

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

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

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

Spécialité : Protection des végétaux

THEME

**Evaluation de la bio-efficacité des huiles essentielles de
Menthe poivrée et *basilic tropical*
utilisées seules ou en combinaison contre *Tribolium
confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae), insecte
ravageur des denrées stockées.**

Réalisé par :

Mme. ARIB Kamilia

Melle. MELAHI Thinhinane

Présenté devant le jury composé de :

Président	Mme. LAMARA MAHAMED R.	MAB	UMMTO
Promoteur	Melle. LAOUDI T.	MAB	UMMTO
Co-promotrice	Mme. KHELFAANE-GOUCHEM K.	Professeur	UMMTO
Examinatrice 1	Mme. AMROUCHE L.	MAB	UMMTO

Année universitaire 2023 / 2024

REMERCIEMENTS

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

*Nos vifs et sincères remerciements vont à notre promotrice Mademoiselle **LAOUDI T.** Maitre assistante Classe B et notre copromotrice Madame **KHELFANE-GOUCEM K.**, Professeure à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir proposé, encadré et dirigé ce travail. Il s'agit pour nous d'un immense honneur de leur exprimer nos remerciements et notre gratitude pour leurs connaissances apportées, leur disponibilité, conseils et orientations.*

*Nous adressons notre gratitude à Madame **LAMARA MAHAMED R.**, Maitre assistante Classe B à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui nous fait l'honneur de présider ce jury. Nous lui exprimons notre profonde reconnaissance.*

*Nos remerciements les plus sincères sont, également, adressés à Madame **AMROUCHE L.**, Maitre assistante Classe B à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*A madame **Kasdi**, pour avoir réalisé l'analyse statistique.*

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

Dédicace

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la santé pour réaliser ce travail, lequel je dédie :

A la mémoire de mon cher grand-père. J'aurais aimé qu'il puisse me voir en ce jour et qu'il soit fier de moi.

A mes chères parents Bouzerzour Ourida et Arib Rachid qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études, surtout leur amour et sacrifice, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon cher époux Dahmouh Adel et ma fille Miral.

A mes chères sœurs (naziha, Nedjma, Ilhame, Thileli et Iline).

A mes proches et a ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A toute ma belle- famille.

A mon cher binôme.

Dédicace

Je remercie dieu qui m'a donné la santé, la patience et la volonté pour arriver à ce stade et réaliser ce travail.

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents « **HOCINE** » et « **MALIKA** » qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études. Que Dieu leur prête bonheur, santé et longue vie.*

*A celui qui a coloré ma vie, mon adorable, mon cher et meilleur frère au monde « **Jugurtha** ». Je t'aime tellement.*

*A mes sœurs « **Cylia** » et « **Massiva** ». En témoignage de l'amour et de l'affection qui nous attachent.*

A toute ma famille

*A mes grands-mères « **Djouhar** » et « **Dehbía** »*

*A mes chères amies « **Thínhinane** » et « **Lynda** » pour nous avoir toujours accompagnée et en particulier à mon chère « **Tarík** » que j'aime de tout mon cœur.*

*A ma chère binôme et amie « **Arib Kamila** »*

*A notre Co-promotrice Professeur Mme « **Goucem K** ».*

*A notre promotrice « **Laoudi T** »*

A toutes les personnes que je n'ai pas citées et qui m'ont aidé de près ou de loin, je vous remercie.

I. Introduction	1
II. Chapitre I	4
1. Généralités sur les céréales	4
2. Historique de blé.....	4
3. Généralité sur le blé.....	5
3.1. Systématique.....	5
3.2. Description botanique du blé dur	5
3.2.1. Embryon.....	6
3.2.2. Enveloppes	6
3.2.3. Albumen.....	6
3.3. Composition biochimique du blé dur	8
3.4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie	8
3.4.1. Dans le monde	8
3.4.2. En Algérie.....	9
3.5. Exigences de blé	9
3.5.1. Exigence édaphiques (sol)	9
3.5.2. Exigences climatiques	9
3.6. Maladies du blé.....	10
3.7. Ravageurs.....	11
3.7.1. Ravageurs primaires	11
3.7.2. Ravageurs secondaires.....	12
II. Chapitre II	3
1. Description du <i>Tribolium confusum</i>	13
2. Origine et répartition géographique.....	13
3. Classification.....	13
4. Cycle de développement	14
4.1. Œufs	14
4.2. Larves.....	15
4.3. Nymphe.....	15
4.4. Imago	15
5. Dimorphisme sexuel.....	16
6. Biologie de l'insecte.....	16
7. Ennemis naturels du <i>Tribolium</i>	17

8. Dégâts	17
9. Moyens de lutte	18
9.1. Lutte préventive.....	18
9.2. Lutte curative.....	18
9.2.1. Méthode chimique	19
9.2.2. Méthode physique	19
9.2.3. Lutte biotechnologique	20
9.2.4. Lutte biologique.....	9
III. Chapitre III.....	30
1. Matériel	30
1.1. Matériel de laboratoire	30
1.2. Matériel biologique	32
1.2.2. Insectes.....	32
1.2.3. Matériel végétal.....	32
1.2.4. Huiles essentielles	32
1.2.4.1. Menthe poivrée.....	32
1.2.4.2. Basilic tropical.....	34
2. Méthodes.....	36
2.1. Elevage de masse.....	36
2.2. Activité insecticide des huiles essentielles d' <i>O. basilicum</i> et de <i>M. piperita</i>	37
2.3. Estimation de la dose létale DL50	37
2.4. Analyse statistique.....	39
IV. Chapitre IV.....	40
1. Evaluation de la toxicité par inhalation des huiles essentielles	41
1.1. Toxicité de la menthe poivrée sur les adultes	41
1.2. Toxicité de l'huile essentielle de basilic tropical sur les adultes	42
1.3. Toxicité de la combinaison de la menthe poivrée et du basilic tropical	43
2. Estimation de la concentration létale CL ₅₀	44
2.1. Menthe poivrée.....	44
2.2. Basilic tropical.....	45
2.3. Combinaison des huiles essentielles de la menthe poivrée et de basilic tropical	45
3. Discussion	46
4. Conclusion.....	47

Liste des figures

Figure 1 : Anatomie de la graine de blé dur (Anonyme,2018)	7
Figure 2 : Larve de <i>Tribolium confusum</i> (GX40) (Originale, 2024)	14
Figure 3 : Nymphe de <i>Tribolium confusum</i> (GX40). A : vue ventrale ; B : vue dorsale (Originale, 2024)	15
Figure 4 : Adulte de <i>Tribolium confusum</i> (GX40) (Originale, 2024)	16
Figure 5 : Semoule infestée par <i>Tribolium confusum</i> (Originale, 2024)	18
Figure 6 : Extraction par entraînement à la vapeur (Lucchesi, 2005)	25
Figure 7 : Extraction par hydrodistillation (Appareil de Clevenger) (Originale, 2024)	26
Figure 8 : Extraction par Hydrodiffusion non assistée (A) ou assistée par micro-ondes et gravité (MHG) (B) (Lucchesi, 2005)	27
Figure 9 : Ensemble du matériel de laboratoire utilisé pendant nos expériences (Originale, 2024)	31
Figure 10 : Huiles essentielles d' <i>Ocimum basilicum</i> et <i>Mentha piperita</i> utilisées dans nos tests de toxicité (Originale, 2024)	33
Figure 11 : Morphologie de la menthe poivrée (Originale, 2024)	34
Figure 12 : Morphologie du basilic tropical (Originale, 2024)	36
Figure 13 : Dispositif expérimental du test par inhalation par les huiles essentielles de menthe poivrée et de basilic tropical à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2024)	38
Figure 14 : Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par l'huiles essentielles de la menthe poivrée en fonction des doses et de la durée d'exposition.....	40
Figure 15 : Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par l'huiles essentielles de basilic tropical en fonction des doses et de la durée d'exposition.....	41
Figure 16 : Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne±ET) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par la combinaison des huiles essentielles (menthe poivrée+ basilic tropical) en fonction des doses et de la durée d'exposition.....	43

Figure 17 : La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec *M. piperita* par inhalation.....44

Figure 18 : La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec *O. basilicum* par inhalation.....44

Figure 19 : La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum* par inhalation.....45

Liste des tableaux

Tableau 1. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle de *M. piperita*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*.....41

Tableau 2. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle d'*O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*.....42

Tableau 3. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*.....43

Dans la plupart des pays en développement, les céréales sont considérées comme l'aliment essentiel, car elles offrent une valeur calorifique significative par rapport aux autres produits agricoles (Kumar et Kalita, 2017). De plus, elles représentent la principale source de protéines dans de nombreux pays (Guèye et *al.*, 2011). Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire à l'échelle mondiale (Clerget, 2011 ; Henrotte, 2016).

D'après Regnault-Roger (2014), l'un des défis majeurs en matière d'agriculture mondiale est de répondre aux besoins d'une population croissante de neuf milliards d'individus d'ici 2050, tout en préservant notre planète. La production de céréales doit être adaptée pour répondre aux besoins grandissants, tout en prenant en considération les enjeux de durabilité, de changement climatique et de l'environnement ainsi que les pertes pendant le stockage.

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture FAO (2024), la production mondiale des céréales en 2023 est estimée à 2847 millions de tonnes, soit 1,2% de plus qu'en 2022. Les principaux pays producteurs de blé sont : la Russie, les Etats Unie, Union Européenne, Canada avec une production de 45.000 Mt, 21.500 Mt, 35.000 Mt et 25.000 Mt selon l'ordre.

En Algérie, les céréales et leurs produits dérivés sont essentiels pour le système alimentaire, en raison de l'importance des surfaces occupées et de leur contribution à la sécurité alimentaire. Effectivement, elles contribuent à plus de 60 % de la consommation calorique et 75% à 80 % de la consommation de protéines de la ration alimentaire (Djermoun, 2009 ; Righi-Assia et *al.*, 2019).

Malheureusement, pendant la période de stockage, les céréales sont soumises à différentes altérations, biotiques et abiotiques (Keskin et Ozkaya, 2015), comme les attaques des rongeurs, des oiseaux, des acariens, des champignons et des insectes, qui sont les principaux responsables des pertes de ces denrées et peuvent représenter jusqu'à 10% des pertes à l'échelle mondiale (De Carvalho et *al.*, 2013) et plus de 50% dans les pays en développement (Brader et *al.*, 2002 ; Bounoua et *al.*, 2019).

Les insectes qui s'attaquent aux céréales dans les stocks sont classés en ravageurs primaires qui ont la capacité d'attaquer les grains non endommagés et de les infester comme le charançon du riz *Sitophilus oryzae*, le charançon du grain *S. granarus* (Coleoptera : Curculionidae), l'alucite des céréales *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera : Tineidae), et en

ravageurs secondaires qui se nourrissent des débris et des grains endommagés, complétant l'action des ravageurs primaires, comme le tribolium brun de la farine *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae), le tribolium rouge de la farine *T. confusum*, la pyrale indienne de la farine *Plodia interpunctella* (Lepidoptera : Pyralidae) et le silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* Linnæus, 1758 (Coleoptera : Silvanidae).

T.confusum est un insecte majeur des grains de céréales et des produits dérivés. Les moulins, les silos et les entrepôts de stockage sont principalement infestés par ces insectes, qui se nourrissent et contaminent les denrées par leurs excréments, les exuvies, les cadavres, ainsi que les composés volatils émis, qui causent une mauvaise odeur aux denrées infestées. Ces ravageurs entraînent une perte de poids et de qualité ainsi qu'une baisse de valeur commerciale des produits (Dal et al., 2001 ; Dabrie et al., 2008).

Afin d'y remédier, différentes méthodes de lutte peuvent être appliquées, mais la lutte chimique reste la plus répandue, faisant appel à l'utilisation des substances telles que les organophosphorés, les pyréthriinoïdes, le phosphore d'aluminium et le bromure de méthyle (Delobel et Tran, 1993 ; Rajendran et Sriranjini, 2008). Bien que cette méthode présente de nombreux avantages tels que son efficacité, son coût relativement bas, sa facilité d'utilisation et sa longue durée de protection (Cissokho et al., 2015), elle comporte également plusieurs inconvénients tels que la sélection de souches résistantes, la pollution de l'environnement (Venkidusamy et al., 2018) et un fort potentiel cancérigène et mutagène (Ngamo et al., 2016). Ceci a suscité la recherche de méthodes alternatives qui s'appuient sur l'utilisation de substances d'origine naturelles comme les plantes aromatiques qui sont disponibles, riches en huiles essentielles, avec des pouvoirs insecticides (Boukraa et al., 2020) et connues pour être biodégradables et peu toxiques pour les mammifères (Rajendran et Sriranjini, 2008 ; Filomeno et al., 2020).

Au laboratoire, il a été démontré que les plantes aromatiques sont toxiques pour de nombreux insectes ravageurs des denrées stockées. Ces plantes ont été mises en évidence en utilisant des poudres végétales (Kellouche et Soltani, 2004 ; Abras, 2015), des extraits aqueux (Kassimi et al., 2017) et des huiles essentielles (Khelfane-Goucem et al., 2016 ; Lamara Mahamed, 2020 ; Aissaoui et al., 2021 ; Taleb-Toudert et Kellouche, 2021 ; Sriti et al., 2023). Ces substances ont été évaluées en utilisant plusieurs méthodes, par répulsion (Garcia et al., 2019 ; Boukraa et al., 2022 ; Laoudi et al., 2023), par contact (Filomeno et al., 2020), et en testant leur effet ovicide (Muturi et al., 2018 ; Bouabida et Dris, 2020 ; Nkouandou et al.,

2020 ; Kheloul, 2022), anti-ponte (Isman et *al.*, 2021) et larvicide (Hammoutene et Ben Ouarab, 2022).

C'est dans ce contexte, que nous nous proposons d'étudier au cours de ce travail, l'activité insecticide par inhalation des huiles essentielles de deux plantes aromatiques, la menthe poivrée (*Mentha piperita*) et le basilic tropical (*Ocimum basilicum*) isolément et combinées sur les adultes du tribolium rouge de la farine *T.confusum*.

Ce travail comprend deux parties et quatre chapitres, une partie bibliographique dans laquelle nous avons présenté la plante hôte, les deux insectes ravageurs, *O. surinamensis* et *T.confusum*, et une partie expérimentale dans laquelle nous avons présenté le matériel utilisé et les méthodes adoptées, les résultats obtenus suivis d'une discussion.

Ce travail est terminé par une conclusion et quelques perspectives de recherche.

1. Généralités sur les céréales

Le terme « céréales » trouve son origine dans le mot latin « *cerealis* », qui fait référence à Cérès, les Romains appelaient ainsi les cultures d'orge et de blé. Ce terme est utilisé pour désigner les graminées cultivées pour leur grain.

Tous les peuples de l'antiquité et de nombreux pays en développement utilisent les céréales comme aliments essentiels complétés par les légumes et les fruits (Rastoin et Ben abderrazik, 2014 ; Rosentrater et Evers, 2018 ; Anonyme, 2020).

Les céréales occupent à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole. Elles sont les principales sources de la nutrition humaine et animale dans le monde, en raison de leur valeur énergétique, représentant un apport calorifique et protéique important.

2. Historique de blé

Depuis plus de 7000 à 10000 ans, le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Sa culture s'étend de la Palestine, de la Syrie, de l'Irak à une grande partie de l'Iran (Croston et Williams, 1981 ; Cherfia, 2010). Les sites archéologiques du Proche-Orient ont mis à jour des vestiges de blés, diploïdes et tétraploïdes, datant du VII^e siècle avant J-C (Harlan, 1975 Cherfia, 2010). Le blé a une longue histoire de diffusion vers l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord. La plus ancienne route de diffusion des céréales vers les pays du Maghreb a été à partir de la péninsule italienne et de la Sicile (Bonjean, 2001 ; Boulal *et al.*, 2007).

Les blés sauvages ont leur origine géographique au Moyen-Orient, dans le croissant fertile, la Mésopotamie (aujourd'hui l'Irak et l'Iran). La culture du blé a été répandue à travers le monde, avec l'amélioration et la sélection de nouvelles variétés par l'homme. La première trace du blé dur (*Triticum durum*) a été trouvée dans une pyramide égyptienne datant de trois siècles avant notre ère (Anonyme, 2012).

Selon Bozzini (1988), les blés sauvages tétraploïdes sont très répandus au Proche-Orient, où les humains ont commencé à les collecter. Contrairement aux blés diploïdes qui étaient beaucoup plus intéressants pour la domestication en raison de leurs épis gigantesques et de leurs gros grains. Le blé dur est considéré comme originaire des régions actuelles de la Turquie, de la Syrie, de l'Irak et de l'Iran (Feldman, 2001).

3. Généralité sur le blé

Le blé est une espèce de monocotylédones du genre *Triticum* de la famille des Graminacées. Il s'agit d'une céréale au grain sec, le caryopse, qui est composé d'une graine et de téguments (Feillet, 2000). La production de blé à l'échelle mondiale est dominée aujourd'hui par deux espèces: le blé tendre et le blé dur.

