch. Rungs. *Bulletin de la Société entomologique de France*, 41(10):157-165.
- **Balachowsky A.S. 1962.** Entomologie appliquée à l'agriculture. Ed., Masson et Cie, Paris, TI, Vol 1., 564p.

- **Barros M. 2019.** Les huiles essentielles en pratique à l'officine et fiches-conseils. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bordeaux, France, 104p.
- **Bartali H. 1990.** Performance of plastic lining for storage of barley in traditional underground structures (Matmora) in Morocco. *J.Agric. Eng. Res.* 47: 297-314.
- **Bekon K.A. et Fleurat-Lessard F. 1989.** Evolution des méthodes de détection et de protection des grains par des procédés physiques. *Annales de l'A.N.P.P.*, pp: 449-457.
- **Belaid D. 1996.** Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D'Agronomie. Batna. 187p.
- **Belfadel FZ 2009.** Huile de fruits de (*Pistacia lentiscus* L.) caractéristiques physicochimiques et effet biologiques (effet cicatrisant chez le rat). Magister en chimie organique, Université Mentouri, Constantine, PP : 144.
- **Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A.V., Fraser G.R., Colombatto D., Mc Allister T.A. et Beauchemin K.A. 2008.** A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal feed sci. Technol.*, 145(1-4) : 209-228.
- **Benguedouar L., Loudières A., Sebti M.,Plazanet N., Ghosn D., Gotsiou P., Grigorakis S., Loupasak S., Remoundou I., Rousou M. et al. 2022.** Guide de bonnes pratiques sur l'huile de fruit du lentisque : du terrain au laboratoire. Ed., l'AIFM, France, 69p.
- **Benhammou N. et Bekkara F. 2007.** Activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L. de deux stations de la région de Tlemcen (Algérie). In : Greche, H. et Ennabili, A., *Recherches sur les plantes aromatiques et médicinales*. Actes du congrès international des 22-24 mars 2007, Mazzaoua (Taounate) et Fès, maroc, pp : 281-285.
- **Benlamour Z. 2016.** Les ravageurs des denrées stockées et leur impact sur la santé humaine, Thèse de Doctorat, ENSA, Alger, 132p.
- **Berhaut P., Le Bras A. et Niquet N. 2003.** Stockage et conservation des grains a la ferme. Ed., ARVALIS-Institut du végétale. Paris, France : pp 97-98.
- **Bernadet M. 2000.** Phyto-aromathérapie pratique, plantes médicinales et huiles essentielles. Dictionnaire thérapeutique de 530 affections courantes. Dangles, Toulouse, France, 384p.
- **Bessaoud O. 2018.** L'Algérie et le marché des céréales [ou] La question céréalière en Algérie et les marchés mondiaux. In HAL (Le Centre pour la Communication

Scientifique Directe). In *Géostratégie Alimentaire en Méditerranée: l'Enjeu Céréalière* (Vol. 104, No. 2, pp : 1-26).

- **Bhalla A. 1986.** Le stockage du grain. Ed., *Bur. Inter, Trav.*, Genève, 24-25p.
- **Bouby L. 2003.** De la récolte au stockage éclairages carphologiques sur les opérations de traitement des céréales à l'âge de bronze dans le sud de la France. Ed., APDCA, Antibes. France :53p
- **Boudreau A. et Ménard G. 1992.** Le blé : éléments fondamentaux et transformation. Ed., Presses Université Laval. France :439p
- **Boukhalfa H. et Rouabah I. 2020.** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Université, Mouhamed El Bachir El Ibrahimy, Algérie, 26p.
- **Boukhata C. et Derriche M. 2019.** Incidence des avortements spontanés au niveau de la clinique S'bihi Tassadit (TO) et étude anatomopathologique d'un placenta. Thèse de Doctorat, UMMTO :72p
- **Boukraa N. 2023.** Contribution à l'élaboration de bio-insecticides à base des huiles essentielles d'*Artemisia herba alba* Asso, *Juniperus phoenicea* L. et *Rosmarinus officinalis* L., contre *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). Thèse de Doctorat en Biologie, Université de Ouargla, Algérie, 191p.
- **Bouzit A. et Haddad M. 2013.** Approche à l'étude de la structure sécrétrice et des interactions biochimiques entre huiles essentielles de plantes aromatiques d'un écosystème forestier. Mémoire de Master en Biologie, Université de Jijel, Algérie, 70p.
- **Boyer S., Zhang HL. et Empérière G.A. 2012.** Review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. *Bull. Entomol.* 102: 213-229.
- **Boz C., Agelink M.W., Ullrich H. et Andrich J. 2002.** Relationship between major depression and heart rate variability, clinical consequences and implications for anti-depressive treatment. *Psych. Res.*, 113(1-2): 139-149.
- **Brindley T.A., 1930.** The growth and development of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera) and *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera) under controlled conditions of temperature and relative humidity. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 23:741-757.
- **Brown S.J., Shippy T.D., Miller S., Bolognesi R., Beeman R.W., Lorenzen M.D., Bucher G., Wimmer E.A. et Klingler M. 2009.** The red flour beetle, *Tribolium*

