

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 de Biologie.



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Biologie
Spécialité : Biologie des Populations et des Organismes.

Thème

Etude de l'effet biocide de deux huiles essentielles provenant de la région de Yakouren à l'égard d'un insecte ravageur des denrées stockées *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae).

Présenté par:

Melle: LARBI MELISSA

Mr: AIT-OUFFROUKH MOUHNEB-SAÏD

Devant le jury composé de:

Présidente: Mme TALEB K.

MCA

UMMTO

Promotrice: Mme AIT AIDER F.

MCA

UMMTO

Co-promotrice: Melle KHELOUL L.

MAB

UMMTO

Examinatrice: Melle AISSAOUI F.

MAB

UMMTO

Promotion: 2023/2024

Remerciements

Nous remercions, du fond du cœur, Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à **Madame Ait Aider Farida**, notre promotrice, pour son encadrement rigoureux et sa constante disponibilité. Nous sommes également très reconnaissants envers notre Co-promotrice **Madame Kheloul Lynda** pour son précieux accompagnement.

Nos remerciements vont aussi à **Madame Taleb Karima**, présidente du jury, ainsi qu'à **Mademoiselle Aissaoui**, examinatrice, pour leur implication et leurs remarques constructives.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont soutenus, que ce soit par leurs conseils, leur aide ou leurs informations.

Merci infiniment à vous tous.

Dédicace

Avant tout je remercie Dieu qui m'a guidé et donné la force tout au long de mon parcours universitaire.

Ce mémoire est dédié à toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation et qui ont soutenu mon parcours tout au long de cette aventure. A ma famille, pour leurs amours inconditionnels et leurs soutiens constants.

A ma mère

Ce mémoire est dédié à ma mère, dont le mémoire reste une source inépuisable d'inspiration et de force bien que tu ne sois plus parmi nous, ton amour et ta sagesse continuent de guider chacun de mes pas. A ton qui a toujours cru en moi et ma encouragé dans chaque étape de mon parcours je dédie ce travail en hommage a ton soutien indéfectible et a ton héritage précieux.

A mon père et mes frères

Ce mémoire est dédié a mon cher papa et à mes frères, dont le soutien inébranlables et l'affection, m'ont été d'une aide précieuse tout au long de ce parcours. Votre présence et votre encouragement ont été une source constante de motivation et de force. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Mouhned Siad.

Dédicace

Avant tout, grâce à Dieu, qui m'a soutenue et guidé et ou tau long de ces années d'études universitaires.

Ce travail est dédié avec tout mon amour et ma profonde reconnaissance à ceux qui ont façonné la personne que je suis aujourd'hui.

À ma famille bien-aimée, pour m'avoir transmis des valeurs solides et un amour inconditionnel. Vous êtes la base de tout ce que j'ai accompli.

À mes parents, les deux piliers de ma vie Salem et Ounissa. Votre amour, votre soutien sans faille et vos sacrifices sont au cœur de ma réussite. Je vous suis éternellement reconnaissante.

À mon grand-père adoré, Mouhand tahar, parti trop tôt, et **à ma chère grand mère** Fatma. Que vous reposiez en paix, avec toute mon affection.

À mes sœurs, Leila et fatma et **à mon frère** Cherif, vous êtes ma force et mon inspiration.

À ma cousine adorée, Sabrina votre aide et votre complicité sont précieux pour moi.

A mes chères amies, Sarah, Ouardia, Amina, Amel, Manel, Imane, Amel, Votre affection et votre soutien m'ont été d'une grande aide.

Merci à chacun de vous. Ce travail est un peu le vôtre aussi.

LARBI Melissa.

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01

Chapitre I: Généralités sur le blé dur

1. Description du blé dur.....	03
2. Origine et répartition géographique.....	03
3. Position systématique.....	03
4. Composition de grain de blé dur.....	04
4.1. Composition histologique.....	04
4.2. Composition biochimique.....	05
5. Transformation du blé dur en semoule.....	05
6. Maladies et ravageurs.....	06

Chapitre II: Présentation de l'insecte étudié (*Tribolium confusum*)

1. Origine et répartition géographique.....	08
2. Position systématique.....	08
3. Description des différents stades de développement de <i>Tribolium confusum</i>	08
4. Biologie.....	10
5. Méthodes de lutte contre <i>T. confusum</i>	11

Chapitre III: Les huiles essentielles

1. Définition.....	13
2. Répartition et localisation des huiles essentielles.....	13
3. Composition chimique des huiles essentielles.....	13
3.1. Composition terpéniques.....	13

3.2. Composition aromatique et d'origine variable.....	14
4. Les activités biologiques des huiles essentielles.....	14
4.1. Activité antibactérienne.....	14
4.2. Activité antivirale.....	14
4.3. Activité antiparasitaire.....	14
4.4. Activité insecticide.....	15
4.5. Activité antioxydant.....	15

Chapitre V: Présentation des plantes aromatiques étudiées

1. Le cèdre de l'atlas (<i>Cedrus atlantinas</i>).....	16
2. Eucalyptus citronné (L' <i>Eucalyptus citriodora</i>).....	18

Chapitre IV : Matériel et méthodes

1. Matériels.....	20
1.1. Matériel de laboratoire.....	20
1.2. Matériel biologique.....	20
1.2.1. Matériel animal (<i>T. confusum</i>).....	20
1.2.2. Matériel végétal.....	21
2. Méthodes.....	21
2.1. Elevage de masse.....	21
2.2. Tests biologiques.....	22
2.2.1. Tests d'inhalation.....	22
2.2.2. Tests de répulsivité.....	23
3. Analyse statistique	24

Chapitre VI: Résultats et discussion

1. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de <i>T. confusum</i> par inhalation.....	25
1.1. Effet de l'huile essentielle de cèdre de l'atlas (<i>Cedrus atlantica</i>) à l'égard de <i>T.confusum</i> ...	25

1.2. Effet de l'huile essentielle d'eucalyptus citronné (<i>L'Eucalyptus citriodora</i>) à l'égard de <i>T. confusum</i>	26
1.3. Effet du mélange de deux huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard de <i>T. confusum</i>	28
2. Résultats des tests par répulsion des deux huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné sur les adultes de <i>T.confusum</i>	29
2 .1.Effet des huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard de <i>T. confusum</i>	29
2. 2 Effet par répulsion du mélange : Cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard de <i>T. confusum</i>	30