3.1. Systématique

Selon Prats (1960) ; Crête (1965) ; Bonjean et Picard (1990) et Feillet (2000), le blé dur obéit à la classification suivante :

Embranchement : Spermaphytes

S/Embranchement : Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Super Ordre : Commeliniflorales

Ordre : Poales

Famille : Graminacée

Tribu : Triticeae

Sous tribu : Triticinae

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf.

3.2. Description botanique du blé dur

Le blé dur est une plante herbacée qui appartient au groupe des céréales à paille, caractérisées par des critères morphologiques particuliers (Fig.1) :

- ✓ La tige aérienne, porte le nom de chaume : elle est creuse et cylindrique, sa cavité est interrompue régulièrement, au niveau des nœuds, par des diaphragmes. La partie végétative du chaume se ramifie fréquemment à la base. Au niveau des nœuds, au contact du sol, apparaissent des bourgeons et des racines engendrant un nouvel axe feuillé (Dupont et Guignard, 2012).
- ✓ Les racines, sont nombreuses et de type fasciculé vu leur forme en faisceaux, elles prennent naissance à la base de la tige (Clement et Prat, 1970).
- ✓ Les feuilles sont alternées, ligulées et engainantes. Elles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe (Clement et Prat, 1970).
- ✓ L'inflorescence est toujours en épillets associés en inflorescence épis, se recouvrant étroitement les uns aux autres (Bonjean et Picard, 1990).

- ✓ Le grain est un fruit, appelé caryopse, c'est-à-dire un akène dont l'enveloppe est intimement soudée au tégument de la graine (Dupont et Guignard, 2012).

Les grains sont de forme ovoïdes, possédant sur l'une de leurs faces un sillon et à l'extrémité opposé de l'embryon des touffes de poils (la brosse) (Godon et *al.*, 1991 ; Hemery et *al.*, 2007). La longueur du grain de blé est comprise entre 5 et 8 mm, son poids entre 20 et 50 mg (Surget et Barron, 2005).

Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types de tissus : Le germe ou embryon (3%), les enveloppes (13 à 16%) et l'albumen (80 à 85%) (Kent et Evers, 1994 ; Barron et *al.*, 2007) (Fig. 1).

3.2.1. Embryon

Selon Godon et William (1991), l'embryon comporte :

- Le cotylédon unique ou scutellum riche en lipides et protéines ;
- La plantule plus ou moins différenciée ;
- La radicule ou racine embryonnaire protégée par le coléorhize, la gemmule comportant un nombre variable de feuilles visibles, enfermées dans un étui protecteur (le coléoptile).

3.2.2. Enveloppes

Selon Godon et William (1991), les enveloppes donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseur variable et sont formées de trois groupes de téguments soudés :

- Le péricarpe ou tégument, constitué de trois (3) assises cellulaires : l'épicarpe, protégé par la cuticule et les poils, le mésocarpe, formé de cellules transversales et l'endocarpe, constitué par des cellules tubulaires ;
- Le testa ou tégument de la graine, il est constitué de deux couches de cellules.
- L'épiderme du nucelle appliqué sur l'albumen sous-jacent.

3.2.3. Albumen

Principalement amylicé et vitreux chez le blé dur, l'albumen possède à sa périphérie une couche à aleurone riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicelluloses et minéraux (Godon et William, 1991).

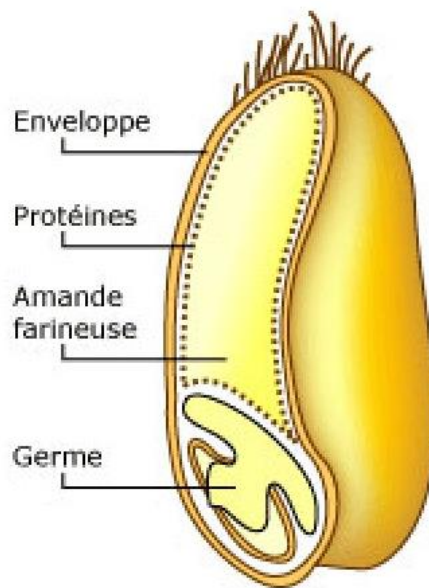


Figure 1 . Anatomie du grain de blé (Anonyme, 2018)

3.3. Composition biochimique du blé dur

Le cotylédon du blé représente 82% à 85% du grain. Il accumule toutes les substances nutritives nécessaires (les protéines, les glucides, les lipides, les substances minérales et les vitamines), pendant la maturité de la graine, soit dans le cotylédon, soit dans le péricarpe assurant la nutrition de la plantule lors de la germination.

La qualité du blé est influencée par chacun de ces constituants qui jouent un rôle seul ou en interaction avec d'autres constituants dans l'expression de la qualité (Cretois, 1985).

- Les protéines occupent 12% de la masse du grain, elles sont essentiellement localisées dans l'albumen et la couche à aleurone. Cette teneur est susceptible de varier (de 8 à 20% de MS), et ce, en fonction des variétés, des facteurs climatiques, agronomiques, des conditions physiologiques de développement de la plante, des parties histologiques du grain et de sa maturation. La teneur en protéines est un facteur déterminant des propriétés rhéologiques et culinaires des semoules. Elles sont responsables de la qualité des pâtes alimentaires à 87%. La qualité des protéines est un caractère extrêmement héritable et, seulement une partie est influencée par l'environnement (Liu et *al.*, 1996 ; cité par Mouellef, 2010).

Sur le plan quantitatif la teneur en protéines dépend essentiellement des conditions agronomiques du développement de la plante (Mok, 1997 ; cité par Derbal, 2009). Sur le

plan qualitatif, elle est basée sur les différences de propriétés des protéines, celles-ci étant liées au patrimoine génétique de la variété (Derbal, 2009).

- L'amidon est le composant essentiel du grain de blé. C'est une substance de réserve stockée dans les cellules de l'albumen du grain qui représente 65-70% (environ $\frac{3}{4}$ de M.S.). Chimiquement, l'amidon est un polymère de glucose, il se présente sous deux formes : l'amylose et l'amylopectine. La qualité de l'amidon dépend du rapport : amylose/amylopectine (Gibson et *al.*, 1997).
- Les lipides représentent en moyenne 2 à 3% du grain sec. Ce sont des constituants mineurs du blé, certains sont libres, mais la majorité sont associée aux composants majeurs (amidon et protéines). Les lipides jouent un rôle important dans la technologie des produits céréaliers, que ce soit lors de leur fabrication en intervenant sur les caractéristiques rhéologiques, l'émulsification et la production de composés volatiles des pâtes, et par conséquent sur la qualité du produit fini, ou au cours du stockage, en raison des altérations consécutives de leurs acides gras poly-insaturés facilement oxydables (Feillet et Dexter, 1996).
- Les enzymes dont les principales sont l' α et la β amylases, des protéases ainsi que des lipases et des lipoxygénases (Campion et Campion, 1995).
- Les substances minérales varient dans le même sens que le taux d'extraction des semoules (Dexter et Matsuo, 1977). D'après Matweef (1946), les cendres des enveloppes peuvent varier du simple au double pour la même variété de blé suivant son milieu de culture. Pour Matweef (1966), la teneur en cendres d'une semoule ne peut réellement servir de critère de pureté que dans la mesure où elle peut être ramenée à celle du grain entier par la détermination du rapport de la teneur en cendres des semoules sur la teneur en cendres du blé qui doit être inférieur à 0,5%.

3.4. Importance et production du blé dans le monde et en Algérie

3.4.1. Dans le monde

Le blédur est la céréale la plus employée dans l'alimentation humaine valorisée dans la fabrication des pâtes alimentaires (Jeantet *al.*, 2006 ; cité par Mouellef, 2010). De plus, cette céréale est utilisée aussi, en Afrique du Nord, pour la production de couscous et des pains traditionnels (la galette) (Feillet, 2000). Le blé dur occupe 8 à 10% du total des terres réservées aux blés dans le monde.

3.4.2. En Algérie

En Algérie, le blé dur *Triticum durum* Desf., est la première céréale cultivée dans le pays. Elle occupe annuellement plus d'un million d'hectares. La production nationale en blé dur est encore faible, elle ne couvre que 20 à 25 % des besoins du pays, le reste étant importé (Anonyme, 2008). Cette faible production est due à des contraintes abiotiques (stress hydrique, sécheresse, type et structure de sol, Ph, salinité...), biotiques (adventices) et humaines (itinéraires, techniques appliqués) (Chellali, 2007; cité par Mouellef, 2010).

Le blé dur occupe une place privilégiée, sa production a augmenté durant les cinq dernières années, elle a atteint le pic en 2016-2017 avec 158851 qx, sa production en 2021-2022 avec 148062 qx.

3.5. Exigences de blé

Pour son développement, la culture du blé nécessite des conditions édaphiques et climatiques spécifiques.

3.5.1. Exigence édaphiques (sol)

Selon Soltner (2005), trois traits caractérisent une bonne "terre à blé" :

- Une texture légère, limono-argileuse, qui garantira une grande surface de contact aux racines fasciculées du blé, ce qui garantira une bonne nutrition ;
- Une texture stable, qui ne subit pas de détérioration lors des précipitations hivernales.
- Le blé sera exempt d'asphyxie et la nitrification sera favorable au printemps. Il est important d'avoir une profondeur adéquate et une quantité adéquate de colloïdes argile et d'humus, afin de garantir la nutrition nécessaire aux gros rendements.

3.5.2. Exigences climatiques

a) Température

Selon l'ITGC (2006), le blé est une plante de climat tempéré qui peut être cultivée à des altitudes élevées. La température de germination idéale est comprise entre 12 et 20 °C. Le zéro de végétation se situe entre 3 et 4 °C. Il est vulnérable aux températures basses, en particulier aux gelées printanières qui entraînent la chute des fleurs. La même source ajoute que les températures élevées (vents chauds), qui sont associées à la croissance du grain, entraînent l'échauffement, ce qui diminue le rendement et impacte la qualité de la récolte.

b) Lumière

La lumière joue un rôle essentiel dans le bon déroulement de la photosynthèse et dans le comportement du blé (Soltner, 1990). Effectivement, un tallage optimal est assuré si le blé est exposé à des conditions d'éclairage optimales, du point de vue caractéristiques climatiques, les blés préfèrent les zones caractérisées par les jours longs. D'où la culture du blé est connue comme une plante à jours longs, son seuil héméroperiodique lui permettant de former des ébauches d'épillets se situe entre de 12 à 14 heures, ce seuil varie d'une variété à l'autre. Tandis que les jours courts retardent énormément l'initiation florale surtout si elle coïncide avec une période sèche.

Au-dessous de ce seuil de durée de jour, il n'y a pas de formation primordiale d'épillets et les plantes continueront à différencier des organes végétatifs (Simon et *al.*, 1989).

c) Pluviométrie

Selon Soltner (1990), l'eau joue un rôle crucial dans le développement de la plante. La culture nécessite entre 450 et 650 mm d'eau. De la phase d'épiaison jusqu'à la floraison, la demande en eau est considérablement accrue. En effet, le pic d'eau s'étend de 20 jours avant l'épiaison à 30 à 35 jours après la floraison (Loué, 1982).

Selon Ben Naceur et *al.* (1999), le stade pré-épiaison reste le plus vulnérable au manque d'eau, car une sécheresse survenant à ce stade peut diminuer les rendements en grains d'environ 70%.

3.6. Maladies du blé

Les maladies des céréales peuvent être classées en fonction des symptômes particuliers qu'elles provoquent et des parties de la plante qu'elles affectent (Aouali et Douici-Khalfi, 2013 ; Mallek, 2017). Ainsi, on peut distinguer :

- Les affections du pied (piétin échaudé, rhizoctone et fusariose) qui sont fréquentes et entraînent des pertes de culture, elles impactent la première partie du rendement.
- Les affections des feuilles (septorioses, rouilles et oïdium). Ces maladies ont un impact sur le feuillage en réduisant la surface des feuilles, ce qui entraîne une baisse de la photosynthèse donc des rendements.
- Les affections de l'épi (fusariose, septorioses, caries et charbons). Elles affectent considérablement la qualité du grain.

Selon Soltner (2012), les principales maladies fongiques qui affectent le blé dur sont :

- ✓ Le charbon du blé (*Ustilago tritici*) ;

- ✓ Les fusarioses (*Fusariumnivale* et *Fusariumroseum*);
- ✓ La rouille jaune (*Puccinia glumarum*) ;
- ✓ La rouille brune (*Puccinia triticina*);
- ✓ Les septorioses (*Septoria tritici* et *Septoria nodorum*) ;
- ✓ L'Oïdium (*Erysiphe graminis*);
- ✓ L'helminthosporiose (*Helminthosporium gramineum*).

3.7. Ravageurs

Au cours de leur croissance, les cultures de céréales sont fréquemment dégradées par des insectes nuisibles tels que les pucerons, les punaises et les vers blancs. Parmi les insectes présents dans les stocks, les dommages sont principalement dus aux coléoptères et aux lépidoptères (Berhaut et *al.*, 2003 ; Keskin et Ozkaya, 2015). Selon De Groot (2004), ils peuvent être divisés en deux catégories en fonction de leur importance : les ravageurs primaires et les ravageurs secondaires.

3.7.1. Ravageurs primaires

Les espèces appartenant à ce groupe attaquent des grains entiers en bonne santé. Selon Fleurat-Lessard (2015), certaines espèces pondent leurs œufs à l'intérieur du grain, tandis que d'autres pondent à la surface de la graine. Les larves pénètrent l'enveloppe dure de cette dernière et se nourrissent de l'amande très nutritive. Parmi ces insectes on trouve :

- **Charançon des grains, *Sitophilus granarius***

L'adulte de *Sitophilus granarius* (Coleoptera : Curculionidae) mesure 2,5 à 4,5 mm de long ; le corps est de couleur brun foncé, de forme ovale, avec de longues pièces buccales, transformées en une sorte de trompe, rostre, et de longues pattes, il est le plus dangereux pour les grains, non seulement par sa propre dégradation, mais aussi parce qu'il permet à tout un cortège de détritivores de terminer leurs ravages (Balachowsky, 1963).

- **Petit capucin des grains, *Rhyzopertha dominica***

Appelé aussi perceur des grains, *R. dominica* est caractérisé par un corps de couleur brun foncé plus ou au moins rougeâtre, de 3 mm de long, cylindrique et allongé, avec 10 segments d'antennes, dont les trois derniers sont très grands, sub-triangulaires et velus. Selon Ripusudan et *al.* (2002), Kavallieratos et *al.* (2012) et Cruz et *al.* (2016), cet insecte présente une tête dissimulée par le thorax qui l'enveloppe (Fig. 7). Il provoque des dégâts considérables en creusant des galeries dans tout le grain, il émet une odeur fétide, en cas d'infestation intense.

3.7.2. Ravageurs secondaires

- **Silvaindentelé, *Oryzaephilussurinamensis***

Les adultes d'*O. surinamensis* mesurent de 2,5 à 3,5 mm de long et se distinguent par leur couleur brune et leur corps aplati. Il s'agit d'une espèce qui se nourrit de débris, de grains de céréales ou de leurs dérivés (Steffan, 1978).

- **Tribolium rouge de la farine, *Tribolium castaneum***

La taille de l'adulte de *T. castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) est de 3 à 4 mm, son corps est étroit et allongé de couleur brun rougeâtre uniforme. Il s'agit d'un parasite commun qui peut contaminer les aliments stockés, tels que la farine et les grains de céréales; il se rencontre souvent dans les silos, les entrepôts, les boulangeries, les épiceries et les foyers, engendrant une odeur persistante des produits attaqués (Balachowsky, 1963 ; Gwinner et *al.*, 1996 ; Jarraya, 2003 ; Kheloul, 2021).

Parmi les insectes secondaires qui touchent aux stocks, le tribolium brun de la farine *T. confusum* développé dans le chapitre suivant

1. Description du *Tribolium confusum*

Le tribolium brun de la farine *T. confusum* est un insecte ravageur secondaire incapable de briser l'enveloppe dure des graines entières. Il s'attaque principalement à la farine, à la semoule et aux grains endommagés par d'autres insectes ou par la récolte mécanique (Ozkaya et *al.*, 2009).

2. Origine et répartition géographique

Selon Dawson (1977), l'espèce *T. confusum* est originaire d'Afrique, probablement d'Éthiopie. Elle est devenue mondiale grâce au commerce international. Pendant longtemps, les *Tribolium* ont été liés à des produits conservés, comme en témoignent les vestiges de *T. confusum* découverts dans des jarres contenant de la farine et des grains de céréales, dans un tombeau égyptien, il y a environ 2500 ans avant J.-C.

En dehors des lieux de stockage, Dlobel et Tran (1993) signalent que *T. confusum* est parfois observé sous les écorces des arbres où il se nourrirait de coléoptères xylophages, des Bostrichidae, et dans les nids d'abeilles sauvages. Grâce à une grande plasticité phénotypique, ces insectes ont pu coloniser les stocks et s'adapter aux changements de l'environnement.