*castaneum* (Coleoptera): a model for studies of development and pest biology. *Cold Spring Harb. Protoc.*, 4:1-9.

- **Bruneton J. 1993.** Pharmacogonie, phytochimie, plantes médicinales. Tec. & Doc. 2<sup>e</sup> Ed., *Lavoisier, Paris* : 348p
- **Bruneton J. 1999.** Huiles essentielles pharmacogonie, phytochimie, plantes médicinales. Ed. Tec & Doc, 3<sup>e</sup> Ed., *Lavoisier, Paris, France* : 1504p
- **Bruneton J. 1999.** Pharmacogonie, phytochimie, plantes médicinales. 2<sup>e</sup> Ed., *Lavoisier, Paris, France* :915p.
- **Burt S. 2004.** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *Int. J. Food Microbiol.*, 94: 223-253.

-C-

- **Cabacos M., Crépon K. et Cabeza-Orecel P. 2020.** Stockage sans insecticides: la lutte physique, un levier efficace à bien positionner. Dossier Sécurité sanitaire des céréales N°481, p4. Url. [www.perspectives-agricoles.com](http://www.perspectives-agricoles.com)
- **Calmont B. et Soldati F. 2008.** Découverte de *Tribolium madens* (Charpentier, 1825) dans le département du Puy-de-Dôme [France] ; Clé de détermination et distribution des espèces du genre *Tribolium* en France (Coleoptera: Tenebrionidae). *ResearchGate* : 17(2)
- **Carson C.F., Mee B.J. et Riley T.V. 2002.** Mechanism of action of Melaleuca alternifolia (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage and salt tolerance assays and electron microscopy. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 46: 1914–1920.
- **Castola V., Bighelli A. et Casanova J. 2000.** Intraspecific chemical variability of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Corsica. *Biochemi. Sys. & Ecology*, 28 :79-88.
- **Chabane M. et Boussad J-M. 2012.** Social cognition and the superior temporal sulcus: implications in autism. *Revue neurologique*, 168(10), pp: 762-770.
- **Charpentier B., Hamoun-Lorleach F., Harlay A., Huard A., Ridou L. et Chanselle S. 2008.** Guide du préparateur en pharmacie. 3<sup>e</sup> Ed., Elsevier Masson, Paris, 1358p.
- **Chehat F. 2005.** Marchés internationaux des produits animaux. Cours de première post-graduation, option productions animales. INA. Alger. 144p
- **Cissokho P., Gueye M., Sow E. et Diarra K. 2015.** Substances inertes et plantes à effet insecticide utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et

légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(3): 1644-1653.

- **Coraf A. 2007.** Programme de productivité agricole en Afrique de l'ouest. Plan de gestion des pestes et pesticides. Rapport E 1553, V2. Dakar, 5-6p
- **Cox S.D., Mann C.M. et Markam J.L. 2001.** Interaction between components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *J.Applied Microbio.*, 9: 492-497.
- **Crepon K. et Cabacos M. 2020.** Méthodes de lutte physique dans un itinéraire de stockage sans insecticide : intérêts et limites. Institut du végétal, Station expérimentale, Boigneville, p10.
- **Crepon K., Cabacos M., Moreau J. et Tanguy A. 2019.** La lutte biologique au stockage des grains : une solution séduisante pour compléter la sanitation des installations. Ed., Arvalis - Institut du végétal, Paris :p8.
- **Cronquist A. 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia Uni. Press, E.U :1262p.
- **Cruz J., Hounhouigan J., Fleurat-Lessard F. et Troude F. 2016.** La conservation des grains après récolte. Ed., Quae, CTA, *Presses Agro.*, Gembloux : 251 p.
- **Cruz J., Hounhouigan J., Havard M. et Ferré T. 2019.** La transformation des grains. Ed, Quae, CTA, *Presses Agro.*, Gembloux : 201 p.