Conclusion et perspectives

Conclusion.....	32
Références bibliographiques.....	34

Liste des figures

Figure1: Schéma d'un grain de blé en coupe longitudinale	04
Figure2: Œuf de <i>T. confusum</i>	08
Figure3: La larve de <i>T. confusum</i> (G40).....	09
Figure4 : Nymphe de <i>T. confusum</i> (G40).....	09
Figure5 : Vue face dorsale(A) et vue face ventrale(B) de <i>T. confusum</i> (G40).....	10
Figure6: Cycle biologique de <i>T. confusum</i>	10
Figure7 : le cèdre.....	16
Figure8: <i>E. citriodora</i> (arbres, feuilles, fleurs).....	18
Figure9 : Matériel de laboratoire:(A) : Une étuve;(B) : Balance de précision ;(C) : Micropipette.....	20
Figure10 : Elevage de masse des adultes de <i>T. confusum</i>	21
Figure11: Test d'inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i>	22
Figure12: Test de répulsivité (PR) sur les adultes <i>T. confusum</i>	23
Figure 13 : Taux de mortalité moyen (moyennes \pm écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de cèdre de l'atlas en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	25
Figure14 : Taux de mortalité moyen (moyennes \pm écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> Traités par inhalation avec l'huile essentielle d' <i>E. citriodora</i> en fonction de la dose et de la durée d'exposition.....	26
Figure15: Taux de mortalité (Moyenne \pm écart-type)des adultes de <i>T. confusum</i> traité Avec la mixture de Cèdre de l'atlas \times d' <i>E. citriodora</i> par inhalation, après 24h.....	28

Liste des tableaux

Tableau1: Composition chimique de grain du blé.....	05
Tableau2: Pourcentage de répulsion selon le classement de.....	24
Tableau 3: Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de <i>T.confusum</i>	27
Tableau4: Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des deux huiles testées par inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i>	27
Tableau5: Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur Temps sur les adultes de <i>T. confusum</i>	28
Tableau6: Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles du cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et son classement Selon la méthode de	29
Tableau 7 : Résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsion avec les deux huiles essentielles testées.....	29
Tableau 8: Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles du cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard des adultes de <i>T.confusum</i> et son classement Selon la méthode de.....	30

Introduction

En l'absence d'aliments frais, les humains se tournent vers des céréales stockées telles que le blé, la semoule, la farine, l'orge et d'autres grains. Ces aliments jouent un rôle essentiel, voire prédominant, dans l'alimentation humaine et représentent le groupe de produits agricoles le plus échangé sur les marchés internationaux (Feillet, 2000).

En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent la base du système alimentaire. Elles apportent plus de 60 % de l'énergie calorique et 75 à 80 % des protéines de la ration alimentaire nationale (Feillet, 2000). La consommation annuelle de produits céréaliers par habitant est d'environ 205 kg (Chehat, 2007).

Toutefois, les denrées stockées sont très vulnérables aux attaques des insectes ravageurs, notamment *Tribolium confusum* (Jacqueline Duval) (*Coleoptera : Tenebrionidae*). Ces ravageurs endommagent les grains, causant des pertes à la fois qualitatives et quantitatives. Leur prolifération est principalement due à des conditions climatiques favorables à leur croissance et leur survie. Certains ravageurs commencent à détruire les graines dès leur maturation et continuent pendant le stockage (Pruthi et Singh, 1950).

Actuellement, la méthode la plus courante pour lutter contre ces insectes est l'utilisation de pesticides, tant sur les cultures que dans les entrepôts. Cependant, de nombreuses études toxicologiques ont mis en évidence les effets néfastes de ces produits sur la santé humaine et l'environnement. En effet, les pesticides peuvent provoquer des résistances chez les insectes, nuire à l'environnement et à la santé humaine, et entraîner des problèmes supplémentaires tels que le coût, la manipulation et le stockage des produits (Taibi et al., 2003; Delimi et al., 2015).

Face à ces inconvénients, les bio pesticides apparaissent comme une solution alternative prometteuse. De nombreuses recherches s'orientent vers ces méthodes naturelles (Munyuli, 2003; Mukendi et al., 2014; Kanana et al., 2018). Depuis des siècles, les agriculteurs utilisent des techniques traditionnelles, incorporant des produits locaux tels que les minéraux, les huiles, et les extraits de plantes pour protéger les denrées contre les infestations et éviter les pertes dues aux dommages physiques, aux contaminations fongiques, et à la diminution de la qualité nutritionnelle (Regnault-Roger, 2005).

Les plantes aromatiques figurent parmi les insecticides botaniques les plus efficaces, et leurs huiles essentielles sont une source abondante de composés chimiques bioactifs. Les bio pesticides dérivés de ces huiles essentielles peuvent jouer un rôle clé dans les programmes de gestion de la résistance des ravageurs aux pesticides (Isman, 2000).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, dont l'objectif est d'évaluer l'activité biologique de deux huiles essentielles, provenant de l'Eucalyptus citronné (*L'Eucalyptus citriodora*) et du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica*), contre *Tribolium confusum*, un insecte ravageur connu pour causer des dégâts tels que la perforation des grains, la dégradation des denrées stockées, et la contamination par des déjections.

Notre travail s'articule autour de trois parties :

Partie I: inclus 4 chapitres.

Cette partie introduit et explicite les différents termes abordés dans ce mémoire. Elle comprend quatre chapitres traitant de la plante hôte, le blé dur, de l'insecte ravageur, *T. confusum*, un bref aperçu des huiles essentielles, et une présentation des deux plantes aromatiques testées.

Partie II: Matériel et Méthodes.

Ce chapitre présente de manière détaillée les outils, concepts et équipements utilisés au cours de cette étude.

Partie III: Résultats et discussion.

Dans ce chapitre, nous expliquons d'abord les résultats expérimentaux obtenus à partir des tests de toxicité, mis en valeur par des analyses statistiques. Ensuite, nous discutons ces résultats en les replaçant dans le contexte global de la problématique, afin de montrer leur pertinence.

Notre travail se conclut par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I :

Généralités sur le blé

1. Description du blé dur

Le blé dur (*Triticum durum*) est principalement cultivé dans les pays du bassin méditerranéen à climat aride ou semi-aride. Ces régions font face à des défis agricoles dus à l'augmentation des températures, à la diminution des précipitations, à la désertification et à la sécheresse qui affectent les sols cultivables (**Abeledo et al., 2008**).