3. Classification

Selon watt (1992) et Soldati et Soldati (2003), *T. confusum* est classé comme suit :

- **Embranchement** : Arthropoda
- **Sous-embranchement** : Hexapoda
- **Classe** : Insecta
- **Ordre** : Coleoptera
- **Famille** : Tenebrionidae
- **Sous-famille** : Tenebrioninae
- **Tribu** : Triboliini
- **Genre** : *Tribolium*
- **Espèce** : *Tribolium confusum* (Duval, 1868)

4. Cycle de développement

Le cycle de développement du *Tribolium confusum* comprend les stades suivants :

4.1. Œufs

Les œufs sont blancs, presque transparents, oblongs, très petits, d'environ 0,60 mm de long et 0,35 mm de large. Ils sont recouverts lors de la ponte d'une substance visqueuse qui leur permet de s'accrocher aux petites particules, ce qui les rend difficiles à distinguer dans la farine (Good, 1936). La femelle pond les œufs individuellement dans le substrat ou attachés à la face interne du récipient dans lequel ils sont pondus (Good, 1933).

4.2. Larves

La jeune larve (L1) d'environ 1 mm de long, initialement blanche, se transforme progressivement et prend une couleur jaune. Elle est de forme cylindrique, presque glabre, relativement très longue et recouverte de soies (Figure 2). Elle est dotée d'une paire d'urogomphes abdominaux et de trois paires de pattes. Les larves muent 7 à 8 fois pendant leur développement. Lorsque leur croissance est terminée, les larves âgées mesurent environ 6 à 7 mm de long, elles perdent peu à peu leur mobilité puis se transforment en nymphes (Fleurat-Lessard, 1982).



Figure 2 . Larve de *Tribolium confusum* (GX40) (Originale, 2024)

4.3. Nymphe

La nymphe est blanche ou semi-translucide à sa formation, mais peu de temps après, les segments thoraciques et abdominaux sont plus apparents et prennent plus tard une teinte crème pâle (Figure 3). La nymphe reste immobile et a une longueur d'environ 3,6 à 4,6 mm. Quand les pupes sont presque matures, les pattes, les pointes des mandibules et les urogomphes sont d'un brun foncé (Ho, 1969).

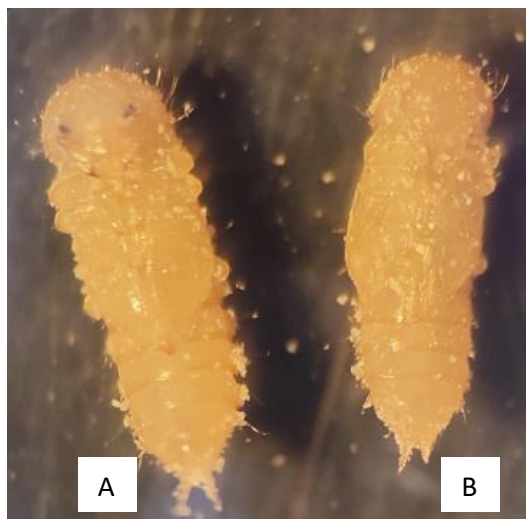


Figure 3 . Nymphe de *Tribolium confusum* (GX40). A : vue ventrale ; B : vue dorsale (Originale, 2024)

4.4. Imago

Lors de son émergence, l'imago (Figure 4) est d'un brun clair, la pigmentation corporelle augmente rapidement au cours des premières 24 heures pour devenir brun-rouge (Solimane, 1987). *Tribolium confusum* est une espèce de taille inférieure à 4 mm. Les intervalles des élytres sont très peu carénés, non costiformes ventralement. L'espace interoculaire est très large, mesurant 2,5 fois la largeur de l'œil. Le canthus des joues est très saillant au-dessus des yeux. La ponctuation du pronotum est fine et espacée, sans réticulation latérale. Les antennes sont sans véritable massue et se développent progressivement vers l'extrémité (Calmont et Soldati, 2008).

Selon Robinson (2005), *T. confusum* a des ailes membranaires bien développées, mais elle n'a jamais été observée voler, contrairement à *T. castaneum* qui est une bonne voilière.



Figure 4 . Adulte de *Tribolium confusum* (GX40) (Originale, 2024)

Tribolium confusum est morphologiquement très proche de *T. castaneum*, mais certains éléments permettent de distinguer les deux espèces. D'après Rees (2004), chez *T. castaneum*, les trois derniers segments antennaires forment une masse distincte. L'espace entre les yeux est légèrement plus étroit en vue ventrale, représentant environ 33% de la largeur de la tête. Dans le même environnement, la coexistence des deux espèces *T. castaneum* et *T. confusum* est possible, mais seulement à une densité de population faible (Sokolovoff et Lerner, 1967).

5. Dimorphisme sexuel

On peut identifier le sexe des adultes de *T. confusum* au stade nymphal. La nymphe femelle a deux petites cornes à la face ventrale, au-dessus de la paire d'urogomphes à l'extrémité très-aiguë et brun foncé, qui chez le mâle se réduisent à une légère protubérance déprimée au milieu (Brown et *al.*, 2009 ; Shukla et Palli, 2012).

6. Biologie de l'insecte

Selon Dawson (1964), les adultes de *T. confusum* ont la capacité de s'accoupler 17 à 20 heures après leur émergence, souvent à différents moments de la journée. La copulation dure de 1 à 2 minutes et la femelle commence à pondre des œufs fertiles entre 114 et 126 heures après la fécondation (Dawson, 1964 ; Stanley et Grundmann, 1965 ; Wojcik, 1969). D'après Dawson (1964), la femelle peut pondre 150 à 600 œufs (jusqu'à 900 œufs) durant sa vie, à des températures de 25°C et 32°C, respectivement. La femelle pond entre 2 et 11 œufs par jour, et l'éclosion dure 2 à 3 jours dans des conditions optimales de température de 35°C et d'HR de 75% (Hill, 2002).

Le stade larvaire dure entre 15 et 20 jours, il est généralement de 8 stades. Selon Mueller et Joshi (2000), l'apparition des adultes se produit entre 5 et 7 jours après la nymphose. D'après Robinson (2005), les conditions idéales de développement de *T. confusum* sont de 32,5°C et 70% d'HR, et le cycle est terminé en 25 jours.

Chez *T. confusum*, il est possible d'observer 5 générations successives par an (Drees et Jackman, 1998). Les adultes ont une durée de vie de 6 mois ou plus (jusqu'à 3 ans), les mâles vivent 634 jours à une température de 20 à 27 °C, tandis que les femelles vivent 447 jours (Robinson, 2005). Ces insectes ont souvent l'instinct carnivore et le cannibalisme, en particulier lorsqu'il y a une forte densité de population. Les nymphes et les œufs sont principalement consommés par les adultes et les larves âgées (Sokoloff et *al.*, 1980; Alabi et *al.*, 2008).

7. Ennemis naturels du *Tribolium*

D'après Good (1936), une coccidie du genre *Adelina* (parasites animaux) affecte les larves, les pupes et les adultes de *T. confusum* et *T. castaneum*. En seulement quelques mois, la maladie peut détruire une culture complète de *Tribolium*.

Selon le même auteur, deux acariens ont été signalés: *Acarophenax tribolii*, cible principalement les adultes, mais infeste également les œufs et les stades larvaires, *Pediculoides ventricosus*, cible les adultes et parfois les stades immatures de *Tribolium*. Deux hyménoptères parasites de la famille des *Bethylidae*, *Rhabdepyris zea* et *Sclerodermus immigrans*, ainsi qu'un coléoptère, *Tenebroides mauritanicus*, dont les adultes attaquent les larves de *Tribolium*, sont également mentionnés par l'auteur.

8. Dégâts

L'infestation des stocks par le *Tribolium* peut entraîner une contamination importante par les excréments et les cadavres (Figure 5). Les infestations par ce ravageur peuvent entraîner une diminution de la masse sèche du produit infesté et une augmentation de la teneur en eau, ce qui peut favoriser la croissance de moisissures.



Figure 5 . Semoule infestée par *Tribolium confusum* (Originale, 2024)

9. Moyens de lutte

Deux moyens de lutte sont utilisés, une préventive avant l'infestation et une curative, une fois les insectes sont installés dans les produits emmagasinés.

9.1. Lutte préventive

La lutte préventive englobe toutes les méthodes visant à diminuer les infestations et garantir une protection optimale des denrées stockées tout en préservant la qualité des produits, avant l'installation des ravageurs, ainsi qu'au début et pendant le stockage (De Groot, 2004 ; Cruz et *al.*, 2016).

D'après Kellouche (2005) ; Dubreil (2014), Cruz et *al.* (2016) et Waongo et *al.* (2019), cette lutte consiste à :

- Maintenir une hygiène rigoureuse des moyens de transport et d'aménager les structures de stockage afin d'éviter l'accès des espèces nuisibles.
- Prendre des mesures d'hygiène et vérifier les crevasses et les endroits susceptibles d'abriter les insectes avant de commencer à remplir les locaux de stockage.
- Sécher les graines afin de réduire l' taux d'humidité (entre 13% et 14%).
- Désinfecter les graines afin de garantir une conservation optimale.

- Surveiller les denrées stockées et éliminer les impuretés telles que les graines cassées et les poudres de farine.
- Il est important de prévenir toute introduction ou expansion d'insectes ou d'animaux déprédateurs, ainsi que de ne pas stocker des lots déjà contaminés.
- Après le stockage, il est essentiel de minimiser les risques de développement des ravageurs en assurant une ventilation qui permet de réduire la température du milieu afin de rendre les graines secs (sans moisissures) et en contrôlant les facteurs de développement des ravageurs (température et humidité).
- La préserver des graines dans des emballages résistants, tels que des sacs en plastique simple ou double, est efficace contre les larves et les adultes de certaines espèces.

9.2. Lutte curative

Elle apporte une contribution supplémentaire à la lutte préventive qui se révèle insuffisante après l'installation des ravageurs. Cette méthode utilise différents moyens de lutte (Jerraya, 2003).

9.2.1. Méthode chimique

Le moyen le plus fréquemment employé pour lutter contre les insectes est la lutte chimique, elle se divise en deux catégories : les insecticides à action immédiate, tels que les composés organiques de synthèse comme les pyréthrinoïdes organochlorés, et les fumigeants tels que le bromure de méthyle et le phosphore d'hydrogène (Park et *al.*, 2003). L'autre groupe concerne ceux qui restent sur les denrées et agissent pendant une période plus ou moins longue, tels que les insecticides de contact organochlorés et les carbamates tels que le Lindin (Jayakumar et *al.*, 2017). Même si les pesticides de synthèse sont extrêmement efficaces, ils peuvent causer de graves problèmes pour la santé des utilisateurs et des consommateurs. Ils entraînent la sélection de souches résistantes à certaines molécules, perturbent le contrôle biologique et l'écosystème (Amiri et *al.*, 2016).

9.2.2. Méthode physique

a. Températures extrêmes

La température ambiante de l'environnement de stockage est une variable qui influence la qualité du grain pendant une période de stockage de 12 mois à 35°C. Ce

phénomène entraîne une diminution de la couleur jaune du grain, du pH, de la solubilité des protéines, de la viscosité de dégradation, de la propriété de collage, des céréales infestées par la moisissure (Paraginski et *al.*, 2014). A cet effet, des traitements thermiques, tels que le chauffage et le refroidissement, sont utilisés depuis longtemps pour lutter contre les ravageurs infestant les produits stockés (Vincent et *al.*, 2000).

Selon Fleurat-Lessard (2018), l'exposition de l'insecte à une température supérieure à 50°C entraîne la mort de l'insecte et l'abaissement de la température de stockage entraîne le ralentissement et le freinage de développement de ces individus.

b. Radiations

Selon Gwinner et *al.* (1996), la sensibilité des ravageurs aux radiations varie selon les espèces. Les stades les plus sensibles sont les œufs et les larves. Ainsi, le rayonnement infrarouge (IR) assomme les adultes d'*O. surinamensis* en quatre secondes sans altérer la qualité des denrées alimentaires traitées (Athanassiou et *al.*, 2017). Bien que cette méthode soit efficace, elle exige des conditions de stockage adapté pour la sécurité des opérateurs et des consommateurs (Kellouche, 2005).

D'autres méthodes physiques pulvérisables sont utilisées dans les silos incluent l'utilisation d'atmosphères confinées de gaz comme que le CO₂, l'azote et l'ozone (Abdelfattah, 2021 ; Hashem et *al.*, 2021).

c. Insolation

Il s'agit d'une pratique couramment utilisée avant l'emmagasiner des récoltes. Grâce à la chaleur et à l'impact direct des rayons solaires, cette méthode permet de terminer le processus de séchage et de faire fuir les insectes (Lale et Vidal, 2003).

d. Modification de l'atmosphère du milieu

L'objectif de cette pratique est de diminuer le taux d'oxygène de l'atmosphère intergranulaire jusqu'à ce qu'il soit inférieur à 1 %, un taux mortel pour les insectes (Cruz et *al.*, 1988).

9.2.3. Lutte biotechnologique

Dans cette technique on utilise des phéromones de synthèse particulières pour surveiller et détecter d'éventuelles infestations dans les stocks. Cette technique suscite la confusion sexuelle et la capture en masse des insectes en la combinant avec des pièges et des attractifs alimentaires (Belouaer et Selahdja, 2020). Des régulateurs de croissance sont aussi

des hormones de synthèse et leurs homologues IGRs qui sont relativement efficaces contre diverses espèces. Elles sont employées dans des environnements confinés en diminuant la capacité de reproduction des ravageurs (Belouaer et Selahdja, 2020).

9.2.4. Lutte biologique

Selon Seck (1991), la lutte biologique implique l'emploi des ennemis naturels des ravageurs, tels que les prédateurs, les parasitoïdes ou les agents pathogènes, ainsi que des produits naturels minéraux ou végétaux. Ainsi, la reproduction en conditions contrôlées de *C. tarsalis*, un hyménoptère et auxiliaire de la lutte biologique contre *O. surinamensis* et son parasitoïde larvaire favori a été bien réussie (Maughan, 2012).

La lutte contre les ravageurs des produits stockés peut être réalisée en utilisant de nombreux nématodes, bactéries, champignons et virus (Cock et *al.*, 2016 ; Hajek et *al.*, 2020). Selon Schnepf et *al.* (1998), *Bacillus thuringiensis* est une bactérie Gram positive partout présente qui génère des cristaux paras poraux, qui sont des endotoxines à activité larvicide et adulticide pour les coléoptères, lépidoptères et diptères.

9.2.4.1. Poudres de plantes

Certains végétaux possèdent des propriétés insecticides et peuvent être perçus comme un moyen efficace pour lutter contre l'infestation, des denrées stockées, par les insectes. Selon Campolo et *al.* (2018), leurs poudres ont une action protectrice contre de nombreux insectes nuisibles et leurs propriétés insecticides sont souvent plus élevées dans certaines parties de la plante.

9.2.4.2. Extraits aqueux et extraits organiques

Les extraits aqueux sont couramment utilisés pour combattre les insectes. Ils sont fabriqués à partir de matières végétales telles que les feuilles, les tiges et le bois séché. Ils agissent plus lentement mais sont plus stables, ce qui leur confère une durée d'action plus longue dans le système de stockage (Brahmi, 2019).

Les extraits organiques sont des concentrations plus ou moins évaporées de macérations aqueuses ou alcooliques (Brahmi et *al.*, 2019). D'après Regnault-Roger (2003), les meilleurs extraits sont ceux de:

- L'eucalyptol, provenant de l'eucalyptus (*Eucalyptus* sp.) ;
- L'eugénol, provenant des clous de girofle (*Eugenia caryophyllata*) ;

- Le menthol, provenant du thym (*Thymus vulgaris*) ;
- La pulégone, provenant de la menthe pouliot (*Menthapulegium*).

9.2.4.3. Huiles végétales

Selon Couic-Marinier (2018), une huile végétale est produite à partir d'une huile brute ou raffinée, sans modification chimique, provenant de plantes oléagineuses. Elle est obtenue par simple pression à froid (de préférence), voire par une extraction ou une technique similaire.

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel en tant qu'insecticides de contact en raison de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Elles agissent de manière préventive en empêchant la ponte à l'intérieur des grains et le développement à la surface des grains, elles peuvent aussi tuer les œufs et les larves avant qu'elles ne pénètrent dans les grains (Belouaer et Selahdja, 2020).