#### -D-

- **Dajoz R. 2010.** Dictionnaire d'entomologie : Anatomie, Systématique, Biologie. Editions *Tec & doc*, 1 vol. VII :336 p.
- **Darwin C. 1871.** The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex. London: John Murray, Volume 1. 1st Edition. Barnes & Noble :960p
- **Dawson P.S. 1964.** Age at sexual maturity in female flour beetles, *Tribolium castaneum* and *T. confusum*. *Amm. Entomol. Soc. Am.*, 57 : 1-3.
- **De Cássia da Silveira Sá R., Andrade LN. et de Sousa DP. 2013.** A review on anti-inflammatory activity of monoterpenes. *Molecules*, 18(1):1227-54.
- **De Groot I. 2004.** Protection des céréales et des légumineuses stockées. Ed., *Fondation Agromisa.*, Wageningen, Pays Bas :74p.

- **De luca. 1975 in Kouassi. 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs. Karthala et CTA : Paris, pp :10-311
- **De Sousa A.C., Alviano D.S., Blank A.F., Alves P.B., Alviano C.S., Gattass C.R., 2004.** *Melissa officinalis* L. essential oil: antitumoral and antioxidant activities. *J. Pharm. Pharmacol.* 56: 677-681.
- **Defat L. 2023.** Étude d'une formulation insecticide composée d'huile essentielle de *Lippia alba* et d'argiles locales sénégalaises contre *Sitophilus zeamais* (Curculionidae). Mémoire de Master en Bio-ingénieur (chimie de bioindustrie) Université de Liège, Agro- Bio Tech, Belgique : 71p.
- **Delille L. 2007.** Les plantes médicinales d'Algérie. Ed., Berti, Alger, 240 p.
- **Delobel A. et Tran M. 1993.** Les coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes.Ed. ORSTOM, Paris : 424p.
- **Deschepper R. 2017.** Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Thèse de Doctorat en Biologie Université de Marseille : 52p.
- **Desmares C., Laurent A. et Delerme C. 2008.** Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. AFSSAPS. Anatole, France, *Italian J. Food Sci.*, 13(1): 65-75.
- **Djedaia S. 2017.** Etude physico-chimique et caractérisation du fruit de la plante lentisque (*Pistacia lentiscus* L.). Thèse de Doctorat en Sciences, Université Badji Mokhtar- Annaba, Algérie : 174p.
- **Doumaindji A., Doumaindji S. et Doumaindji B. 2003.** Technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes à Alger. Ed, OPU Ben-Aknoun: 72p.
- **Drees B.M., Jackman J.A. 1998.** Afield guide to common Texas insects. Ed., Gulf Publishinig Coming, Houston: 114p.
- **DSASI. 2020.** Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'information.

**-E-**

- **Enan E. 2001.** Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C.Toxico., & Pharmac.*, 130(3):325-337.

- **Erroux J. 1991.** Le blé. Encyclopédie Berbère, pp: 1526-1536. Url. <https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.1766>.

**-F-**

- **FAO 1986.** Prévention des pertes de produits alimentaires après la récolte. Manuel de formation, Rome. Url. <https://www.fao.org/4/t0073f/t0073f00.htm>
- **FAO. 2016.** Situation alimentaire mondiale. Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales.
- **FAO. 2025.** Food Agriculture organisation, Système post-récolte et Pertes alimentaires.
- **Farhat A. 2010.** Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : conception, optimisation et application. Thèse de doctorat en sciences (option : sciences des procédés, sciences des aliments) Université d'Avignon et des pays de Vaucluse (France) et école nationale d'ingénieurs de Gabes (Tunisie).
- **Feillet P. 2000.** Le grain du blé composition et utilisation. Ed., INRA, Paris, 312p.
- **Ferkous I. 2016.** Les huiles essentielles et l'aromathérapie. Cas de la menthe poivrée (*Mentha piperita*). Mémoire de Master en Biologie, Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie : 53p.
- **Ferrer C. 1995.** Long stretches of short tandem repeats are present in the largest replicons of the Archaea *Haloferax mediterranei* and *Haloferax volcanii* and could be involved in replicon partitioning. *Mol. Microbio.*, 17(1): 85-93.
- **Fields P. 1992.** The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, 28(2):89-118.
- **Fleurat-Lessard F. 2011.** Les stratégies de lutte chimique en pré- et post-récolte en Afrique. Ed., CR INRA, Bordeaux, France, 30p.
- **Fleurat-Lessard F. 2018.** Gestion intégrée de la protection des stocks de céréales contre les insectes sans traitement insecticide rémanent. INRA, *Phytoma*, 716: 32-40.
- **Flinn P.W., Hagstrum D.W., Reed C.R. et Phillips T.W. 2007.** Stored grain advison pro: Decision support system for insect management in commercial grain elevators. *J. Stored Prod. Res.* 43: 375-385.