Le blé dur, connu scientifiquement sous le nom de *Triticum durum*, est caractérisé par des grains allongés avec des enveloppes minces et légèrement translucides. Cette variété de blé est principalement utilisée dans la production de semoules pour les pâtes et le couscous en raison de sa teneur élevée en gluten. Contrairement au blé tendre, le blé dur ne s'ouvre pas à maturité et présente une amande résistante aux altérations. Il se distingue également par sa capacité à résister aux hautes températures et à certaines maladies, ce qui en fait un choix adapté pour les zones chaudes avec une faible pluviométrie (**Feillet, 2000**).

2. Origine et répartition géographique

Selon **Feldman (2001)**, la culture du blé s'est répandue vers le Nord-Ouest à partir des plaines côtières du bassin méditerranéen, atteignant d'abord les Balkans (URSS), puis suivant la vallée du Danube jusqu'en Allemagne, et s'établissant également dans la vallée du Rhin (France) entre 5000 et 6000 ans avant J.C. Des découvertes archéologiques indiquent que le blé a atteint l'Europe occidentale vers 5000 ans avant J.C. Il a été introduit en même temps en Asie et en Afrique.

Son introduction en Amérique, et encore plus tard en Australie, est un événement très récent. L'évolution du blé s'est donc déroulée dans de nombreux écosystèmes de manière relativement indépendante jusqu'au XIX^e siècle (**Bonjean, 2001**). Selon **Hamed (1979)**, le centre d'origine du blé se situe dans la région du Tigre et de l'Euphrate (l'actuel Irak). Par la suite, l'espèce s'est propagée en Égypte, en Chine, en Europe et en Amérique.

3. Position systématique

Selon **Dhalgren et Clifford (1985)**, le blé dur appartient à la classification suivante:

Embranchement : Phanérogames

Sous/Embranchement: Angiospermes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Glumiflorales

Famille : Graminées

Genre : *Triticum*

Espèce: *Triticum durum*

4. Composition du grain de blé dur

Composition histologique

Selon **Feillet (2000)**, un grain de blé est formé de 3 régions (Figure 1):

- L'albumen est constitué de l'albumen amylicé et de la couche à aleurone (80-85% du gluten).
- Les enveloppes de la graine et du fruit sont formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou test (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellule croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%).
- Le germe représente environ 3% du grain de blé, il est composé d'un embryon et d'une partie appelée scutellum. Ce dernier possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur qui s'étend sur toute la longueur du grain. Les faisceaux nourriciers de la graine, essentiels à son développement, sont localisés au fond de ce sillon. La présence de ce faisceau détermine la manière dont l'albumen et les enveloppes du grain se séparent pour obtenir les farines (**Feillet, 2000**).

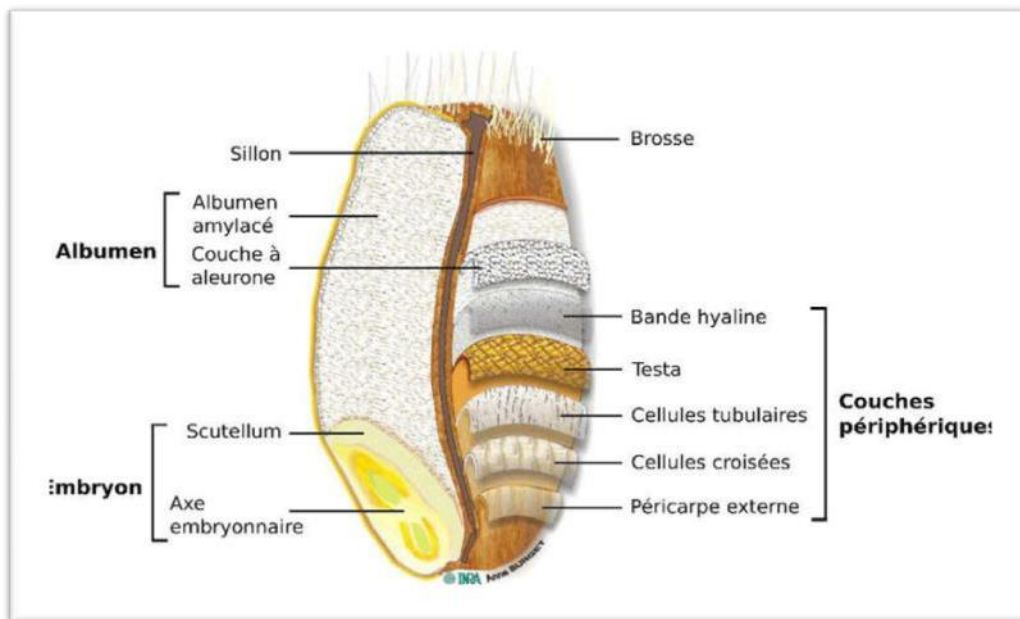


Figure 1: Schéma d'un grain de blé en coupe longitudinale (**Feillet, 2000**).

4.2. Composition biochimique

Le grain de blé est principalement composé d'amidon, représentant environ 70% de sa matière sèche. Il contient également entre 10 et 15 % de protéines, ainsi que 8 à 10 % de pentosanes, des polysaccharides non amyliques qui constituent les parois cellulaires de l'albumen (Tableau 1). Les protéines sont présentes dans tous les tissus du grain de blé, mais leur concentration est plus élevée dans le germe et la couche à aleurone (Feillet, 2000).

Les grains d'amidon sont encastrés dans une matrice de protéines. La texture des grains de semoule est déterminée par la force de cette liaison entre les protéines et l'amidon. Cette liaison se rompt facilement lors du broyage du blé (Hoseney, 1994). Neron (2000) a également souligné que le taux d'amylose influence les propriétés rhéologiques de l'amidon pendant sa transformation.

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

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

5. Transformation du blé dur en semoule

La semoule est constituée de grains de blé plus ou moins enveloppés (Doumandji et al., 2003). Pour transformer le blé en semoule, plusieurs étapes sont nécessaires. Tout d'abord, le blé dur est nettoyé deux fois pour éliminer les impuretés, puis stocké dans des silos. Ensuite, les grains sont triés en fonction de leur taille, de leur forme et de leur poids. Enfin, ils sont conditionnés en deux étapes : d'abord, une humidification qui modifie la structure de l'endosperme, puis un repos pour préparer les enveloppes avant la mouture.