9.2.4.4. Huiles essentielles

a. Définition

D'après Roulier (1990), une huile essentielle est un extrait pur et naturel issus de plantes aromatiques ; il renferme l'essence de la plante, c'est-à-dire son aromate. Selon Lardry et Haberkorn (2007), il s'agit d'une substance odorante, volatile, de texture huileuse, très concentrée.

b. Répartition et localisation

Les huiles essentielles peuvent être conservées dans différents organes tels que les fleurs (origan), les feuilles (citronnelle, eucalyptus), les écorces (canneliers), les bois (bois de rose, santal), la racine (vétiver), les rhizomes (acore), les fruits (badiane) ou les graines (carvi) (Messaoudene et Mouhou, 2017 ; Ben Chaaban et *al.*, 2019 ; Yang et *al.*, 2020).

c. Rôle des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont produites par les plantes en tant que métabolites secondaires, mais leur rôle précis dans les processus de la vie de la plante reste inconnu (Rai et *al.*, 2003). Selon certains auteurs, il est possible que les huiles essentielles jouent un rôle attractif pour les insectes pollinisateurs favorisant la pollinisation. D'autres auteurs pensent

que les huiles essentielles ont un impact hormonal, régulateur et catalyseur sur les métabolismes végétaux, aidant ainsi la plante à s'ajuster à son environnement (Bruneton, 1999 ; Guignard, 2000).

d. Principaux domaines d'utilisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont un large domaine d'utilisation :

- Elles sont employées dans divers secteurs, notamment dans les secteurs agroalimentaire et phytosanitaire comme agents de défense contre les champignons phytopathogènes et les microorganismes présents dans les produits alimentaires (Dubey et *al.*, 2011). En agroalimentaire, elles jouent un rôle dans la production de divers produits tels que les arômes apportant des saveurs aux aliments, elles sont employées aussi dans le secteur de la parfumerie, cosmétique et fabrication d'adhésifs comme la colle et le scotch (El Haib, 2011 ; Filomeno et *al.*, 2020 ; Paw et *al.*, 2020 ; Pandey et *al.*, 2021).
- Elles sont aussi utilisées à des fins thérapeutiques grâce à leurs propriétés médicales afin de traiter diverses affections (digestives, infectieuses, *etc.*) en exploitant leurs propriétés antimicrobiennes, anti-infectieuses, antalgiques, sédatives et antispasmodiques (Hamid et *al.*, 2011; Attou et *al.*, 2017; Asili et *al.*, 2021 ; Sriti et *al.*, 2023). Les propriétés cytotoxiques de ces plantes sont également utilisées comme antiseptiques et désinfectants pour lutter contre les maladies infectieuses bactériennes ou fongiques (Guinoiseau, 2010 ; Mahendran et Rahman, 2020 ; Argui et *al.*, 2021 ; Reborado-Rodriguez et Varela-Lopez, 2021). Les huiles essentielles ont une activité antioxydante qui est utilisée pour combattre le stress oxydatif, qui est responsable de certaines maladies dégénératives telles que les cancers, les accidents vasculaires cérébraux, l'arthrose, la maladie d'Alzheimer et celle de Parkinson (Attou et *al.*, 2007 ; Reborado-Rodriguez et *al.*, 2007).

e. Utilisation des huiles essentielles en tant que bio-pesticides

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

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

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

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

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

Les biopesticides à partir d'huiles essentielles représentent une catégorie d'insecticides captivante, car elles sont composées de divers constituants ayant des mécanismes d'action différents. De plus, elles possèdent de nombreux modes d'utilisation.

f. Procédés d'extraction des huiles essentielles

- **Entrainement à la vapeur d'eau**

L'entraînement à la vapeur d'eau est une forme plus récente de distillation, où la matière végétale n'est pas directement exposée à l'eau. Une chaudière distincte produit de la vapeur d'eau, puis elle est injectée à la base de l'alambic où se trouve la plante. La vapeur remonte dans l'alambic et traverse la plante. La vapeur d'eau qui contient de l'essence revient

à l'état liquide grâce à la condensation. Selon Lucchesi (2005), le produit de la distillation se divise en deux phases distinctes : l'huile et l'eau condensée, également connue sous le nom d'eau florale ou hydrolysât (Figure 6).

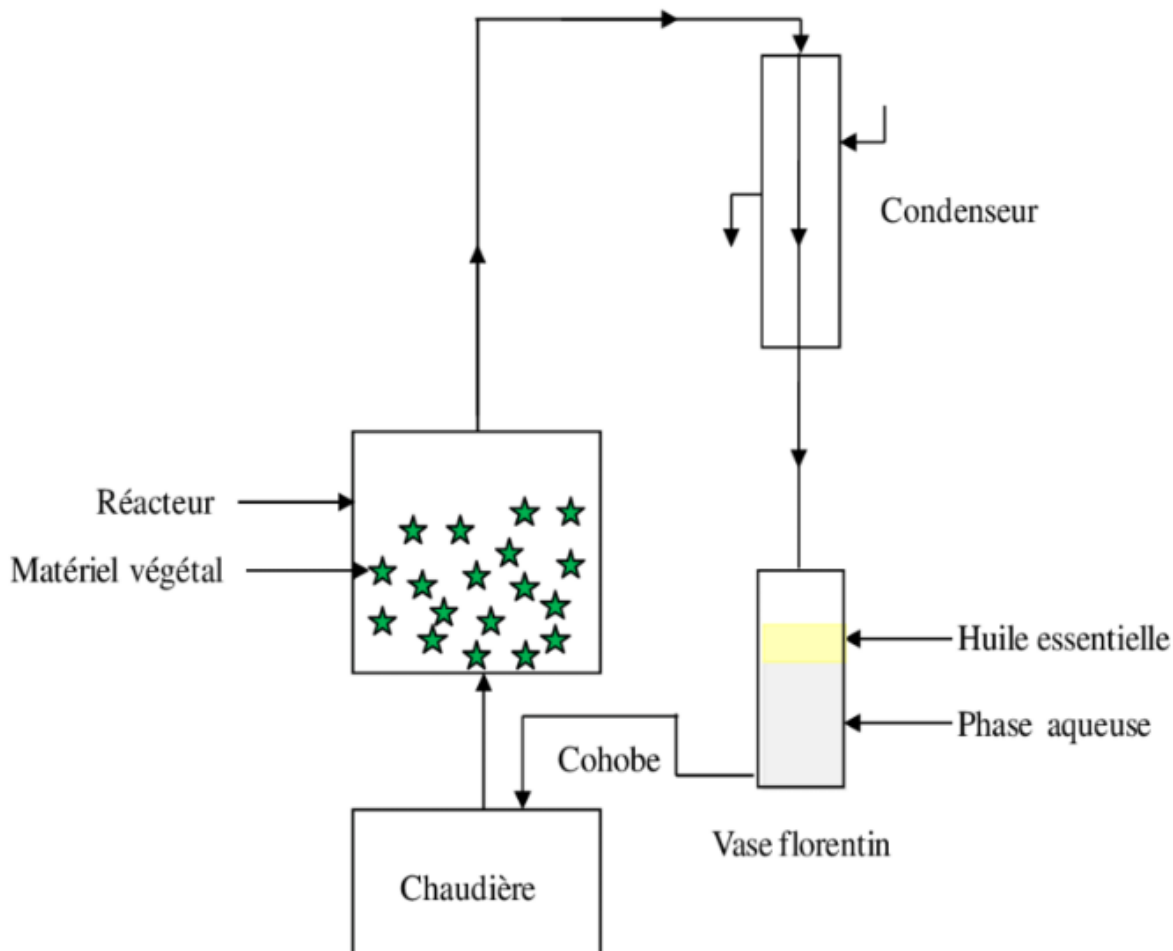


Figure 6 . Extraction par entraînement à la vapeur (Lucchesi, 2005),

- **Hydrodistillation**

L'hydrodistillation est une technique très similaire à la distillation à vapeur saturée, à l'exception que la plante aromatique (entière ou broyée) est directement plongée dans un alambic rempli à $\frac{3}{4}$ d'eau (Figure 7). Ce mélange est ensuite porté à ébullition à une température inférieure à 100°C. Selon Lucchesi (2005), les vapeurs hétérogènes se condensent sur une surface froide et l'huile essentielle se dissout de l'eau en raison d'une différence de densité, ce qui donne lieu à un hydrolat aromatique. Selon Lakhdar (2015), la durée d'extraction de l'huile varie en fonction de la plante.

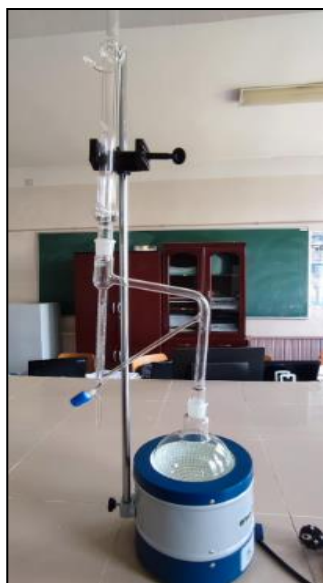


Figure 7 . Extraction par hydrodistillation (Appareil de Clevenger) (**Originale, 2024**),

- **Hydrodiffusion**

L'hydrodiffusion est une méthode d'extraction similaire à la distillation à la vapeur ; la principale distinction entre ces deux méthodes réside dans la façon dont la vapeur entre dans l'alambic (Figure 8). Selon Ranjitha et Vijyalakshmi (2014), lors de l'hydrodiffusion, la vapeur est introduite par le haut sur le matériel botanique plutôt que par le bas, contrairement à la distillation à la vapeur. Selon Tongnuanchan et Benjakui (2014), l'hydrodiffusion permet de diminuer la température de la vapeur à moins de 100 °C, ce qui permet de gagner du temps et d'améliorer son rendement.

- **Extraction par solvant**

Il semble que l'utilisation de solvants organiques soit une méthode extrêmement facile pour extraire les huiles essentielles des plantes délicates et pour générer de grandes quantités d'huile essentielle à un prix abordable (Chrissie, 1996). En général, le solvant est mélangé avec le matériau végétal, puis il est chauffé et filtré pour extraire l'huile essentielle; le filtrat est concentré par évaporation du solvant (Tongnuanchan et Benjakul, 2014). Cependant, l'utilisation de solvants peut entraîner à la fois une diminution des composés volatils et une extraction de certains composés non volatils, ce qui peut entraîner une diminution de l'efficacité et une altération de la qualité des huiles essentielles (Berka-Zougali et *al.*, 2012).

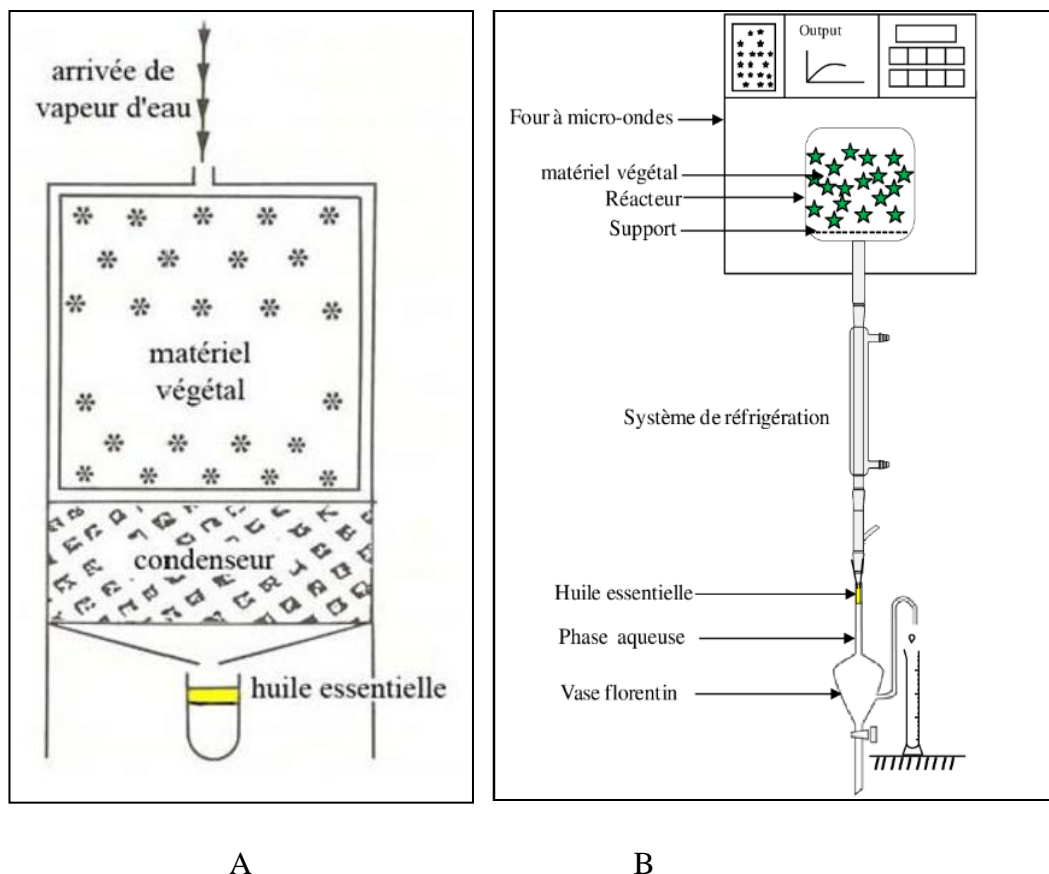


Figure 8 . Extraction par Hydrodiffusion non assistée (A) ou assistée par micro-ondes et gravité (MHG) (B) (Lucchesi, 2005),

- **Extraction sans solvant assistée par micro-ondes ESSAM**

La distillation assistée par micro-ondes est une méthode innovante de distillation sans solvant et sans eau (Lucchesi et *al.*, 2004).

Les micro-ondes, également appelées hyperfréquences, sont des ondes électromagnétiques qui se trouvent dans une plage de fréquences allant de 300MHz à 300GHz, elles se trouvent entre les fréquences radio et infrarouges. Le transfert de chaleur par micro-ondes est totalement différent du chauffage traditionnel où la chaleur est transmise de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. En cas de chauffage micro-ondes, la chaleur est générée par le produit traité, ce qui permet de dégager de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient (Fig. 16) (Chemat et Lucchesi, 2005 ; Chemat et *al.*, 2020).

Le processus d'extraction par micro-ondes consiste à placer le ballon contenant le matériau végétal dans l'enceinte du four à micro-ondes, tandis que le reste du dispositif reste à l'extérieur du four. D'après Bousbia et *al.* (2009) et Ferhat et *al.* (2016), cette méthode

présente des avantages en raison de sa rapidité, de son efficacité, de son respect de l'environnement et de la similarité de la composition de l'huile par rapport à une hydrodistillation traditionnelle.

- **Extraction par ultrasons**

La technique émergente de l'extraction des huiles essentielles par ultrasons (20 à 100KHz) consiste à immerger la matière première dans l'eau ou le solvant, puis à la soumettre à l'action des ultrasons. On peut l'utiliser pour extraire des composés aromatiques ou des essences de plantes, mais elle a principalement été conçue pour extraire certaines molécules qui présentent un intérêt thérapeutique (Salisova et *al.*, 1997 ; Bousbia, 2011, Ferradji et *al.*, 2016). Il s'agit d'une méthode reproductible, rapide, simple à mettre en place et peu énergivore (Chemat et *al.*, 2020).

g. Activité insecticide des huiles essentielle

Selon Tripathi et *al.* (2009), il a été mentionné que des huiles essentielles courantes qui ont des propriétés insecticides peuvent être inhalées, ingérées ou absorbées par la peau des insectes.

Cependant, d'après El-Wakiil (2013), il est essentiel de déterminer les quantités d'huile essentielle nécessaires pour éliminer les insectes nuisibles et leur mécanisme d'action afin d'améliorer la qualité et la durabilité du produit avant de les utiliser. De plus, chaque huile essentielle présente des caractéristiques plus ou moins spécifiques en ce qui concerne son efficacité sur une espèce d'insecte cible, ce qui demande une connaissance approfondie des espèces d'insectes à combattre, ainsi que la connaissance du spectre d'activité insecticide des huiles disponibles pour l'utilisation autorisée (Cruz et *al.*, 2016).

h. Mode d'action des huiles essentielles sur les insectes

Selon Saroukolaai et *al.* (2014), certaines substances volatiles des huiles essentielles sont réputées pour leur capacité à éradiquer divers parasites et sont considérées comme des biocides à faible risque. Ces substances ont des effets toxiques ou anti-appétissants pour les insectes prédateurs. Exemple de l'extrait de Nem qui a une action anti-appétissante et inhibitrice de la croissance des insectes. Il altère leur développement et empêche leur reproduction, ce qui les anéantis immédiatement (Bernard et *al.*, 2008; Kleeberg, 2008).

Selon Isman (2002), certaines substances altèrent le comportement des insectes en agissant

directement sur les sensilles périphériques. Ceci suggère que les substances actives de la plante entravent le comportement alimentaire des larves, tandis que d'autres perturbent l'équilibre hormonal ou rendent l'aliment inapproprié.

Selon Hikal *et al.* (2017), les huiles essentielles de certaines plantes ont une action à la fois sur les récepteurs gustatifs (goût) et olfactifs (odeurs) ainsi que sur les sens de l'insecte. Elles sont utilisées alors pour détourner leur attention et non pour les tuer.

Roeder (1999) rapporte que les huiles essentielles influencent les récepteurs de l'octopamine, un neurotransmetteur propre au système nerveux des invertébrés (absent chez les mammifères). Ce neurotransmetteur a un impact sur la motricité, la ventilation, les battements de cœur, le vol et le métabolisme. Selon Enan (2001), l'effet diffère d'un terpène à l'autre et les huiles essentielles peuvent activer ou inhiber le neurotransmetteur. En outre, le fait que certaines huiles essentielles aient une action rapide contre certains insectes est une indication d'un mode d'action neurotoxique, car elles agissent directement sur les neurones, ce qui entraîne la paralysie puis la mort de l'insecte (Koul *et al.*, 2008 ; Huignard, 2013).

i. Conservation des huiles essentielles

Selon Padrini et Lucheroni (2006), les huiles essentielles sont des substances très fragiles, qui peuvent facilement se dégrader et perdre leurs propriétés si elles ne sont pas stockées dans des flacons en verre ambré ou foncé bien fermés, à l'abri de l'air, de la lumière et de la chaleur. Les huiles essentielles peuvent être conservées pendant 5 ans, tandis que les essences extraites de zestes d'agrumes peuvent être conservées pendant 3 ans (Couic-Marinier et Lobsteine, 2013).