- **Ford J. 1937.** Research on Populations of *Tribolium confusum* and its bearing on ecological theory. *J. Anim. Ecol.*, 6(1): 1-14.

## -G-

- **Georg G., Kerstin H. et Leo Yendouban L. 2005.** Petit manuel d'identification des principaux ravageurs des denrées stockées en Afrique de l'Ouest, Bénin, Ed., *INRAB-LITA*, 20p.
- **Good N.E. 1933.** Biology of the flour beetles, *Tribolium confusum* Duv. and *T. ferrugineum* Fab. *J. Agri. Res.*, 46: 327-334.
- **Grand court M. et Prats J. 1971.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. J.B. Baillièrre et fils, 351p.
- **Griffin S.G., Wyllie S.G., Markham J.L. et Leach D.L. 1999.** The role of structure and molecular properties of terpenoids in determining their antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*, 14(5) : 322-332.
- **Grignac P.H. 1978.** Amélioration variétale de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Annale de l'INA (El -Harrach)*, pp :83 -110.
- **Guéye T.M., Seck D., Warhelet J.P. et Lognay G. 2011.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agro. Soc. Env.*, 15: 183-194.
- **Gwinner J., Harnisach R. et Muck O. 1996.** Manuel sur la manutention et la conservation du grain après récolte. Ed., *Eschborn*, Burkina Faso:368p.

## -H-

- **Haines B.L. 1991.** Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *SoilSci. Soci. America J.*, 55(4): 1112-1123.
- **Haloui T., Farah A., Balouiri M., Chraibi M., Fadil M., FikriBenbrahim K. et Belrhiti Alaoui A. 2015.** Bacteriostatic and bactericidal profile of leaves and twigs essential oil of Marocca, *Pistacia lentiscus* L. *J. Applied Pharma. Sci.*, 5(6): 50-53.
- **Heute A. 2012.** Huiles essentielles pour tous les jours. Ed., Losange, Chamalières, France. 211p.

- **Hill D. S. 2002.** Pests of stored foodstuffs and their control. *Springer Sci. Business Media., Malaysia.*, pp:216-214. <https://www.lejournalduvrac.com/expertise/prevenir-et-eviter-les-risques-dincendies-danslessechoirs-de-cereales/>
- **Huchet J.B. 2017.** Plantes, produits végétaux et ravageurs. Le coléoptère, la graine et l'archéologue: Approche archeo-entomologique de quelques ravageurs des denrées stockées. *Les Eyzies-de-TayacJ.*, 14: 322-332.

-I-

- **Isman M.B. 2000.** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protec.*, 19(8-10): 603-608
- **ITGC. 2015.** Méthodes d'évaluation du rendement en grain de céréales au stade laitieux-pâteux. Institut Technique des Grandes Cultures, 12 p.

-J-

- **Joseph M., Gladrich M.T.F., Emmmanuelle L.M.J., Makanga O.L.D. et Attibayeba S.R. 2023.** Effets Insecticide et Insectifuge des Huiles Essentielles de Cinq Plantes Aromatiques Sur la Bruche de Haricot Cultivé en République du Congo. *ESJ.*, 19(6) :294

-K-

- **Kellouche A. 2005.** Etude de la bruche du pois-chiche, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) : biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse de Doctorat en Biologie, UMMTO, Algérie, 151p.
- **Kellouche A. et Soltani N. 2004.** Biological activity of the powders of five pants and the essential oil of one of them on *Callosobruchus maculatus*(F). *Int. J. Trop. InsectSci.*, 24(2) : 184-191
- **Khani A. et Rahdari T. 2012.** Chemical Composition and Insecticidal Activity of Essential Oil from *Coriandrum sativum* Seeds against *Tribolium confusum* and *Callosobruchus maculatus*. *ISRN Pharm.*
- **Kheloul L. 2021.** Etude de la biologie et la sensibilité à l'action de quelques huiles essentielles sur *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera : Tenebrionidae) un insecte ravageur des denrées alimentaires entreposées. Thèse de Doctorat en Biologie, UMMTO, Algérie, 163p.