Au début du processus, la teneur en eau des grains est d'environ 11 ou 12%, puis elle est augmentée à 16 ou 17 % par humidification. Après la mouture, la semoule est récupérée et conditionnée. Ce processus produit également plusieurs sous-produits, tels que les "finots" (semoules très fines et très pures), les "graux" (gros grains de blé sans enveloppe) et les "issues" tels que le son et les pailles (Ikhlef et Laouar, 2020).

6. Maladies et ravageurs

6.1. Maladies

Les maladies des céréales peuvent être classées en fonction des symptômes qu'elles provoquent et des parties de la plante qu'elles touchent (**Aouali et Douici-Khalfi, 2009**), de ce fait :

- ✓ Les maladies causant des symptômes localisés sur le feuillage (septoriose, rouilles et oidium).
- ✓ Les maladies provoquant des pourritures racinaires (piétin verse, piétin échaudage, rhizoctone et fusariose).
- ✓ Les maladies causant des symptômes sur les épis (fusariose, septoriose, caries et charbons).

6.2. Les ravageurs

- **Les oiseaux**

Les céréales attirent les oiseaux du stade laiteux jusqu'à la maturité, où ils détachent les grains des épillets, causant des dommages visibles et laissant les glumes et glumelles éparpillées au sol. Sous le poids des oiseaux, les tiges peuvent se briser (Zilinsky, 1983). En plus des moineaux, d'autres oiseaux nuisibles aux céréales incluent le Pigeon biset (*Columba livia*), le Chardonneret (*Carduelis carduelis*), la Caille des blés (*Coturnix coturnix*), la Tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*) et l'Alouette des champs (*Alauda arvensis*), qui s'attaquent au blé dès la levée (**Madagh 1996**).

- **Les mammifères**

Les micromammifères, en particulier les rongeurs, sont connus pour consommer les céréales à divers stades de croissance et même après la récolte, lors du stockage (**Appert et Deuse, 1982**). En Algérie, les dégâts causés par les rongeurs sont estimés à 5-10 % (**Bakour et Bendifallah, 1990**).

- **Les nématodes**

Les nématodes attaquent les céréales depuis plus de 300 ans, mais leur rôle dans la transmission de viroses n'a été découvert que récemment. Ces petits vers transparents, souvent visibles à la loupe, vivent en grand nombre dans le sol, l'eau, ou sur les débris végétaux ou animaux près de la surface du sol. Au moins dix espèces de nématodes attaquent les céréales, causant des blessures mécaniques, des pourritures, des kystes sur les racines, des galles et des déformations des organes (Rivoalet al., 1986). Parmi les nématodes phytophages des céréales on distingue : *Anguinatritici* et *Heterodera avenae* Woll. Ils s'attaquent respectivement aux grains et aux racines (**Bakour et Bendifallah, 1990**).

- **Adventices**

Selon **Oufroukh et Hamadi(1993)**, les mauvaises herbes sont responsables de 20 % des pertes de rendement en céréaliculture. Ces pertes sont causées par des espèces tant dicotylédones que monocotylédones. Selon Belaid (1986) les monocotylédones les plus problématiques en Algérie sont: La folle avoine (*Avena sterilis*) ; le brome (*Bromus rigidum*) ; les phalaris (*Phalaris brachystachys* et *Phalaris paradoxa*) ; le ray-grass (*Lolium multiflorum*).

- **Les ravageurs**

Dans les écosystèmes naturels, les plantes et les insectes interagissent de manière complexe et continue. Ces deux groupes d'organismes maintiennent des relations étroites, qu'elles soient mutualistes ou antagonistes. Les plantes offrent aux insectes un abri, des sites de ponte et de la nourriture, tandis que les insectes contribuent à la pollinisation ou à la défense des plantes. Cependant, la culture des céréales est vulnérable aux attaques d'insectes ravageurs, pouvant entraîner des pertes significatives de rendement. La nuisibilité de ces ravageurs peut se manifester à différents stades de développement des plantes. Aux champs, parmi les insectes les plus redoutables, on distingue : les pucerons, la mouche de Hesse, la punaise, et les vers blancs (**Ketfi, 2018**).

Lors du stockage, les dégâts sont principalement causés par des insectes tels que les charançons, les *triboliums* et le capucin. Les charançons (comme *Sitophilus spp.*) perforent les grains, créant des galeries internes où ils pondent leurs œufs, entraînant une réduction significative du poids et de la qualité des céréales. Les *triboliums* (par exemple, *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum*) attaquent les grains endommagés ou cassés et produisent des sécrétions malodorantes, ce qui peut entraîner une contamination du produit et diminuer sa valeur commerciale. Quant au capucin (*Rhyzopertha dominica*), il est capable de perforer les grains intacts, les rendant non comestibles et provoquant une importante dégradation des stocks. Ces ravageurs sont responsables de pertes considérables, tant en termes de quantité que de qualité, ce qui affecte la disponibilité alimentaire et l'économie des producteurs (**Ketfi, 2018**).

Chapitre II :
Présentation de l'insecte
étudiée (*Tribulium
Confusum*)

1. Origine et répartition géographique

Le *T. confusum*, originaire d'Afrique, présente une distribution différente car il se rencontre à travers le monde dans des climats plus froids. Dans les États-Unis, il est plus abondant dans les États du Nord (Smith et Whitman, 1992). Contrairement à l'espèce étroitement apparentée *T. castaneum* qui préfère les régions plus tempérées.

2. Position systématique

Selon Majka et al. (2008), cette espèce a la position systématique suivante:

Règne : Animalia

Embranchement: Arthropoda

Classe : Insecta

Ordre: Coleoptera

Sous Ordre : Polyphaga

Super famille: Tenebrionoidea

Famille: Tenebrionidae

Tribu : Triboliini

Genre : *Tribolium*

Espèce : *Tribolium confusum* (Du Val).

3. Description des différents stades de développement de *T. confusum*

Les quatre phases du cycle de vie de *T. confusum* sont : l'œuf, la larve, la nymphe et l'imago (l'adulte). Le temps de développement est compris entre 24 et 26 jours (Lepesme, 1944).