Notre travail expérimental sur les insectes ravageurs secondaires des denrées stockées *O. surinamensis* et *T. confusum*, s'est déroulé au niveau de laboratoire Production, Sauvegarde des Espèces Menacées et des Récoltes, Influence des Variations Climatiques (PSEMRVC) de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, durant la période du 27 /11 / 2023 au 26/06/ 2024.

Suite aux difficultés rencontrées pendant l'élevage du silvain dentelé, nous nous sommes limités à réaliser cette étude sur *T. confusum* uniquement. Le but de ce travail étant de :

- Observer et connaître les différents stades de développement de *Tribolium confusum* ;
- Tester l'efficacité par inhalation des huiles essentielles de la menthe poivrée et du basilic tropical isolément et en combinaison sur les adultes de *T. confusum*.

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Afin de mener notre expérimentation, nous avons employé divers outils et appareils (Figure 9), tels que :

- ❖ Des bocaux en plastique et en verre pour l'élevage de masse des adultes ;
- ❖ Etuve obscure équipée d'un thermomètre, réglée en vue d'avoir les conditions les plus propices qui permettent d'assurer un développement optimal des insectes, une température de $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de $50\pm 5\%$;
- ❖ Une balance électronique permettant de peser les divers substrats utilisés ;
- ❖ Une loupe binoculaire pour observer les différents stades de développement de l'insecte étudié ;
- ❖ Une micropipette de 0,5-2 μL de capacité pour le dosage des huiles essentielles ;
- ❖ Des bocaux hermétiques en verre et en plastique de 125ml de capacité pour les tests par inhalation ;
- ❖ Du papier filtre pour les tests par inhalation ;
- ❖ Des boîtes de Pétri ;
- ❖ Autres accessoires comme : le tamis, ciseaux, pinceaux, étiquettes, marqueur et fil.



Bocaux en verre



Micropipette (0,5 - 5 μ l)



Loupe binoculaire



Semoule stérilisée



Etuve



Papier filtre

Figure 9. Ensemble du matériel de laboratoire utilisé pendant nos expériences
(Originale, 2024).

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Insectes

Nos expériences ont été réalisées sur le tribolium brun de la farine (*T. confusum*) ; les individus utilisés sont âgés de moins de 7 jours et sont issus d'un élevage de masse réalisé au laboratoire sur de la semoule (Figure)

1.2.3. Matériel végétal

Pour l'élevage de masse et les tests par inhalation, nous avons utilisé la semoule moyenne qui provient du marché local.

La semoule est préalablement stérilisée à une température de 60°C pendant une heure avant d'être utilisée dans le but d'éliminer tous les interférents qui peuvent contaminer la semoule.

1.2.4. Huiles essentielles

Les HEs utilisées dans nos tests sont des huiles commerciales provenant du laboratoire Amaromazone. Il s'agit des HEs de la menthe poivrée et du basilic tropical (Figure 10). Ces HEs sont obtenues par hydrodistillation des parties aériennes des plantes.

1.2.4.1. Menthe poivrée

- **Classification**

Selon Cronquist (1981), la classification botanique de *M. piperita* est la suivante :

- ✓ **Règne** : Plantae
- ✓ **Embranchement** : Spermaphytes
- ✓ **Sous-Embranchement** : Angiospermes
- ✓ **Classe** : Dicotylédones
- ✓ **Sous-Classe** : Gamopétales
- ✓ **Ordre** : Lamiales
- ✓ **Famille** : Lamiacées
- ✓ **Genre** : *Mentha*
- ✓ **Espèce** : *Mentha piperita* L.

**Basilic tropical****Menthe poivrée**

Figure 10. Huiles essentielles de *Ocimum basilicum* et *Mentha piperita* utilisées dans nos tests de toxicité (Originale, 2024)

- **Origine et répartition géographique**

L'origine du nom « mentha » serait liée à « Mintha », une nymphe du fleuve des enfers dans la mythologie grecque et celui de « piperita » vient du mot pepper qui signifie poivrée. Cette plante aromatique originaire du Moyen-Orient est couramment employée pour la fabrication d'huile essentielle, principalement aux États-Unis, en Inde, en Chine et en Iran (Roggen-Crausaz et Monod, 2018; Tafrihi et al., 2021).

Le genre *Mentha* est divisé en quatre sections et 18 espèces et plus de 10 hybrides (Erceau et Pasquier, 2016).

- **Description**

M. piperita de la famille des Lamiacées est une plante herbacée vivace au feuillage généralement très aromatique, issue d'un croisement entre la menthe aquatique (*Mentha aquatica*) et la menthe verte (*Mentha spicata*).

Selon Goudjil (2016), elle mesure entre 30 et 90 cm de hauteur avec des tiges dressées ou ascendantes, de couleur rougeâtre-violet, lisses et se divisent en rameaux opposés. Les feuilles sont d'un vert intense, ovales, opposées, oblongues ou lancéolées, courtement pétiolées et dentées. Elles sont recouvertes de poils sécréteurs arrondis, dans lesquels s'accumulent les substances volatiles odorantes, utilisées pour extraire l'huile essentielle (Figure 11).

Le même auteur ajoute que les fleurs sont violacées, en glomérules plus ou moins nombreux, ovoïdes, à l'extrémité des rameaux, disposés eux-mêmes en épis terminaux. Les fruits sont des tétrakènes ovoïdes, brillants, de couleur sombre, divisés en quatre parties, entourés d'un calice persistant. L'odeur est puissante, la saveur est piquante et rafraîchissante.

Cette plante préfère beaucoup plus les sols frais et humides, bien drainés et humifères. La menthe poivrée est utilisée en phytothérapie, en cuisine et en industrie alimentaire pour ses propriétés aromatiques et médicinales (Taferihi et *al.*, 2021).



Figure 11. Morphologie de la menthe poivrée (Originale, 2024).

- **Composition chimique**

L'analyse chromatographique par CG/MS de l'huile essentielle extraite de la partie aérienne de la menthe poivrée, réalisée au niveau du Centre de Recherche des Analyses Physicochimiques (CRAPC) de Bousmail, Tipaza (Algérie) (Laoudi, 2023), montre que ses composés majeurs sont :

- Les monoterpènes oxygénés à 81,8% ;
- Le menthol à 24,45% ;
- L'isomenthone à 11.92 %

1.2.4.2. Basilic tropical

- **Classification**

Selon Cronquist (1981), le basilic tropical est classé comme suit :

- ✓ **Règne** : Plantae
- ✓ **Embranchement** : Spermaphytes

- ✓ **Sous-embranchement** : Angiospermes
- ✓ **Classe** : Magnoliopsida
- ✓ **Ordre** : Lamiales
- ✓ **Famille** : Lamiaceae
- ✓ **Sous famille** : Nepetoideae
- ✓ **Genre** : *Ocimum*
- ✓ **Espèce** : *Ocimum basilicum* L.

- **Origine et répartition géographique**

D'origine Asiatique, Indienne et Vietnamiennne, cette espèce se développe à l'état sauvage dans toutes les zones tropicales (Vanier et *al.*, 2006).

Actuellement, elle pousse à l'état sauvage dans les régions tropicales et subtropicales incluant l'Afrique centrale et le sud-ouest d'Asie (Rajamanickam et *al.*, 2017).

En Afrique de l'Ouest, les espèces du genre *Ocimum* sont cultivées pour leurs vertus et sont largement répandues sur tout le territoire (Kpodékon et *al.*, 2014 ; Kpètèhoto et *al.*, 2017).

- **Description**

Le basilic tropical (*Ocimum basilicum*) appelé aussi basilic doux ou royal appartient à la famille des Lamiaceae qui compte environ 150 espèces ; c'est l'une des plantes herbacées annuelles, vivaces et aromatiques les plus utilisées sur le plan médicinal et alimentaire (Purushothaman et *al.*, 2018).

Selon le même auteur, le plant peut mesurer entre 30 et 60 cm de hauteur, les tiges sont anguleuses et ramifiées, avec des feuilles opposées ovales à oblongues, généralement vertes et brillantes. Les feuilles mesurent de 2 à 5 cm de long, sont entières ou dentées et ont des bords ciliés. Les fleurs, de couleur crème, blanche, rose ou violacée selon la variété, sont petites et regroupées en épis à l'extrémité des rameaux et à l'aisselle des feuilles (Figure 12).

Les fruits sont des tétramères renfermant chacun une seule graine marron-noire oblongue (Khoualdi et Boughrara, 2018).



Figure 12. Morphologie du basilic tropical (Originale, 2024).

- **Composition chimique**

Selon Laoudi (2023), l'analyse chromatographique par CG/MS de l'huile essentielle des feuilles d'*O. basilicum*, montre qu'elle est riche en :

- Monoterpènes oxygénés à 81% ;
- Estragol à 71.11% ;
- Linalol à 19.44%.

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse

Des adultes du *Tribolium confusum* d'âge indéterminé sont récoltés à partir des substrats déjà infestés puis placés en contact de la semoule dans des récipients en verre et en plastique dont le couvercle est équipé de petits trous d'aération et d'un dispositif (tissu) qui empêche la sortie des insectes. Cet élevage est réalisé dans une étuve obscure à une température de $28 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $50 \pm 5\%$.

Après une durée d'une semaine, les adultes sont retirés, les œufs pondus sont laissés évoluer jusqu'au stade adulte.

L'objectif de cet élevage consiste à produire une génération homogène d'insectes et en quantité suffisante pour les tests de toxicité.

2.2. Activité insecticide des huiles essentielles d'*O. basilicum* et de *M. piperita*

Il s'agit d'un test visant à évaluer l'impact biocide par inhalation des huiles essentielles isolement et en combinaison sur les adultes de *Tribolium confusum*. Plusieurs doses sont évaluées en fonction de la durée d'exposition.

Vingt (20) adultes de *Tribolium confusum* âgés de moins de 7 jours sont placés dans des bocaux en verre hermétiques de 150 ml de volume, avec 1g de semoule.

A l'aide d'une micropipette, des doses de 4µl, 6µl, 8µl et 10µl de chaque huile essentielle sont injectées sur des disques de papier filtre de 2 cm de diamètre, puis suspendus à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle (Figure 13).

Concernant la combinaison des deux huiles essentielles, les mêmes doses sont utilisées à raison de 50% chacune soient : 4µl (2µl/2µl), 6µl (3µl/3µl), 8µl (4µl/4µl) et 10µl (5µl/5µl). Parallèlement, un lot témoin qui n'a pas été traité avec les huiles essentielles est effectué.

Pour chaque dose et pour le témoin quatre répétitions sont réalisées pour les HES séparées ou en combinaison. L'ensemble des bocaux est placé dans une étuve obscure à une température de 28±1°C et une humidité relative de 50±5%.

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

2.3. Estimation de la dose létale DL50

L'estimation de la dose létale à partir de laquelle nous obtenons 50% de mortalité d'une population soumise à l'expérience, est réalisée pour les tests par inhalation (adultes) après 24h d'exposition à l'huile essentielle. La mortalité corrigée (Mc) est calculée à partir des mortalités observées (Mo) en tenant compte de la mortalité naturelle du témoin (Mt) en utilisant la règle d'Abbott (1925) :

$$Mc\% = (Mo - Mt) / (100 - Mt) \times 100$$

Mo : Mortalité observée.

Mt : Mortalité observée dans le lot témoin

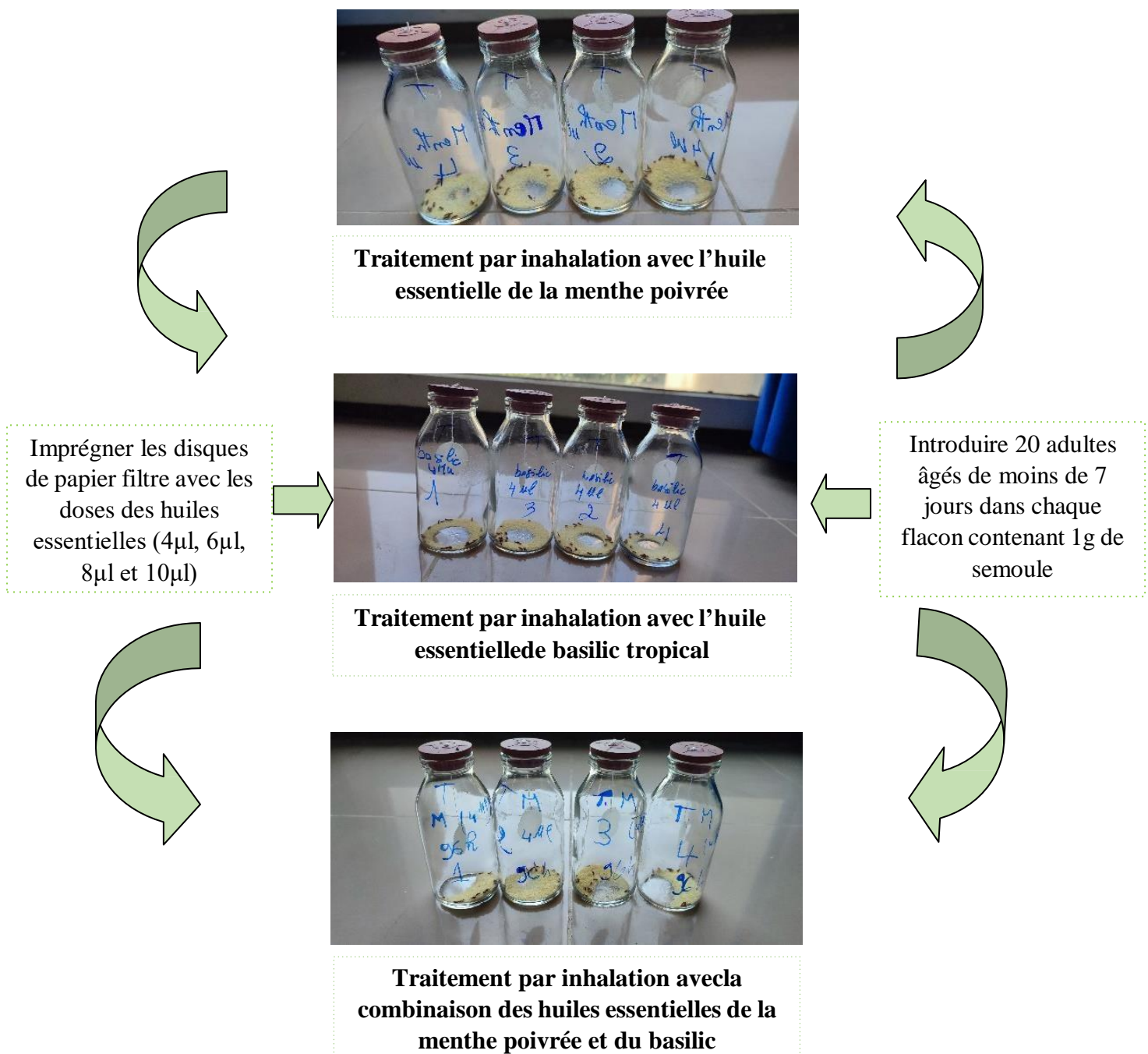


Figure 13. Dispositif expérimental du test par inhalation par les huiles essentielles de menthe poivrée et de basilic tropical à l'égard des adultes de *T. confusum* (Originale, 2024).

Les mortalités corrigées sont transformées en probits en utilisant la table des probits et les doses sont transformées en logarithme, ce qui permet d'établir les équations de la droite de régression pour chaque test et de déterminer la valeur de la DL50 pour chacune des huiles essentielles et pour leur combinaison.

2.4. Analyse statistique

Afin d'évaluer l'effet des huiles essentielles sur *T. confusum*, les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique en utilisant le logiciel R version 2.3.2. Etant donné que la normalité n'est pas vérifiée, le test de Kruskal-Wallis est utilisé au seuil de signification de 5%.

Lorsque la probabilité est :

$P > 0.05$, il n'y a pas de différence significative.

$0.01 < p < 0.05$, il y a une différence significative.

$0.001 < p < 0.1$, il y a une différence hautement significative.

$P < 0.001$, il y a une différence très hautement significative.

1. Evaluation de la toxicité par inhalation des huiles essentielles

L'activité insecticide de la menthe poivrée, du basilic tropical et de leur association est évaluée par inhalation par le dénombrement des adultes morts.

1.1. Toxicité de la menthe poivrée sur les adultes

Les taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par l'huile essentielle de *M. piperita*, par inhalation, sont mentionnés dans la figure ci-dessous.