- **Killmayer M. et Samson, M.F. 2017.** Qualité des protéines et process de transformation. *Int. J Filière Blé Dur* : 9p).
- **Killmayer M., Audigeos D., Bonin L., Bonnefoy M., Braun P., Brochelard S., Carel Y., Deswartes J., Gendre S. et Jezequel S. 2017.** Blé dur-guide de culture. Ed., Arvalis, Paris, France. 94p.
- **Kumar R., 2017.** Insect pests of stored grain. Biology, behavior, and management strategies, *App. Academic Press Prod.*, USA, pp: 88-172.

-L-

- **Lahlou M. 2004.** Methode to study photochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytother., Res.*, 18:435-448.
- **Lakhdar M. 2010.** Adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions des hautes plaines constantinoises. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 99p.
- **Laoudi T. 2023.** Étude de la sensibilité à différentes huiles essentielles du Silvain, *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera : Silvanidae), insecte ravageur des denrées stockées. Thèse de Doctorat en Biologie, UMMTO, Algérie, 204p.
- **Laoudi T., Khelfane-Goucem K., Hamani-Aoudjit S., Chebrouk F., Amrouche T., Saher, L. et Kellouche A. 2023.** Chemical composition of essential oils from the leaves of *Schinus molle* and *Cupressus sempervirens* and their insecticidal activity against *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). *J. Essent. Oil-Bear. Plants.*, 26(2): 309-322.
- **Laoudi T., Khelfane-Goucem, K., Aissaoui, F., Chebrouk, F., Graiche, F., Amrouche, L., Lisa S. et Kellouche A. 2025.** Insecticidal activity of some essential oils and their synergistic interaction against the sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* L., 1758 (Coleoptera: Silvanidae). *J. StoredProd.Res.*, 110, 102481.
- **Leonard S.T.N. 2004.** La recherche d'une alternative aux polluants organiques persistants. *Int. Bull. Info. Phytos. News*, 43: 12-23.
- **Lepesme P. 1944.** Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed., Paul le chevalier, Paris, 335p.
- **Lerant J. 2017.** Conseils et utilisations des huiles essentielles les plus courantes en officine, Thèse de Doctorat, Université de Paul Sabatier, Toulouse, France :225p

- **Lobstein A., Anton R., Boutefnouchet S., Chevallier V., El Khiari L., Faucon M., Gommez-mazaingue G., Guillemain E., Hilpipre C. et Malaquin-pavan E. 2019.** Aromathérapie scientifique préconisation pour la pratique clinique, l'enseignement et la recherche. Consensus d'experts destiné aux professionnels de santé et aux décideurs exercent en milieu de soins. 182p.
- **Lommez J.M.J. Et Leondurand R. 1965.** Economie de la production, transformation, et consommation du blé dur dans la CEE - Economie de la production, de la transformation et de la consommation du blé dur dans la CEE. *Études: Agriculture*, Séries 18 : p238.
- **López M.D., Jordan M.J. et Pascual-Villalobos M.J. 2008.** Toxic compounds in essential oils of coriander, caraway and basil active against stored rice pests. *J. Stored Prod. Res.*, 44(3):273-278.
- **Luccheisi M. 2005.** Extraction sans solvant assistée par micro-onde conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat en chimie Univ, Saint Denis, France:16p