- **L'œuf:** L'œuf est de forme oblongue et blanchâtre, presque transparent, avec une surface lisse recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet de s'adhérer à la denrée infestée. Il mesure en moyenne 0,6 x 0,3 mm (Lepesme, 1944).



Figure2:Les œufs de *T. confusum* (Didier2013).

- **La larve:** L'éclosion de l'œuf donne naissance à une larve vermiforme blanche, de petite taille, de 1.4 mm. Par la suite, elle traverse divers stades larvaires qui varient en fonction de leur taille (Stefan, 1936). Lorsqu'elle est entièrement développée, la larve a une longueur de 6 à 7 mm, jaunâtre avec des bandes brun pâle, avec de courtes soies qui couvrent son corps qui se termine par une paire d'urogomphes (Delobel et Trans, 1993) (Figure 3).



Figure3 : La larve de *T. confusum* (G:40) (juin ,2024)

- **Nymphe:** La nymphe présente un corps blanc et nu. Selon **Balachowsky (1936)**, les segments de son abdomen montrent des lames rectangulaires avec des bords crénelés. La nymphe demeure sans abri et ne peut pas se déplacer. L'évolution nymphale dure environ 8 jours (Figure 4).



Figure4 : Nymphe de *T. confusum* (G:40) (juin,2024)

- **L'imago:** Le tégument de l'imago est d'un blanc jaunâtre, il se sclérotinise et se pigmente 2 à 3 jours après son apparition. Il prend une teinte brun rouge et mesure entre 3 et 4 mm. À l'extrémité postérieure, ses élytres allongés, parallèles et arrondis, sont ponctués de manière régulière et séparées par des cotés très fins (**Lepesme, 1944**). Les pattes sont arrondies, les tarses postérieurs sont constitués de quatre parties (Figure 5).

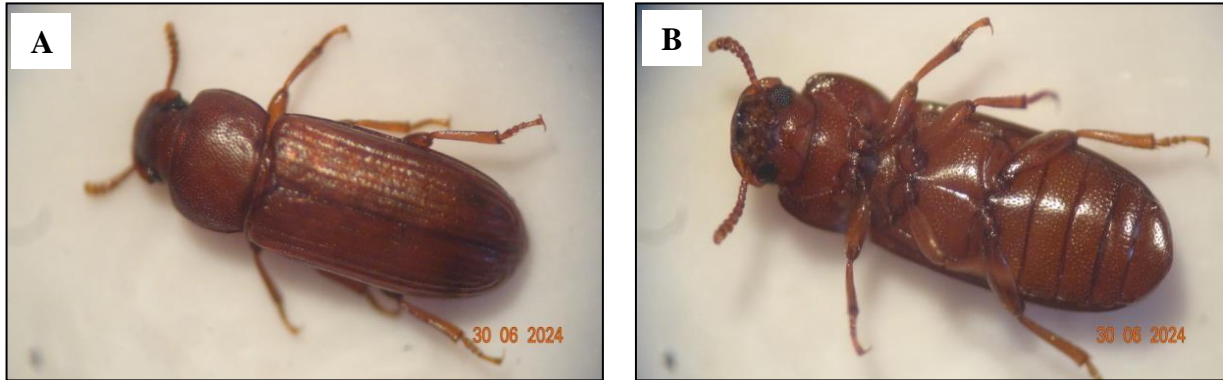


Figure5:L'adulte de *T.confusum* vue face dorsale(A) et vue face ventrale(B)(G:40) (juin, 2024).

4. Biologie

Le *T. confusum* a une durée de vie de 24 à 26 jours, à une température de 32,5°C et une humidité relative de 70%. La température optimale se trouve entre 32°C et 35°C, et sa croissance s'arrête en dessous de 22°C. Si *T. confusum* ne reçoit pas d'alimentation, il se cannibalise, dévorant les œufs et les larves de ses congénères (Scotti, 1978).

Le premier accouplement a eu lieu environ deux jours après l'émergence des imagos et dure de trois à 15 minutes. Pendant sa vie, la femelle pond entre 500 et 1000 œufs, placés sur les marchandises et difficiles à distinguer. Dès l'éclosion, qui survient six à dix jours après la ponte, la jeune larve est très active, s'agitant dans tous les sens, elle subit en tout sept à huit mues (Lepesme, 1944). Elles deviennent des petites nymphes nues, d'abord blanches, qui évoluent progressivement vers le jaune puis le brun et deviennent rapidement adultes. Le cycle évolutif de l'œuf à l'adulte est d'environ 6 semaines en été, quand les températures sont favorables, mais bien plus long par temps froid, comme pour tous les insectes ravageurs des grains (Anonyme, 1955) (Figure 6).

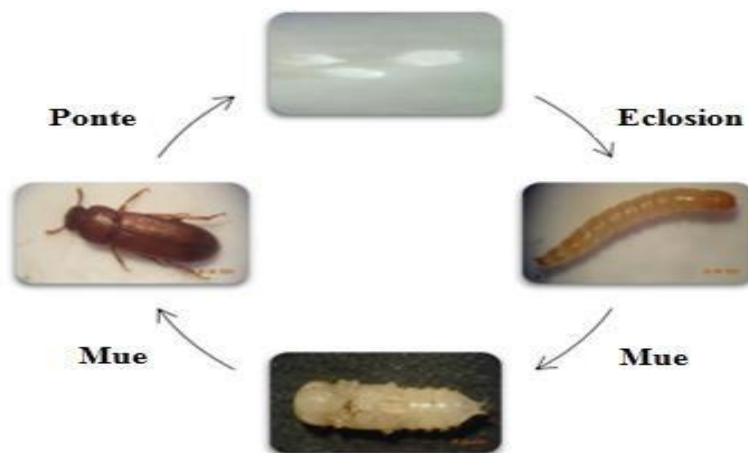


Figure6:Cycle biologique de *T. confusum* (juin, 2024).

5. Méthodes de lutte contre *T. confusum*

5.1. Lutte préventive et curative

L'hygiène des moyens de transport, des locaux de stockage, des installations de manutention et des machines de récolte est une mesure préventive de la lutte. Il est primordial de séparer les récoltes nouvelles des cultures anciennes dans l'entrepôt (**Kellouche, 2005**).