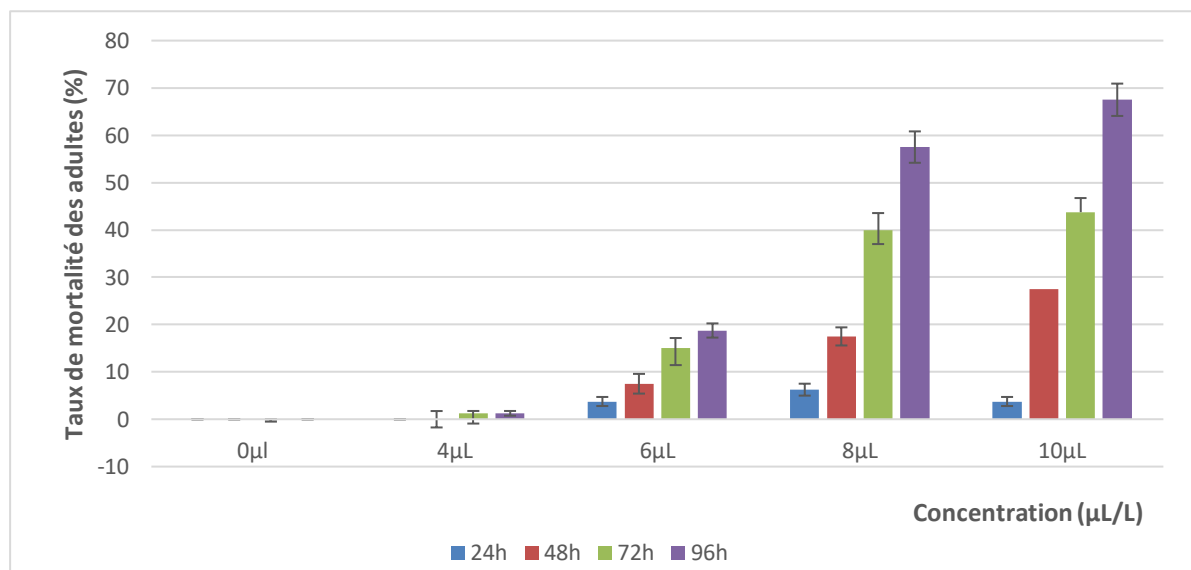


Figure 14. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne \pm ET) des adultes de *T. confusum* traités par l'huile essentielle de la menthe poivrée en fonction des doses et de la durée d'exposition

Le taux moyen de mortalité des insectes dans le lot témoin qui n'a subi aucun traitement et qui représente la mortalité naturelle, est nul. Au contraire, les résultats montrent que la mortalité des adultes de *T. confusum* augmente avec l'augmentation de la dose et de la durée d'exposition dans les bocaux traités avec l'huile essentielle.

A la dose 8µL, la mortalité observée dépasse les 50% après 96h d'exposition. A la plus forte dose de 10µL, la mortalité des adultes atteint presque les 70%, enregistrée après 96h d'exposition à l'huile essentielle.

L'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle de *M. piperita*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*, indique une différence

significative pour les facteurs doses et temps d'exposition qui sont de $p = 0.035$ et $p = 0.024$, respectivement (Tableau 1).

Tableau 1. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle de *M. piperita*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*

	χ^2	p	df
Dose	2.768	0.035	5
Temps	2.251	0.024	4

1.2. Toxicité de l'huile essentielle de basilic tropical sur les adultes

Les taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par l'huile essentielle d'*O. basilicum*, par inhalation, sont mentionnés dans la figure ci-dessous.

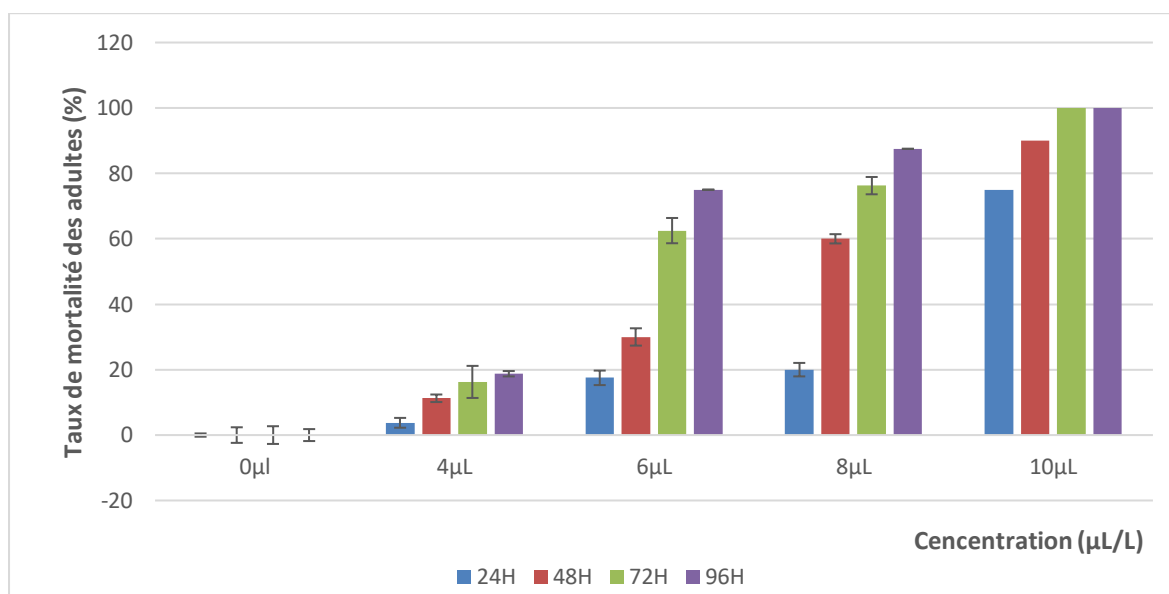


Figure 15. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne \pm ET) des adultes de *T. confusum* traités par l'huile essentielle de basilic tropical en fonction des doses et de la durée d'exposition

Tandis que le taux moyen de mortalité des insectes dans le lot témoin est nul, les résultats montrent que la mortalité des adultes de *T. confusum* augmente avec la dose et la durée d'exposition dans les bocal traités.

Après une durée d'exposition de 72h, la mortalité observée est de 62,5% à la dose de 6µL. A partir de la dose 8µL, le taux de mortalité se rapproche des 100% après 96h d'exposition à l'huile essentielle. A la plus forte dose de 10µL, la mortalité des adultes est totale, enregistrée après 96h d'exposition.

Le test statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle d'*O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*, indique une différence significative des facteurs doses et temps d'exposition (Tableau 2), avec des valeurs de la probabilité p de 0.048 et 0.022 respectivement

Tableau 2. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de l'huile essentielle d'*O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*

	χ^2	p	df
Dose	3.2349	0.048	5
Temps	1.7997	0.022	4

1.3.Toxicité de la combinaison de la menthe poivrée et du basilic tropical

Les taux de mortalité des adultes de *T. confusum* traités par la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum*, par inhalation, sont illustrés dans la figure 16.

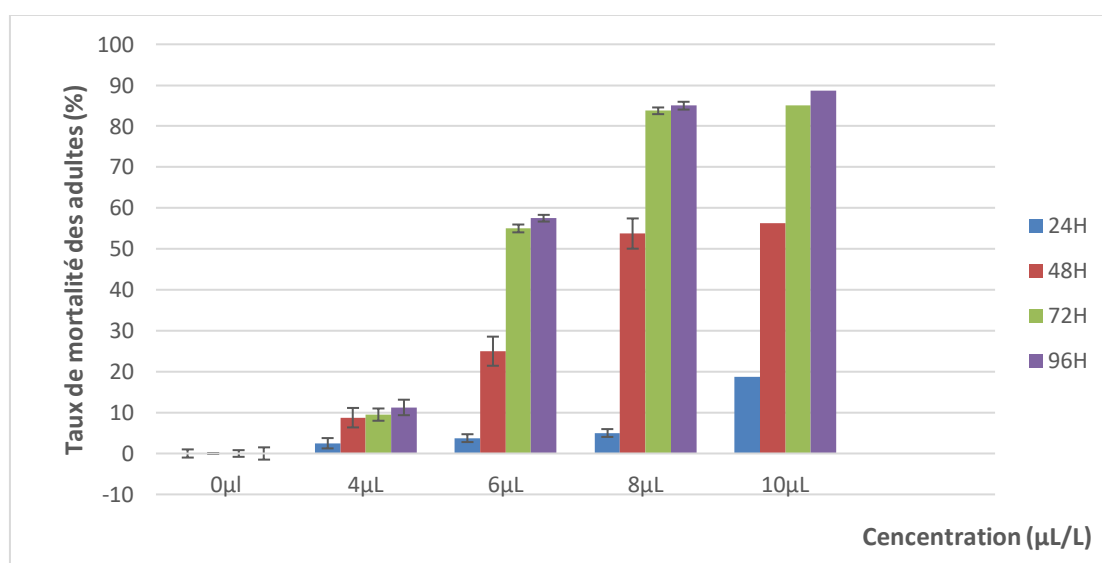


Figure 16. Taux moyen de mortalité (en %) (Moyenne \pm ET) des adultes de *T. confusum* traités par la combinaison des huiles essentielles (menthe poivrée+ basilic tropical) en fonction des doses et de la durée d'exposition.

Le taux moyen de mortalité des insectes dans le lot témoin reste toujours nul comparativement aux bocalx traités où les résultats montrent une mortalité des adultes de *T. confusum* qui est dose et temps dépendante.

Après une durée d'exposition de 72h et à la dose 6 µL, la mortalité observée dépasse les 50%. A partir de la dose 8µL, les taux de mortalité sont semblables entre les temps

d'expositions de 72h et 96h. C'est à la plus forte dose de 10 μ L qu'une mortalité des adultes atteint un maximum de 88,75% après 96h d'exposition.

L'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de la mixture des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*, indique une différence significative des facteurs doses et temps d'exposition soient des valeurs de p de 0.040 et 0.039, respectivement (Tableau 3).

Tableau 3. Résultats de l'analyse statistique de Kruskal-Wallis pour l'effet de la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum*, par inhalation, sur la mortalité des adultes de *T. confusum*

	χ^2	p	df
Dose	5.1049	0.040	5
Temps	4.087	0.039	4

2. Estimation de la concentration létale CL₅₀

2.1. Menthe poivrée

La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec *M. piperita* par inhalation après une durée d'exposition de 24h, est représentée dans la figure ci-dessous.

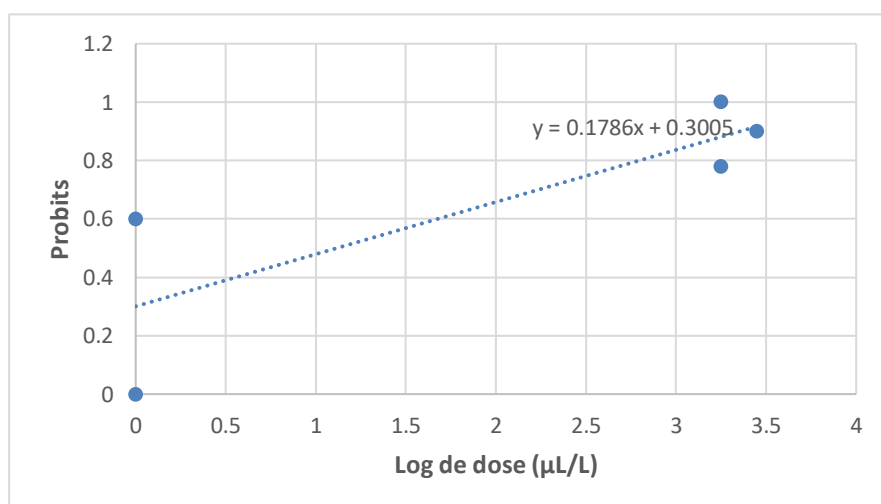


Figure 17. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de *T. confusum* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action de huile essentielle de la menthe poivrée

La figure ci-dessus montre qu'il y a une corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses ; la CL_{50} obtenue avec l'huile essentielle de *M. piperita* est de 26,31 $\mu\text{L/L}$.

2.2. Basilic tropical

La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec l'huile essentielle d'*O. basilicum* par inhalation est illustrée dans la figure 18.

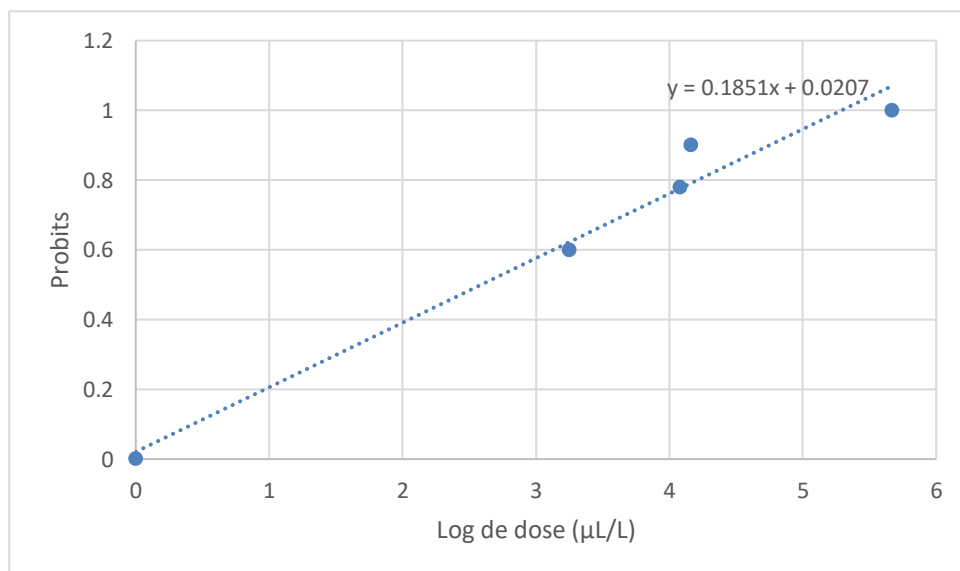


Figure 18. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de *T. confusum* en fonction du logarithme des doses de l'huile essentielle de basilic tropical

La figure montre qu'il y a une corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses de l'huile essentielle de basilic tropical. La concentration létale obtenue à partir de l'équation est alors de 26,90 $\mu\text{L/L}$.

2.3. Combinaison des huiles essentielles de la menthe poivrée et de basilic tropical

La concentration létale pour laquelle nous obtenons 50% de mortalité des adultes de *T. confusum*, traités avec la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum* par inhalation est représentée dans la figure 19.

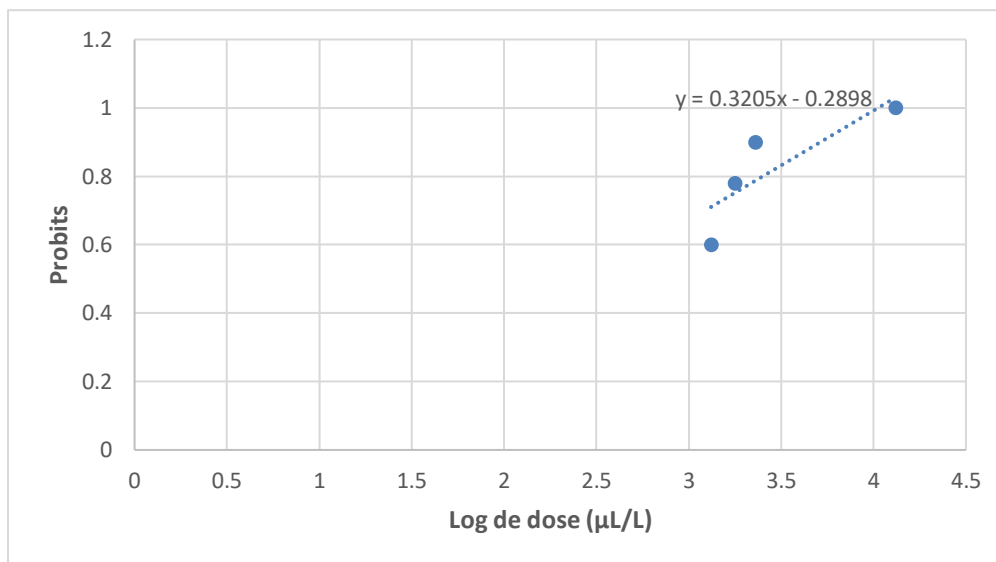


Figure 19. Ajustement d'une droite de régression des taux de mortalités corrigées des adultes de *T. confusum* en fonction du logarithme des temps soumis à l'action de la combinaison des huiles essentielles de la menthe poivrée et du basilic tropical

La figure 19 montre qu'il y a une corrélation positive entre la mortalité corrigée et le Log des doses et les résultats de la CL_{50} obtenus avec la combinaison des deux huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum* est de 16,50 µL/L. Cette valeur de la CL_{50} suggère que la combinaison des huiles essentielles est plus toxique que les huiles utilisées séparément.

3. Discussion

Les résultats des tests par inhalation à l'égard des adultes de *T. confusum* ont montré que les huiles essentielles de la menthe poivrée, le basilic tropical et la combinaison de ces deux derniers présente une bio efficacité importante et variable selon les doses testées et le temps d'exposition.