-M-

- **Maillard A. 2022.** Toxicité des huiles essentielles, le guide complet. Url.[www.aude-maillard.fr](http://www.aude-maillard.fr).
- **Marielle A. 2021.** A conceptual simulation workflow to guide design decisions regarding the effects of daylight on occupants' alertness. *Int. J. Physics*, 2042(1)
- **Mayer F. 2012.** Utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Étude de cas en maison de retraite. Thèse de Doctorat Université de Lorraine
- **Mbarek L.A., Mouse H.A., Elabbadi N., Bensalah M., Gamouh A., Aboufatima R., Benharref A., Chait A., Kamal M., Dalal A. et Zyad A. 2007.** Anti-tumor properties of blackseed (*Nigella sativa* L.) extracts. *Brazilian Journal Medical and Biological Research*, 40: 839–847
- **Mboussy Tsoungould F.G., Joseph M., MbuntchaGueaba H., TaponjoulAzefack L. et Attibayeba S.R. 2021.** Effet Bio-Insecticide de L'huile essentielle et de la poudre de *Chenopodium ambrosioides* L. sur les imagos de la bruches de l'haricot en stockage. *ESJ*, 17(25) : 267p
- **Moreau J. 2019.** Stockage des grains en A.B : les bonnes pratiques. Arvalis : Institut du végétal, pp :1-19.

- **Mouellef M. 2019.** Distinct and quantitative validation method for predictive process modelling in preparative chromatography of synthetic and bio-based feed mixtures following a quality-by-design (QbD) approach. *Processes*, 7(9) : 580.
- **Moule C. 1971.** Phytotechnie spéciale 2. Céréales. Ed., la maison rustique, Paris, France, 235p.
- **Multon J.L. 1982.** Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Edition *Tec & Doc*, Lavoisier, Paris :576p
- **Multon J.L. 1982.** Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés Tome 2. Ed., Lavoisier, Paris, France, 1151p.

-N-

- **Nanfack F.M., Dongmo Y.Z., Foyang M.A.R., 2015.** Les insectes impliqués dans les pertes post-récolte des céréales au Cameroun : méthodes actuelles de lutte et perspectives offertes par la transgénèse. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9(3): 1630-1643.
- **Nawaczyk K., Obrepalska-Steplovska A., Gawlak M., Throne J.E., Olejarski P. et Nawrot J. 2009.** Molecular techniques for detection of *Tribolium confusum* infestations in stored products. *J. Econ. Entomol.* 102:1691-1695.
- **Ncibi S. 2020.** Potentiel bioinsecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) et identification de leurs ennemis naturels. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, INA., Tunisie. 315p.
- **Ncibi S., Barbouche N., Haouel-Hamdi S. et Ammar M. 2019.** Insecticidal activity of several Tunisian essential oils against two major pests of stored grain *Rhyzoperth adominica* and *Tribolium castaneum*. *J. New Sci. Agri., Biotechnol.*, 66(5) :4182-4194.
- **Ndiaye D.S.B. 1999.** Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux. Aide au Développement Gembloux & Atelier Autrichien de Développement, 61 p.
- **Nebie B. 2023.** Composition chimique et activités biologiques d'huiles essentielles obtenues par co-distillation de quelques plantes aromatiques du Burkina Faso. Thèse de Doctorat en Chimie, Université de Burkina Faso, 185p.

- **Nemmar N. 2017.** Action de l'huile essentielle de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) sur la longévité des adultes de la fève *Bruchus rufimanus* (Coleoptera : Chrysomelidae : Bruchinae) dans la période de diapause. Mémoire de Master en Agronomie, UMMTO, Algérie, 42p.
- **Nerio L.S., Olivero-Verbel J. et Stashenko E. 2009.** Repellent activity of essential oils: *Biores. Technol.*, 101(1): 372-378.
- **Ngamo L.S.T. et Hance T. 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25: 215-220.
- **Noury F., Mazetier P., Lohéziec-Le Dévéhat F. 2023.** Enquête sur la survenue d'intoxications après l'utilisation d'huiles essentielles, comparaison avec les données du CAP d'Angers (2017-2018). *Ann. Pharmac. Françaises*, 81(3):492-518.
- **Ntsam S. 1989.** Pourquoi stocker ? Céréales en régions chaudes. AUPELF-UREF, Ed. John LibbeyEurotext, Paris, pp: 3-8 .
- **Nzeyumwami J.K. 2004.** Caractérisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques : *Hyptiss picigera*, *Pluchea ovalis* et *Laggetera aurita*. Thèse de Doctorat, Université de Lome-Togo, 114p

-O-

- **Ouis N. 2015.** Étude chimiques et biologiques des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil, Thèse de Doctorat, Université de Ahmed Ben Bella, Oran, 9p.

-P-

- **Pai A. 2010.** *Tribolium*. In Breed M.D. & Moore J., Ed., *Encyclop. Anim. Behav.*, 3: 446-452.
- **Prior R.L. et Cao G. 1999.** In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods. *Free Rad. Bio. Med.*, 27: 1173-1181.