En ce qui concerne la lutte curative, son objectif est de prévenir la propagation de ravageurs et de maladies dans le stockage des aliments lors de l'infestation et avant d'atteindre un stade irréversible plus complexe.

5.2. Lutte par action physique

La lutte physique consiste en l'utilisation d'agents physiques tels que le mouvement, la chaleur, la lumière, le froid, l'eau, l'électricité, la radiation... afin de minimiser l'activité biologique des polluants des semences. La température d'un entrepôt de stockage à -1 ° C pendant un mois peut causer la mort d'adultes (**Labeyrie, 1962**). L'exposition des graines à des radiations ultra-violettes de longueur d'onde inférieure à 3126 Å peut entraîner la mort des œufs et des larves de premier stade, ainsi que la production d'individus anormaux (**Labeyrie, 1962**).

5.3. Lutte par produits de synthèse

Selon **Hall (1970)**, **Haubruge et al. (1988)** et **Redlinger et al. (1988)**, il est démontré que l'utilisation de pesticides de synthèse est le moyen de protection le plus efficace. De ce fait, les phosphates organiques, les pyréthrinoïdes synthétiques et les produits contenant des principes actifs de ces deux familles sont fréquemment employés en tant que pesticides (**Gwinner et al., 1996**).

En général, le traitement par contact est utilisé pour recouvrir les grains, l'emballage et les locaux de stockage avec une pellicule de produit insecticide qui agit directement sur les prédateurs, avec une action plus ou moins rapide et une durée d'action plus longue comme les pyréthrinoïdes de synthèse qui ont souvent un effet de choc sur les insectes, comme *T. castaneum* (**Cruz et al., 1988**).

5.4 .Lutte par produits naturels

Selon **Padin et al. (1997)**, il existe des produits naturels d'origine végétale tels que des poudres minérales, des huiles végétales et des huiles essentielles, qui proviennent de la phytothérapie. Actuellement, la lutte biologique est la méthode la plus privilégiée dans les programmes de recherche en raison de ses bénéfices environnementaux, économiques et agricoles, et cela pour préserver l'équilibre bioécologique.

Les propriétés insecticides des huiles essentielles extraites des feuilles des plantes sont également très intéressantes, car elles permettent de combattre différents insectes nuisibles aux stocks alimentaires (**Tapondjou et al., 2003**; **Kellouche, 2005**).

Différentes huiles essentielles, poudres et autres extraits de plante sont été testés pour leur efficacité en tant qu'insecticides contre différents ravageurs des céréales et des légumes. Par exemple, des extraits de plantes aromatiques et leurs huiles essentielles sont utilisés pour combattre le bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus*.s (Coleoptera, Bruchidae) et la mite *Tineola bisselliella* (Lepidoptera, Tineidae) (**Bouchikhi, 2014**).

Boukhalfa et Rouabah (2020) ont également utilisé divers extraits et huiles essentielles provenant de la famille des Lamiaceae, des Myrtaceae, des Poaceae et des Astéraceae pour combattre certains coléoptères (*Sitophilus granarius*, *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, *T. confusum* et *T. castaneum* Herbst) et les lépidoptères (*Ephestia cautella* (Walker), *Plodia interpunctella* et *Sitotroga cerealella* (Olivier)).

5.5. Lutte biologique

Lutte biologique repose sur l'utilisation des organismes vivants afin de diminuer le nombre d'agents pathogènes, ce qui permet de limiter les dégâts aux cultures. Tous les organismes vivants, qu'ils soient champignons, nématodes, bactéries ou insectes, sont susceptibles de s'attaquer à des parasites et des ravageurs (**Anonyme, 1981**).

Cette approche est en accord avec la promotion du développement durable et la préservation des écosystèmes. Elle vise à diminuer la population de ravageurs en utilisant des ennemis naturels (prédateurs, parasites ou pathogènes).

6. Dégâts

Le *Tribolium confusum* provoque plusieurs types de dégâts lorsqu'il s'attaque aux denrées stockées. Il contamine les aliments en y laissant des excréments, des fragments de peau et des morceaux d'insectes, ce qui les rend impropres à la consommation. En s'alimentant de produits tels que les farines et les céréales, il dégrade leur qualité, rendant ces derniers inutilisables (**Steffan, 1978**).

De plus, sa présence altère le goût et l'odeur des produits infestés, en dégageant des composés chimiques désagréables. Cela peut aussi favoriser le développement de moisissures, car l'activité de l'insecte augmente la vulnérabilité des aliments à l'humidité. Enfin, les infestations de *Tribolium confusum* entraînent des pertes économiques importantes, à la fois à cause des produits détruits et des coûts nécessaires pour éliminer ces insectes et protéger les stocks (**Roger, 2002**).

Chapitre III :

Les huiles essentielles

1. Définition

Les huiles essentielles sont des substances naturelles extrêmement complexes et volatiles, obtenues à partir de plantes aromatiques. Elles se distinguent par leur odeur intense (**Bakkali et al., 2007**).

Une huile essentielle, selon la Commission de la pharmacopée européenne et la norme ISO9235, est un produit odorant généralement complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale spécifique, définie botaniquement. Elle est extraite soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. Généralement, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par un procédé physique qui ne modifie pas significativement sa composition (**Bouarfa, 2019**).

2. Répartition botanique et localisation des huiles essentielles

Selon **Bruneton (1999)**, les huiles essentielles sont presque exclusivement présentes chez les plantes supérieures. Les plantes capables de produire les composants qui composent ces huiles essentielles sont désignées sous le nom de plantes aromatiques. Elles se trouvent principalement dans un nombre restreint de familles botaniques telles que les Myrtacées, les Lauracées, les Rutacées, les Lamiacées, les Astéracées, les Apiacées, les Cupressacées, les Poacées, les Zingibéracées, les Pipéracées, etc.

Il existe quatre structures sécrétrices:

- **Les cellules sécrétrices:** Chez les Lauracées et les Zingibéracées.
- **Les poches sphériques schizogénèse :** Chez les Astéracées et les Rosacées.
- **Les canaux glandulaires lysigènes:** Chez les Conifères et les Ombellifères
- **Les poils glandulaires épidermiques:** Chez les Lamiacées et les Géraniacées.