Avec l'huile essentielle de la menthe poivrée (*M. piperita*), les résultats montrent un maximum de mortalité de 67,5 %, à la dose la plus élevée de 10 µL après 96 h d'exposition à l'huile essentielle. Ces résultats indiquent que la toxicité de cette huile est faible par rapport à celle rapportée par d'autres chercheurs sur d'autres insectes. Un taux de mortalité de 100% chez les adultes d'*Acanthoscelides obtecus* Say. (Coleoptera : Chrysomelidae) (Khelfane-Goucem et al., 2016) et ceux de *Callosobrochus maculatus* (Kellouche et al., 2010), et 94% chez *O. surinamensis*, à la dose de 12 µL (Laoudi, 2023) et 94% chez *T. castaneum*, à la dose de 10 µL/L (Pang et al., 2019) et cela pour la même durée d'exposition.

L'huile essentielle d'*O. basilicum* a induit 100% de mortalité chez les adultes avec la dose 10µL après 72h d'exposition à l'huile essentielle. Par rapport à celles obtenus par El-Nedjar (2022) sur la combinaison de trois huiles essentielles, *M. piperita*, *O. basilicum* et *Lavandula spica*, à l'égard des adultes, larves et œufs d'*O. surinamensis*. Une mortalité totale des adultes est observée à la dose 10.5 µL dès les premières 48h d'exposition. Ces résultats suggèrent que le *T. confusum* serait plus résistant à l'huile essentielle d'*O. basilicum* par rapport à l'insecte ravageur *O. surinamensis*

Avec la combinaison des deux huiles essentielles (*M. piperita* et *O. basilicum*), le plus fort taux de mortalité est obtenu avec la dose de 10 µL, après 96 h d'exposition avec une moyenne de 88,75%. Par rapport aux résultats obtenus par de Hammouten et Ben Ouarab (2022), sur l'association de trois huiles essentielle *M. piperita*, *O. basilicum* et *Lavandula spica*, vis-à-vis des adultes et larves d'*O. surinamensis*, une mortalité totale des adultes est obtenue à la dose 4.5µl, après 72h d'exposition. Ce qui rejoint le résultat obtenu avec l'huile essentielle d'*Ocimum basilicum* lorsqu'elle utilisée seule ; ce qui serait probablement dû à une plus forte sensibilité d'*O. surinamensis* à l'égard de cette huile essentielle.

Conclusion

Au terme de ce travail de recherche dont l'objectif est d'évaluer la bio-efficacité des huiles essentielles seules et en combinaison, par inhalation, à l'égard du stade adulte de *Tribolium confusum*, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Les huiles essentielles testées utilisées seules ou combinées exercent une toxicité significative par inhalation sur ce ravageur potentiel des denrées stockées.

La dose et le temps d'exposition sont des facteurs qui influencent l'efficacité du traitement appliqué par inhalation sur les adultes du tribolium brun de la farine. Les huiles essentielles testées affectent de façon très significative la mortalité des adultes qui est huile et dose dépendante.

Une mortalité de 100% est enregistrée pour l'huile essentielle d'*O. basilicum* à la dose 10 μ L, après 72 h d'exposition. Par ailleurs, la combinaison des huiles essentielles de *M. piperita* et *O. basilicum* a manifesté un effet létal de 88.75% à la dose 10 μ L, après un temps d'exposition le plus long de 96 h. *Mentha piperita* pour sa part, a manifesté un effet toxique le plus faible évalué à 67.5 % à la plus forte dose de 10 μ L après 96h d'exposition.

L'estimation de la concentration létale qui tue 50% des individus soumis aux traitements par fumigation nous a permis de classer les substances utilisées selon leur degré de toxicité par fumigation, sur les adultes de *T. confusum* de la plus toxique jusqu'à la moins toxique : la mixture des deux huiles essentielles *O. basilicum* + *M. piperita* (CL50 = 16,50 μ L/L), l'huile essentielle d'*O. basilicum* (CL50 = 26,90 μ L/L), l'huile essentielle de la menthe poivrée. (CL50 = 36,31 μ L/L),

Prenant en considération l'importance des dépenses occasionnées par l'importation des céréales, et celle des pesticides, dont l'utilisation représente, un danger certain pour le consommateur, la méthode de lutte par la combinaison de plusieurs huiles essentielles pourrait ouvrir une piste très intéressante dans la recherche d'une méthode de lutte alternative contre les ravageurs des grains stockés en Algérie. Cette méthode permet de réduire les désavantages de l'utilisation des insecticides chimiques et espérer, au moins, une diminution de l'utilisation des pesticides chimiques et leur substitution par des biopesticides.

Pour définir les composés et les huiles essentielles les plus toxiques, il serait pertinent de compléter cette étude par d'autres tests de toxicité sur les différents stades de développement de cet insecte, et d'identifier les molécules actives de ces substances

Conclusion

naturelles. D'autres mélanges d'huiles essentielles pourraient également être testés sur l'insecte afin de trouver le mélange des huiles essentielles le plus efficace et le moins coûteux.

Il est donc nécessaire d'effectuer des études supplémentaires avant d'appliquer ces substances naturelles à une plus grande échelle afin de prévenir d'éventuels dangers tant pour l'environnement que pour la santé humaine et animale.

- **Abdelfattah, N.A.H., Al-Qahtani, A.R., & Qari, S.H. (2021).** SCoT-marker analysis of *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) and stored date kernels of *Phoenix dactylifera* (L.) fumigated with ozone and phosphine gases. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 24, 843-849.
- **Abraz, F. (2015).** Etude de l'activité biologique des extraits de quelques plantes aromatiques à l'égard d'un insecte ravageur des grains stockés, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Mémoire de magister en biologie, UMMTO, Algérie, 48p.
- **Abraz, F. (2015).** Etude de l'activité biologique des extraits de quelques plantes aromatiques à l'égard d'un insecte ravageur des grains stockés, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Mémoire de magister en biologie, UMMTO, Algérie, 48p.
- **Aissaoui, F. (2022).** Biologie et lutte contre trois pyrales des denrées stockées. Thèse de doctorat en biologie, UMMTO, Algérie, 172p.
- **Aissaoui, F., Hedjal-Chebheb, M., Soltani, A., Haouel-Hamdi, S., Talhi, O., Chérif Ziani, B.F., & Mediouni-Benjemâa, J. (2021).** Variations of chemical composition of two Algerian essential oils collected for different seasons and assessment of their insecticidal toxicity against three moth pests. *J. Plant Dis. Prot.*, 128, 1167-1176.
- **Alabi, T., Michaud, J.P., Arnaud, L., Haubruge, E., (2008).** A comparative study of cannibalism and predation in seven species of flour beetle. *Ecol. Entomol.* 33, 716–726.
- **Amiri, R., Pakyari, H., & Arbab, A. (2016).** Repellency of three plants extraction against *Oryzaephilus surinamensis* and *Oryzaephilus Mercator* (Coleoptera: Silvanidae). *J. Entomol. Zool. Stud.*, 4(6), 864-867.
- **Argui, H., Youchret-Zalleza, O.B., Suner, S.C., Periz, C.D., Türker, G., Ulusoy, S., Ben-Attia, M., Büyükkaya, F., Oral, A., Coskun, Y., & Said, H. (2021).** Isolation, chemical composition, physicochemical properties, and antibacterial activity of *Cupressus sempervirens* L. essential oil. *J. Essent. Oil-Bear. Plants*, 24(3), 439-452.
- **Asili, J., Tayarani-Najaran, Z., Emami, S.A., Iranshahi, M., Sahebkar, A., & Eghbali, S. (2021).** Chemical composition, cytotoxic and antibacterial activity of essential oil from aerial parts of *Salvia tebesana* Bunge. *J. Essent. Oil. Bear. Plants*, 24(1), 31-39.
- **Athanassiou, C.G., Chiou, A., Rumbos, C.I., Sotiroidas, V., Sakka, M., Nikolidaki, E.K., Panagopoulou, E.A., Kouvelas, A., Katechaki, E., & Karathanos, V.T. (2017).** Effect of nitrogen in combination with elevated temperatures on insects, microbes and organoleptic characteristics of stored currants. *J. Pest Sci.*, 90, 557-567.
- **Attou, A., Davenne, D., Benmansour, A., & Lazouni, HA. (2017).** Composition chimique et activités biologiques de l'huile essentielle d'*Ammoides verticillata* de l'Ouest algérien. *Phytothérapie*, 1-7.
- **Badji, C.A., Dorland, J., Kheloul, L., Richomme, P., Kellouche, A., Azevedo, De Souza, R.C.N., Bezerra, A.L., & Anton, S. (2021).** Behavioral and antennal

responses of *Tribolium confusum* to *Varronia globosa* essential oil and its main constituent's perspective for their use as repellent. *Molecules*, 26(15), 4393.

- **Belouaer R., et Selahdja A., (2020).** Synthèse bibliographique sur les méthodes de lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Mohamed El Bachir El Ibrahim, A
- **Ben Chaaban S., Hamdi S. H., Mahjoub K., and Ben Jemâa J. M., (2019).** Composition and insecticidal activity of essential oil from *Ruta graveolens*, *Mentha pulegium* and *Ocimum basilicum* against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *phestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *J.P.D.P.*, 126(3): 237-246.
- **Bouabida, H., & Dris, D. (2020).** Effect of rue (*Rutagraveolens*) essential oil on mortality, development, biochemical and biomarkers of *Culisetalongiareolata*. *S. Afr. J. Bota.*, 133, 139-143.
- **Bouabida, H., & Dris, D. (2020).** Effect of rue (*Rutagraveolens*) essential oil on mortality, development, biochemical and biomarkers of *Culisetalongiareolata*. *S. Afr. J. Bota.*, 133, 139-143.
- **BouchikhiTani, Z., Khelil, M.A., & Bendahou, M. (2018).** Evaluation des propriétés larvicides des huiles essentielles extraites de cinq plantes aromatiques d'Algérie : essai sur la mite *Tineolabisselliella* (Lepidoptera : Tineidae). *Leban. Sci. J.*, 19(2), 187-199.
- **Boukhalfa H., et Rouabah I., (2020).** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences Agronomiques, Univ., Mohamed El Bachir El Ibrahim, Algérie 26p.
- **Boukraa, N., Ladjel, S., Benlamoudi, W., Goudjil, M.B., Berrekbia, M., & Eddoud, A. (2022).** Insecticidal and repellent activities of *Artemisia herba alba* Asso, *Juniperus phoenicea* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils in synergized combinations against adults of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biocatal. & Agri. Biotechnol.*, 45, 102513.
- **Boukraa, N., Ladjel, S., Goudjil, M.B., Eddoud, A., & Sanori, K.W.M. (2020).** Chemical compositions, fumigant and repellent activities, of essential oils from three indigenous medicinal plants and their mixture, against stored grain pest, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Asian J. Res. Chem.*, 13(6), 455-464.
- **Bounoua-Fraoucene, S., Kellouche, A., & Debras, J.F. (2019).** Toxicity of four essential oils against two insect pests of stored grains, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Afr. Entomol.*, 27(2), 344-359.
- **Bousbia, N. (2011).** Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de doctorat en chimie, Univ., d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France et ENSA d'El Harrach, Algérie, 128p.
- **Bousbia, N., Vian, M.A., Ferhat, M.A., Petitcolas, E., Meklati, B.Y., & Chemat, F. (2009).** Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: Hydrodistillation and microwave Hydrodiffusion and gravity. *Food Chem.*, 114, 355-362.

- **Brader B., Lee R.C., Plarre R., Burkholder W., Kitto G.B., Kao C.H., Polston L., Dorneanu E., Szabo I., Mead B., Rouse B., Sullins D., and Denning R., (2002).** A comparison of screening methods for insect contamination in wheat. *J. S. P. Res.*, 38: 75-86.
- **Brahmi S., Deverra C., et Durieu N., (2019).** Biologie, composition chimique et activités biologiques des extraits et des huiles essentielles. Mémoire de Doctorat en Sciences Biologiques, Univ., Djelfa, Algérie, 165p.
- **Brown, S.J., Shippy, T.D., Miller, S., Bolognesi, R., Beeman, R.W., Lorenzen, M.D., Bucher, G., Wimmer, E.A., 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., (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème éd. Ed. Tec & HAMIDDoc, Lavoisier, Paris. 266p.
- **Calmont, B., Soldati, F., (2008).** Découverte de *Tribolium madens* (Charpentier, 1825) dans le département du Puy-de-Dôme (France) ; clé de détermination et distribution des espèces du genre *Tribolium* en France (Coleoptera, Tenebrionidae). *R.A.R.E., T. XVII (2)*, 1–7.
- **Campolo O., Giunti G., Russo A., Palmeri V., and Zappalà L., (2018).** Essential oils in stored product insect pest control. *J. F. Q.* 773-778.
- **Chemat, F., & Lucchesi, M.E. (2005).** Microwave-assisted extractions of essential oils and aromatic extracts. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 20, 77-99.
- **Chemat, F., Vian, MA., Fabiano-Tixier, AS., Nutrizio, M., Jambrak, AR., Munekata, PES., Lorenzo, JM., Barba, FJ., Binello, A., & Cravotto, G. (2020).** A review of sustainable and intensified techniques for extraction of food and natural products. *Green Chem.*, 22(8), 2325-2353.
- **Cissokho, P., Guèye, T., Sow, E., & 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.
- **Clerget, Y. (2011).** Biodiversité des céréales: Origine et évolution. *Montbéliard.* 17p.
- **Cock, M.J.W., Murphy, S.T., Kairo, M.T.K., Thompson, E., Murphy, R.J., & Francis, A.W. (2016).** Trends in the classical biological control of insect pests by insects: an update of the Biocat database. *Bio. Control*, 1-15.
- **Cruz J. F., Hounhouigan D. J., et Fleurat-Lessard F., (2016).** La conservation des grains après récolte : Agriculture tropicales en poche. France, Quae, 256p.
- **Cruz J. F., Troude F., (1988).** Conservation des Grains en Régions Chaudes « Techniques Rurales en Afrique ». 2 éd. France, CEEMAT, 548 p.
- **Dabrie C., Niango Ba M., and Sanon A., (2008).** Effects of crushed fresh *Cleome viscosa* L. (Capparaceae) plants on the cowpea storage pest, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae). *Inter. J. Pest Manag.*, 54(4) : 319-326.

- **Dal B. G., Padin S., Lopez lastra C., and Fabrizio M., (2001).** Laboratory evaluation of Chemical-biological control of the rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.) in stored
- **Dawson, P.S., (1977).** Life history strategy and evolutionary history of Tribolium flour beetles. *Evolution* 31, 226–229.
- **De Groot, I. (2004).** Protection des céréales et des légumineuses stockées. Ed., Fondation Agromisa, Wageningen, Pays Bas, 74p. *de la société d'histoire naturelle du pays de Montbéliard, 16 p.*
- **Delobel, A., & Tran, M. (1993).** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Ed., Faune tropicale/ CTA, Pays-Bas, 424p.
- **Djermoun, A. (2009).** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Rev. Nature Technol.*, 1, 45-53.
- **Drees, B.M., Jackman, J.A., (1998).** A field guide to common Texas insects, Gulf publishing company, houston, pp. 114
- **Dubey, S., Jhelum, V., & Patanjali, P.K. (2011).** Controlled release agrochemicals formulations. *J. Sci. Ind. Res.*, 70, 105-112p.
- **Dubreil F. R., (2014).** Les bonnes pratiques du stockage des céréales. Vital Concept Agriculture, Vital Conseils. Egg laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus*
- **El Haïb, A. (2011).** Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. Thèse de doctorat en chimie organique et catalyse, Univ., Toulouse III-Paul Sabatier, France, 158
- **FAO (2024).** Situation alimentaire mondiale. <https://www.fao.org/worldfoodsituation>
- **Ferhat, M.A., Boukhatem, M.N., Hazzit, M., & Chemat, F. (2016).** Rapide extraction of volatile compounds from *Citrus* fruits using a microwave dry distillation. *J. Fund. Appl. Sci.*, 8(3), 753-781.
- **Ferradji, A., Bouchareb, M., Bouhous, N.E.H., & Malek, A. (2016).** Optimization of assisted ultrasound osmotic dehydration of strawberries slices in sucrose solutions using response surface methodology. *Rev. Energ. Renouv.*, 19(2), 311-319.
- **Filomeno, C.A., Almeida Barbosa, L.C., Teixeira, R.R., Pinheiro, A.L., Farias, E.D.S., Ferreira, J.S., & Picanço, M.C. (2020).** Chemical diversity of essential oils of Myrtaceae species and their insecticidal activity against *Rhyzopertha dominica*. *J. Pre-Proof*, 137, 1-25.
- **Filomeno, C.A., Almeida Barbosa, L.C., Teixeira, R.R., Pinheiro, A.L., Farias, E.D.S., Ferreira, J.S., & Picanço, M.C. (2020).** Chemical diversity of essential oils of Myrtaceae species and their insecticidal activity against *Rhyzopertha dominica*. *J. Pre-Proof*, 137, 1-25.
- **Fleurat-Lessard, F., (1982).** Les insectes et les acariens. In : Multon J.L.(ed.). *Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés : céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux*, Tec.&Doc., Paris, pp. 396-417.
- **Garcia, D., Nesci, A., Girardi, N., Passone, M.A., & Etcheverry, M. (2019).** Antifeedant, horizontal transfer and repellent activities of free and microencapsulated