-R-

- **Rajendran S. et Sriranjini V. 2008.** Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. Stored Prod. Res.*, 44(2):126-135.
- **Robinson W.H. 2005.** Urban insects and arachnids: a handbook of urban entomology, Cambridge University Press, UK, pp:127-128.

## -S-

- **Saïdi O., Derradji L., Hadeff Y. et Dekhil M. 2023.** Huile de pistachier lentisque et affections cutanées en Algérie : pratiques traditionnelles d'utilisation dans le nord-est algérien des huiles de lentisque (*Pistacia lentiscus*L.) pour les affections cutanées. *Ethnopharmacologia*, 69(2):70-78.
- **Sekrane F. 2023.** Les ravageurs des denrées stockées : importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée. Thèse de Doctorat en Agronomie, Université de Mascara, Algérie, 172p.
- **Shanholtzer S. et Lumsden A.S. 2012.** Using Flour Beetles (*Tribolium confusum*) in Population Growth Studies.Ed., K. McMahon, *Tested Studies for Laboratory Teaching*, 33:195-207.
- **Shukla J.R. et Palli S.R. 2012.** Sex determination in beetles: production of all male progeny by parental RNAi knockdown of transformer. *Sci. Rep.* 2:1-9.
- **Sikkema J., Bont J.A.M. et Poolman B. 1994.** Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membranes. *J. Bio. Chemistry*. 269: 8022-8028.
- **Skandamis P., Koutsoumanis K., Fasseas K. et Nychas G.J.E. 2001.** Inhibition of oregano Inhibition of oregano essential oil and EDTA. *Italian Journal of Food Science Italy*. Volume 13 pp : 65-75
- **Soliman M.H. 1987.** Ageing and parental age effects in *Tribolium* [Review]. *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 6: 43-60.
- **Soltner D., 1998.** Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte Gemme-sur-Loire, Science et Techniques Agricoles.
- **Surget A., Barron C., 2005.** Histologie du grain de blé, Industrie des céréales, 145 :4-7.
- **Steffan J. 1978.** Les insectes et les acariens des céréales stockées. 1ère édition. Paris: ITCF Afnor : 237p
- **Stejskal V., Vendl T., Aulicky R. et Athanassiou C. 2021.** Synthetic and natural insecticides: Gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. *Insects*, 12(7):590p.

- **St-Pierre N., V., Bélanger A. et Brégarde A. 2014.** Ventilation et conservation des grains a la ferme, Réseau Innova grains et centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) : 58p.

-T-

- **Taleb-Toudert K. 2015.** Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Évaluation de leurs effets sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae).Thèse de Doctorat en Biologie, UMMTO, Algérie: 206p.
- **Tapondjou A.L., Adler C., Bouda H. et Fontem D.A. 2005.**Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six stored product beetles. *J. Stored Prod. Res.*, 41(3):363-371.
- **Teisseire P.J. 1991.** Chimie des substances odorantes. Ed., Tec. & Doc, Lavoisier, Paris, 480p.
- **Teuscher E., Anton R. et Lobstein A. 2005.***Plantes aromatiques : Épices, aromates, condiments et huiles essentielles.* Ed., Tec & Doc-Lavoisier. 497p.
- **Toninoli F. et Meglioli V. 2013.** Huiles essentielles : L'encyclopédie. Ed., Marie-Claire, 315p.

-U-

- **Ultee A., Kets E.P. et Smid E.J. 1999.**Mechanisms of action of carvacrol on the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Applied Env. Microbio.*, 65: 4606-4610.
- **USDA. 2019.** United States Departement of Agriculture (le Département Américain de l'agriculture).

-V-

- **Velé H. 2015.** Valorisation officinale des huiles essentielles autorisées dans les phytomédicaments. Thèse de Doctorat, Université Angers, 10p.

-W-

- **Westphal E., Embrechts J., Ferwerda J.D., Van Gils-Meeus H.A.E., Mutsaers H. J.W. et Westphal-Stevels J.M.C. 1985.** Cultures vivrières tropicales : Avec référence spéciale au Cameroun. Ed., Pud. Wageningen, Pays-Bas. 525p.

- **White N.D.G. et Demianyk C.J. 1996.** Deterioration in stored wheat infested with *Tribolium audax* or *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidar). *Env. Entomol.* 25:1109-1112.