Les huiles essentielles sont synthétisées dans le cytoplasme des cellules végétales et peuvent être stockées dans divers organes des plantes. Elles se trouvent ainsi dans les fleurs (bergamotier, rose, etc.), les sommités fleuries (tagète, lavande, menthe, etc.), les feuilles (citronnelle, eucalyptus, etc.), les racines (vétiver), les rhizomes (gingembre, curcuma, etc.), les fruits (poivres, etc.), le bois (bois de rose, santal, camphrier, etc.), ou les graines (muscade, ambrette, etc.) (**Bruneton, 1999**).

3. Composition chimique des huiles essentielles

La composition chimique des huiles essentielles est souvent très complexe et peut varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment les changements climatiques et géographiques des plantes utilisées (**Françoise et Annelise, 2013 ; Soro et al., 2015**). Les principaux constituants des huiles essentielles sont :

3.1. Composés terpéniques

Les terpènes, une classe d'hydrocarbures produits par les agrumes, les pins, les sapins et diverses autres plantes, sont connus pour leurs propriétés expectorantes, tonifiantes et balsamiques. Ils ont également la capacité d'assainir l'air ambiant et de traiter les affections des voies respiratoires (**Danièle, 2014**).

Les terpènes sont classés en différentes catégories selon le nombre d'unités pentacarbonées ramifiées (C₅) qu'ils contiennent : les terpènes hémiterpéniques (C₅), monoterpéniques (C₁₀), sesquiterpéniques (C₁₅) et diterpéniques (C₂₀) (Huet, 1991; Piochonet al., 2008).

3.2. Composés aromatiques et d'origine variable

➤ **Aldéhydes:** On distingue deux sortes d'aldéhydes:

Aldéhydes aromatiques: Ces composés sont d'excellents agents anti-infectieux, immunostimulants et toniques. Par exemple, l'aldéhyde cinnamique contenu dans la cannelle (écorce) en est un exemple (Danièle et al., 2014).

Aldéhydes terpéniques: Font partie des anti-inflammatoires, anti-infectieux et insectifuges. On les trouve dans la verveine citronnée et dans l'eucalyptus citronné (Huet, 1991 ; Danièle, 2014).

- **Alcools**
- **Phénols**
- **Cétones**
- **Esters**
- **Phénols méthyl-éther (éthers)**

4. Les activités biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent diverses activités biologiques d'intérêt médical et pharmaceutique:

4.1. Activité antibactérienne

Plusieurs études ont démontré l'activité antibactérienne des huiles essentielles, se traduisant par l'inhibition de la croissance bactérienne. Cette activité est évaluée *in vitro* par la méthode de diffusion des disques vis-à-vis des bactéries. L'effet peut être bactéricide ou bactériostatique (Deans et Ritchie, 1987)

4.2. Activité antifongique

Les huiles essentielles présentent un effet significatif contre les champignons et sont utilisées pour traiter les infections fongiques chez l'homme, les animaux et les plantes. Parmi les composés actifs contre les champignons, on trouve les aldéhydes aromatiques et les monoterpènes (Hammer et al., 1996 ; Preuss et al., 2005 ; Piochon, 2008 ; Bezza et al., 2010).

4.3. Activité antivirale

Les huiles essentielles ont démontré une excellente activité antivirale. De nombreux constituants, tels que les phénols terpéniques et aromatiques, les alcools monoterpéniques, et les aldéhydes monoterpéniques et aromatiques, ont montré cette activité (Carson et Hammer, 2011).

4.4. Activité antiparasitaire

Certains constituants des huiles essentielles, tels que les alcools monoterpéniques, les phénols et certains oxydes, présentent une activité contre les parasites protozoaires et métazoaires, tels que les leishmanies et les vers (**Bezza et al., 2010 ; Fabre, 2017**).

4.5. Activité insecticide

Les principaux composants des huiles essentielles, tels que les monoterpènes et les éthers-oxydes (comme l'eucalyptolet le limonène), ont une toxicité sur les insectes nuisibles aux grains (**Lee et al., 2001 ; Burt, 2004 ; Seri-kouassi et al., 2004**).

4.6. Activité antioxydant

Les phénols et les polyphénols des huiles essentielles possèdent une capacité antioxydante. Cette propriété est utilisée comme substitut dans la conservation alimentaire et pour traiter les maladies causées par les réactions d'oxydation (**Richard, 1992 ; Mighri et al., 2009 ; Shaaban et al., 2012**).

Chapitre IV :
Présentation des plantes
Aromatiques étudiées

1. Le cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica*)

1.1. Description botanique

Le cèdre de l'Atlas est un arbre de grande taille, pouvant dépasser 50 mètres de hauteur. Il présente une forme pyramidale durant la jeunesse, avec des ramifications de premier ordre souvent dressées. À l'âge adulte, il adopte une forme tabulaire (**Gaussen, 1967**) (Figure 7).

Il présente une morphologie distincte. Ses aiguilles, mesurant de 1 à 2 cm, sont isolées sur les jeunes rameaux longs et les pousses de l'année, tandis que sur les rameaux courts, elles sont fasciculées et en rosette, persistantes, et varient du vert foncé au vert bleuté selon les arbres. Il existe une variabilité intra spécifique, les provenances algériennes ayant des aiguilles plus longues mais moins nombreuses par rosette comparées aux provenances marocaines (**Boudy, 1950; Toth, 1971**). Le cône, cylindrique, mesure entre 5 et 8 cm de long, passant du vert au brun à maturité, processus qui prend environ deux ans (**Debazac, 1964**).

L'écorce, jaune-brun, devient grisâtre et profondément crevassée avec l'âge (**Toth, 1981 et al., 1995**). Le tronc, généralement branchu, évoluant de droit ou conique à tortueux avec le temps. Le système racinaire est très étendu, ramifié et pivotant, assurant la stabilité de l'arbre en colonisant les sols humides et profonds. Enfin, la longévité du cèdre de l'Atlas est remarquable, pouvant dépasser 1000 ans (**Boudy, 1959 ; Toth, 1978**).

Le cèdre de l'Atlas, connu sous les noms de Meddad en arabe et Begnoun ou Ithguel en berbère, présente une morphologie distincte. Ses graines sont marron-roux, triangulaires, mesurant de 10 à 15 mm de long, tendres, très résineuses et munies d'une large aile (**Debazac, 1969**).