- food grade antioxidants against postharvest pest insects (*Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus, 1758) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)) (Coleoptera: Silvanidae, Tenebrionidae) of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) (Fabaceae). *Polish J. Entomol.*, 88(2), 101-117.
- **Garcia, D., Nesci, A., Girardi, N., Passone, M.A., & Etcheverry, M. (2019).** Antifeedant, horizontal transfer and repellent activities of free and microencapsulated food grade antioxidants against postharvest pest insects (*Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus, 1758) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)) (Coleoptera: Silvanidae, Tenebrionidae) of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) (Fabaceae). *Polish J. Entomol.*, 88(2), 101-117.
 - **Good, N.E., (1933).** Biology of the flour beetles, *Tribolium confusum* Duv. and *T. ferrugineum* Fab. *J. Agric. Res.* 46, 327–334.
 - **Good, N.E., (1936).** The flour beetles of the Genus *Tribolium*. *Tech. Bull.* 498, 1–58.
 - **Guèye, M.T., Seck, D., Wathelet, J.P., & Lognay, G. (2011).** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 15(1), 183-194.
 - **Guinoiseau, E. (2010).** Molécules antibactériennes issues d'huiles essentielles: séparation, identification et mode d'action. Thèse de doctorat en biologie, Univ., Corse-Pasquale Paoli, France, 143p.
 - **Hajek, A.E., Gardescu, S., & Delalibera, I.Jr. (2020).** Summary of classical biological control introductions of entomopathogens and nematodes for insect control. *Int. Org. Bio. Control*, 1-14.
 - **Hamid, A.A., Aiyelaagbe, O.O., & Usman, L.A. (2011).** Essential oils: Its medicinal and pharmacological uses. *In*
 - **Hammoutene L., & Ben Ouarab M. (2022).** Biologie et sensibilité du silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanida) à l'égard de l'association de trois huiles essentielles. Mémoire de master en biologie, UMMTO, Algérie, 76p.
 - **Henrotte B., (2016).** Transformation des céréales, Itinéraires BIO, Biowallonie. Ed.
 - **Hikal, W. M., Baeshen, R. S., Said-AL AHL, H. A. H., (2017).** Botanical Insecticide as Simple Extractives for Pest Control. *Cogent Biology*, 3(1):325p.
 - **Ho, F.K., (1969).** Identification of pupae of six species of *Tribolium* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 62, 1232–1237.
<https://www.vital-concept-agriculture.com/blog/stockagecereale>.
 - **Jayakumar, M., Arivoli, S., Raveen, R., & Tennyson, S. (2017).** Repellent activity and fumigant toxicity of a few plant oils against the adult rice weevil *Sitophilus oryzae*
 - **Jerraya A., (2003).** Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord. Leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts, leur contrôle. Edition Climat Publications, Tunis, 415p.
 - **Kassimi, A., Watik, L., Mohammed, M., & Hamid, C. (2017).** Mortality of watermelon aphids by neem natural oil and a chemical synthetic product. *Int. J. Adv. Res.*, 4(1), 1-6.

- **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. Tenebrionidae). *J. Asia-Pacific. Entomo.*, 23: 320-326.
- **Kellouche, A., & Soltani, N. (2004).** Biological activity of the powders of five plants and the essential oil of one of them on *Callosobruchus maculatus* (F.). *Int. J. Trop. Insect Sci.*, 24(2), 184-191.
- **Keskin S., and Ozkaya H., (2015).** Effect of storage and insect infestation on the
- **Khelfane-Goucem, K., Lardjane, N., & Medjdoub-Bensaad, F. (2016).** Fumigant and repellent activity of Rutaceae and Lamiaceae essential oils against *Acanthoscelides obtectus* Say. *Afr. J. Agric. Res.*, 11(17), 1499-1503.
- **Kheloul, L., Kellouche, A., Bréard, D., Gay, M., Gadenne, C., & Anton, S. (2019).** Trade-off between attraction to aggregation pheromones and repellent effects of spike lavender essential oil and its main constituent linalool in the flour beetle *Tribolium confusum*. *Entomol. Exp. Appl.*, 167(9), 826-834.
- **Kumar, D., & Kalita, P. (2017).** Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, 6(8), 1-22.
- **Lakhdar L, (2015).** Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*: étude in vitro, Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Rabat, 197p.
- **Lale, N. E. S., & Vidal, S. (2003).** Simulation studies on the effects of solar heat on egg-laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) in stored bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. *Journal of Stored Products Research*, 39(5), 447-458.
- **Lamara Mahamed, R. (2020).** Bioécologie de la teigne de la pomme de terre *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) sur quelques variétés de pomme de terre et essais de lutte. Thèse de doctorat en biologie, UMMTO, Algérie, 112p.
- **Laoudi, T., Khelfane-Goucem, K., Hamani-Aoudjit, S., Chebrouk, F., Amrouche, T., Saher, L., & 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), 1-14.
- **Lucchesi, M.E. (2005).** Extraction sans solvant assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de doctorat en chimie, Univ., La Réunion, Saint-Denis, France, 143p.
- **Lucchesi, M.E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004).** An original solvent free microwave extraction of essential oils from spices. *FlavourFragr.*, 19, 134-138.
- **Mahendran, G., & Rahman, L.U. (2020).** Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on peppermint (*Mentha × piperita* L.). *Phytother. Res.*, 1-52. *t. J. Curr. Res.*, 3(2), 86-98. Management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(5), 354-378.

- **Maughan, N. (2012).** *Cephalonomia tarsalis*, un nouvel hôte discret des zones urbaines ? *Insecte*, 164(1), 21-23.
- **Messaoudene H., et Mouhou N., (2017).** Etude de la toxicité des huiles essentielles contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master en Sciences biologiques, Univ., Abderrahmane MIR-Bejaia, Algérie, 35p.
- **Mossa, A., (2016).** Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest.
- **Mueller, L.D., Joshi, A., (2000).** Stability in model populations, Princeton University Press, United kingdom, pp.134.
- **Muturi, E.J., Ramirez, J.L., Zilkowski, B., Flor-Weiler, L.B., & Rooney, A.P. (2018).** Ovicidal and larvicidal effects of garlic and asafoetida essential oils against West Nile virus vectors. *J. Insect Sci.*, 18(2), 1-6.
- **Ngamo, T.S.L., Goudoum, A., Djakissam, W., & Madou, C. (2016).** Les bruches du voandzou *Vignasubterranea*(L.) et les outils de protection post récolte dans le Nord du Cameroun. *Entomol. Faun.-Faun. Entomol.*, 69, 83-89.
- **Nkouandou, P.M., Ntonga, P.A., Djeukam, C.A., JazetDongmo, P.M., & Menut, C. (2020).** Evaluation des propriétés insecticides des huiles essentielles de quelques Zingiberaceae contre les larves d'*Anophelesgambiae* collectées à Ayos (sud-Cameroun). *J. Anim. Plant Sci.*, 43(3), 7469-7482.
- **Ozkaya, H., Ozkaya, B., Colakoglu, A.S., (2009).** Technological properties of a variety of soft and hard bread wheat infested by *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium confusum* Duval., *J. Food Agric. Environ.* 7, 166-172.
- **Pandey, S.K., Bhandari, S., Sarma, N., Begum, T., Munda, S., Baruah, J., Gogoi, R., Haldar, S., & Lal, M. (2021).** Essential oil composition, pharmacological importance and agro technological practices of patchouli (*Pogostemoncablin* Benth), A review. *J. Essent. Oil-Bear. Plants*, 24(6), 1212-1226.
- **Park, C., Lee, S.G., Choi, D.H., Park, J.D., & Ahn, Y.J. (2003).** Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtuse* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored Prod. Res.*, 39, 375-384.
- **Paw, M., Begum, T., Gogoi, R., Pandey, S.K., & Lal, M. (2020).** Chemical composition of *Citrus limon* L. Burmf peel essential oil from north east India. *J. Essent. Oil-Bear. Plants*, 23(2), 337-344.
- **Rajendran, S., & Sriranjini, V. (2008).** Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. StoredProd. Res.*, 44(2), 126-135.
- **Rajkumar V., Gunasekaran C., Christy I.K., Dharmaraj J., Chinnaraj P. et Paul C.A., (2019).** Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. *Pestic. Biochem. Physiol.*, volume156, 144p. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.02.016>.
- **Ranjitha, J., Vijiyalakshmi, S., (2014).** Facile methods for the extraction of essential oil from the plant species – a review. *International journal of Pharmaceutical sciences and research*, 5(4), 1107-1115.

- **Reboredo-Rodriguez, P., & Varela-Lopez, A. (2021).** Huiles essentielles de plantes aromatiques dans la prévention et le traitement du cancer aspects cliniques et mode d'action. *Nutr. Cancer Sign.*,61-81.
- **Reboredo-Rodriguez, P., Rezaie, A., Parker, R.D., & Abdollahi, M. (2007).** Oxidative stress and pathogenesis of inflammatory bowel disease: an epiphenomenon or the cause? *Diges. Dis. Sci.*, 5(29), 2015-2021.
- **Rees, D., (2004).** Insects of stored products, Manson, London, pp.93-119.
- **Regnault-Roger C., 2003.** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire belaeouerIn Biopesticides d'origine végétal. Ed., Lavoisier, Tech et Doc, Paris, 140p.
- **Regnault-Roger C., Vincent C., Arnason J.T. (2012).** Essential oils in insect control: low- risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology* 57: 405-424.
- **Righi-Assia, F., Righi, K., Boungab, K., & Mokabli, A. (2019).** Study of cereals infestation by the cyst nematodes "*Heterodera* spp." and distribution of the involved species in western Algeria. *Cah. Agric.*, 28(17), 1-10.
- **Robinson, W.H., (2005).** Urban insects and arachnids: A handbook of urban entomology, Cambridge University Press, UK, pp.127-128.
- **Roulier, G. (1990).** Les huiles essentielles pour votre santé : traité pratique d'aromathérapie, éditionsGraveson, 322p.
- **Salisova, M., Toma, S., & Mason, T.J. (1997).** Comparison of conventional and ultrasonically assisted extractions of pharmaceutically active compounds from *Salvia officinalis*. *Ultrason. Sonochem.*,4(2), 131-134.
- **Saroukolai, A. T., Ganbalani, N. G., Dastjerdi, H. R., Hadian, J., (2014).** Antifeedant Activity and Toxicity of Some Plant Essential Oils to Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). *Plant Protection Scienc.*, 50(4): 207-216.
- **Seck, D. (1991).** Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan. *Sahel PV. Info.*, 32, 15-20.
- **Shukla, J.N., Palli, S.R., (2012).** Sex determination in beetles: Production of all male progeny by Parental RNAi knockdown of transformer. *Sci.Rep.* 2, 1–9.
- **Sokoloff, A., Albers, J.C., Cavataio, P., Mankau, S., Mckibben, S., Mills, S., Perkins, R., Roberts, R., Sandri, J.J., (1980).** Observations on populations of *Tribolium brevicornis* (Leconte) (Coleoptera, Tenebrionidae). I. Laboratory observations of domesticated strains. *Res. Popul. Ecol.* 22, 1–12.
- **Sokoloff, A., Lerner, I.M., (1967).** Laboratory ecology and mutual predation of *Tribolium* Species. *Am. Nat.* 101, 261–276.
- **Soldati, F., Soldati, L., 2003.** Réactualisation de la liste systématique des Coléoptères Tenebrionidae (Alleculinae exclus) de France continentale et de Corse. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon* 72, 331–349.

- **Soliman, M.H., 1987.** Ageing and parental age effects in *Tribolium* (Review). *Arch. Gerontol. Geriatr.* 6, 43–60.
- **Sriti, J., Haj Salem, M., AidiWannes, W., Bachrouch, O., Mejri, H., Belloumi, S., Farès, N., Jallouli, M., Haoual-Hamdi, S., Mediouni-Ben Jemâa, J., &al. (2023).** Antioxidant, antibacterial and insecticidal activities of cypress (*Cupressus sempervirens*L.) essential oil. *Int. J. Env. Heal. Res.*, 1-12.
- **Stanley, M.S.M., Grundmann, A.W., (1965).** Observations on the morphology and sexual behavior of *Tribolium confusum* (Coleoptera:Tenebrionidae). *J. Kans. Entomol.Soc.*38, 10–18.
- **Taleb-Toudert, K., & Kellouche, A. (2021).** A sauge essential oil composition from Kabylia (Algeria) and its biological effects against cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*) (Coleoptera: Bruchidae). A proceeding of the 1st International Electronic.
- **Tongnuanchan, P., Benjakul, S., (2014).** Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. *Journal of Food Science.* 79(7):1231–1249.
- **Venkidesamy, M., Jagadeesan, R., Nayak, M.K., Subbarayalu, M., Subramaniam, C., & Collins, P.J. (2018).** Relative tolerance and expression of resistance to phosphine in life stages of the rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus*. *J. Pest Sci.*, 91(1), 277–286.
- **Waongo A., Yamkoulga M., Dabir-Binso C. L., Ba M. N., and Sanon A., (2013).** Conservation post récolte des céréales en zone sud-saoudienne du Burkina Faso : Perception paysanne et évaluation des stocks. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (3): 1157-1167.
- **Waongo, A., Traore, F., Ba, M.N., Dabire-Binso, C., & Sanon, A. (2019).** Evaluation de deux composantes de lutte intégrée (résistance variétale et stockage hermétique) contre le petit capucin des grains, *Rhyzopertha dominica* Fabricius (Coleoptera: Bostrychidae) dans les stocks de sorgho [*Sorghumbicolor*(L.) Moench] au Burkina Faso. *Tropicultura*, 37(4), 2295-8010.
- **Watt, J.C., (1992).** Tenebrionidae (Insecta:Coleoptera): catalogue of types and keys totaxa. *Fauna N.Z.* 26, 1–70.
- **Wojcik, D.P., (1969).** Mating behavior of 8 stored-product beetles (Coleoptera:Dermestidae,Tenebrionidae,Cucujidae, and Curculionidae). *Fla. Entomol.* 52, 171–197.
- **Yang Y., Isman M. B., and Tak J. H., (2020).** Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *cinnamomum cassia* bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Insects*, 11(8):1-15.

Résumé

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet insecticide de deux huiles essentielles : le basilic tropical (*Ocimum basilicum*) et la menthe poivrée (*Mentha piperita*) et leur combinaison par inhalation à l'égard des adultes. Quatre doses (4µl, 6µl, 8µl et 10µl) sont testées pour chaque huile et pour la combinaison, à l'égard des individus adultes de *T. confusum* âgés de moins de 7 jours. Le suivi de la mortalité des individus après 24h, 48h, 72h et 96h d'exposition a permis de constater une mortalité croissante pour les huiles testées par inhalation en fonction des doses et du temps d'exposition. Un taux de mortalité de 67,5% est enregistré après 96h pour l'HE de menthe poivrée à la dose de 10µl ; par contre l'HE de basilic a montré une mortalité totale dès 72heures d'exposition à la même dose. La combinaison des deux huiles essentielles a montré une mortalité maximale de 88,75% à la dose de 10µl après 96h d'exposition ; cette mixture s'est révélée avoir un effet insecticide plus efficace que l'HE de la menthe poivrée. Le calcul de la CL50 après 24h d'exposition a révélé les valeurs 36,31µl/L, 26,90µl/L et 16,50µl/L respectivement pour la menthe poivrée, basilic tropical, et la mixture. Il ressort de notre étude que les deux huiles essentielles présentent des propriétés insecticides remarquables sur les adultes de *T. confusum* et que la mixture des deux huiles essentielles est plus toxique que les huiles essentielles utilisées séparément ; elles peuvent par conséquent constituer un moyen de lutte alternatif contre ce ravageur dans les lieux de stockage.

Mots-clés: *Tribolium confusum*, Céréales, Huile essentielle, Activité insecticide, Lamiacées.

Abstract

The objective of our study is to evaluate the insecticidal effect of two essential oils: tropical basil (*Ocimum basilicum*) and peppermint (*Mentha piperita*) and their combination by inhalation against adults. Four doses (4µl, 6µl, 8µl and 10µl) are tested for each oil and for the combination, with regard to adult individuals of *T. confusum* aged less than 7 days. Monitoring the mortality of individuals after 24 hours, 48 hours, 72 hours and 96 hours of exposure revealed increasing mortality for the oils tested by inhalation depending on the doses and exposure time. A mortality rate of 67.5% is recorded after 96 hours for peppermint EO at a dose of 10µl; on the other hand, basil EO showed total mortality after 72 hours of exposure to the same dose. The combination of the two essential oils showed a maximum mortality of 88.75% at a dose of 10µl after 96 hours of exposure; this mixture was found to have a more effective insecticidal effect than peppermint EO. Calculation of the LC50 after 24 hours of exposure revealed the values 36.31µl/L, 26.90µl/L and 16.50µl/L respectively for peppermint, tropical basil and the mixture. It appears from our study that the two essential oils have remarkable insecticidal properties on adults of *T. Confusum* and that the mixture of the two essential oils is more toxic than the essential oils used separately; they can therefore constitute an alternative means of combating this pest in storage areas.

Keywords: *Tribolium confusum*, Cereals, Essential oils, Insecticidal activity, Lamiaceae.