**-Z-**

- **Zadoks, J.C., Chang, T.T., et Konzak, C.F. 1947.** A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415-421.
- **Zhang J., Sun H., Chen S., Zeng L. et Wang T. 2017.** Facile synthesis and color-tunable properties of BaLuF5: Ce, Tb, Eu (Sm) submicrospheres via a facile ionic liquid/EG two-phase system. *Journal of Colloid and Interface Science*, 487;281-288.

---

# *Annexe*

---



**Figure 41.** Paramètres anatomiques au niveau d'une coupe transversale d'une feuille de *P. lentiscus* observée au microscope optique G×100.

## Résumé

La recherche de méthodes alternatives pour la protection des produits stockés contre les nuisibles, en particulier l'insecte *Tribolium confusum* qui s'attaque au blé dur (*Triticum durum*), est en constante évolution. L'objectif étant de réduire la toxicité liée à l'utilisation de ces substances chimiques par l'utilisation de l'effet insecticide des huiles essentielles dérivées des plantes. La plante utilisée dans notre travail est *Pistacia lentiscus* dont l'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation des feuilles et des tiges de cette des plante. Une étude histologique des feuilles et de la tige a permis de localiser les sites sécréteurs de l'essence végétale qui consistent en des canaux glandulaires lysigènes. L'activité biologique par inhalation et par répulsion de l'HE de *P. lentiscus* est évaluée à des doses de 8µl, 16µl, 24µl et 32µl contre les adultes de *Tribolium confusum* âgés de 0 à 7 jours. Le suivi de la mortalité sur plusieurs heures (24h, 48h, 72h et 96h) a permis de constater une mortalité croissante pour l'HE testée par inhalation en fonction des doses et du temps d'exposition exprimant une mortalité de 97,5% à la dose de 32µl après une durée d'exposition de 96h. Le calcul de la CL<sub>50</sub> après 48h d'exposition montre que l'HE testée est toxique avec une CL<sub>50</sub> de 141,25µl/L. Le temps létal 50 (TL<sub>50</sub>) nécessaire pour que 50 % des adultes de *T. confusum* meurent est déterminé à la dose 32µl et s'élève à 7,76 heures. L'HE de *P. lentiscus* s'est montrée répulsive (classe IV) avec un taux de répulsion moyen de 60%. Il ressort de notre étude que l'huile présente des propriétés insecticides remarquables par inhalation et un effet répulsif considérable sur *T. confusum* par conséquent elle peut constituer un moyen de lutte alternatif dans les lieux de stockage.

**Mots clés :** *Tribolium confusum*, *Pistacia lentiscus*, insecticide, huile essentielle, céréales.

## Abstract

The search for alternative methods to protect stored products from pests particularly the insect *Tribolium confusum*, which attacks durum wheat (*Triticum durum*), is constantly evolving. The aim is to reduce the toxicity associated with the use of these chemical substances by employing the insecticidal effects of plant-derived essential oils. The plant used in our study is *Pistacia lentiscus*, whose essential oil was extracted by hydrodistillation from its leaves and stems. A histological study of the leaves and stems allowed us to locate the secretory sites of the essential oil, which consist of lysigenous glandular canals. The biological activity of *P. lentiscus* essential oil (EO) by inhalation and repulsion was evaluated at doses of 8 µl, 16 µl, 24 µl, and 32 µl against adult *Tribolium confusum* insects aged 0 to 7 days. Monitoring mortality over several time intervals (24h, 48h, 72h, and 96h) showed increasing mortality with the EO tested via inhalation, depending on dose and exposure time, reaching 97.5% mortality at a dose of 32 µl after 96 hours of exposure. The LC<sub>50</sub> calculated after 48 hours of exposure indicates that the tested EO is toxic, with an LC<sub>50</sub> of 141,25 µl/L. The lethal time (LT<sub>50</sub>) required to kill 50% of *T. confusum* adults was determined at the 32 µl dose and was 7.76 hours. The EO of *P. lentiscus* also showed repellent properties (class IV), with an average repellency rate of 60%. Our study thus reveals that this essential oil possesses remarkable insecticidal properties by inhalation and a significant repellent effect against *T. confusum*, making it a promising alternative control method in storage facilities.

**Keywords:** *Tribolium confusum*, *Pistacia lentiscus*, insecticide, essential oil, cereals..