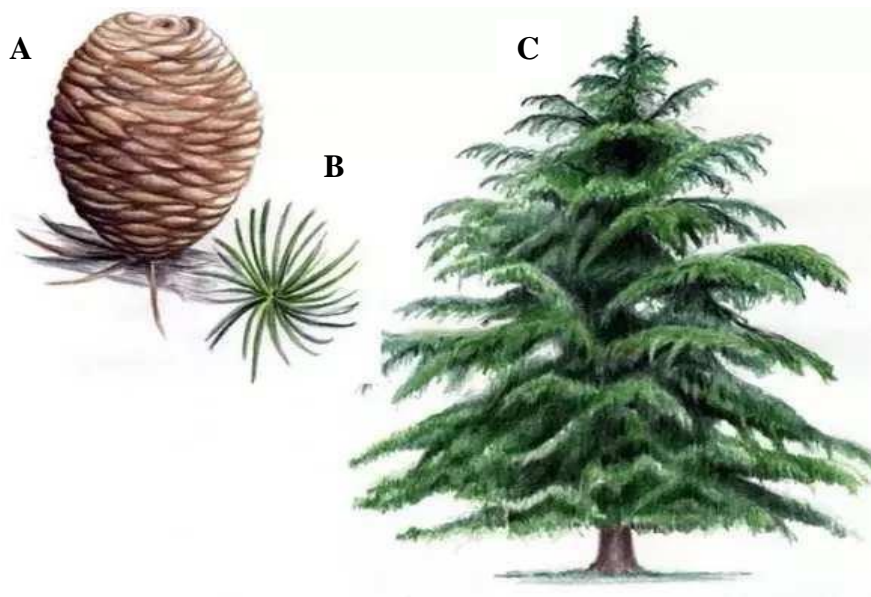


Figure 7 : le cèdre de l'atlas (**Benchekroun, 1993**).

A:Cône;B:Feuilles;C:L'arbre

1.2. Position systématique

Selon **Emberger (in Taleb, 2004)** la position taxonomique du Cèdre de l'Atlas est:

Embranchement: Spermaphytes

Sous embranchement: Gymnospermes

Classe: Vectrices

Ordre: Coniférales

Sous ordre: Abiétales

Famille: Pinacées

Sous famille: Abiétés

Genre: *Cedrus*

Espèce: *Cedrus atlantica* Manetti

1.3. Origine géographique

Le cèdre de l'Atlas est une espèce endémique des montagnes d'Afrique du Nord (Algérie et Maroc).

En Algérie, il est rencontré principalement dans le Nord, le centre et l'Est du pays. Il forme des forêts morcelées en plusieurs îlots de taille variable. En Algérie, on distingue 3 principaux blocs de cédraies: Les cédraies de l'Ouarsenis au centre; les cédraies du Djurdjura et des Babors ; les cédraies des Aurès (**Mhitit, 1994**).

1.4. Composition chimique

Selon **Rastogi (1984)**, les constituants majoritaires de l'huile essentielle de *C. atlantica* sont:

- **Monoterpènes:** Environ 10-20%
- **Sesquiterpènes:** Environ 60-70%
- **Cétones:** Environ 8-10%
- **Alcools:** Environ 5-10%

1.5. Domaine d'application

Les huiles essentielles de *C. atlantica* sont largement utilisées en parfumerie et en cosmétique, en raison de la présence d'himachalène. Elles sont également montrées leur efficacité dans le traitement de la chute des cheveux lorsqu'elles sont utilisées en combinaison avec d'autres huiles d'aromathérapie (**Barrero et al., 2005**). De plus, chez les anciens Égyptiens, l'essence et la résine de cèdre étaient des composants essentiels des préparations utilisées pour embaumer les momies (**Moussaoui, 2014**).

2. Eucalyptus citronné (*Eucalyptus citriodora*)

2.2. Description botanique

L'*E. citriodora*, un arbre de 20 à 50 mètres de haut, présente une écorce lisse, poudreuse et blanche. Sa couronne est ouverte et son feuillage est fin. Les feuilles sont solides, longues, étroites et effilées avec des extraits de différentes couleurs en fonction de leur âge. La présence de citronnelle donne à ses feuilles et à ses fleurs une forte odeur citronnée. Les fruits ont une forme en urne de petite taille, avec un bord mince et des valves bien enfoncées (Likibi et al., 2019). Les fleurs sont d'un jaune crème, axillaire, avec des feuilles supérieures à l'aisselle, des inflorescences simples à 3 fleurs, des pédoncules cylindriques et des opercules hémisphériques apiculés (Brooker et Boland, 1984) (Figure 8).



Figure8: *E. citriodora* (arbres, feuilles, fleurs)(Anonyme, 2017)

2.2. Position systématique

Selon Koziol(2015), l'eucalyptus citronné est classé comme suit:

Sous-Embranchement: Angiospermes.

Clade : Dicotylédones vraies

Clade: Dicotylédones supérieure

Clade : Rosidées

Clade : Eurosidées

Ordre : Myrtales

Famille: Myrtacées

Genre : *Eucalyptus*

Espèce: *Eucalyptus citriodora*.

2.3. Origine géographique

E.citriodora est une espèce d'Eucalyptus citronné appartenant à la vaste famille des Myrtaceae. Son nom vient de l'odeur intense de citron que dégage son feuillage. Né en Australie et à Madagascar, il se rencontre dans toutes les parties du globe.

Le froid constitue un obstacle à son implantation. Il se rencontre de nos jours plus dans des régions chaudes, tropicales ou semi-tropicales, voire semi-arides, comme l'Amérique du Sud, la Chine, les régions tropicales et tempérées de l'est de l'Australie, l'Afrique, le Brésil, l'Inde, Madagascar, et même le Portugal (Koziol, 2015) et (Tolba, 2017).

2.4. Composition chimique

D'après Anatole et al.(2013),l'huile essentielle d'*E. citriodora* est riche en:

Citronellal : 83,50%
Isopulégol: 4.40%
Méthyleugenol: 2,20%
Néo-isopulégol: 1.90%
Citronnellol: 1,85%
Acétatedecitronellyle :1.10%
Autre éléments : 2.25%
Total des composants non identifiés: 2.8%

2.5. Domaine d'application

L'huile essentielle *E. Citriodora* est l'une des huiles indispensables en aromathérapie : anti-inflammatoire, antidouleur et antifongique, elle est aussi redoutablement efficace pour se débarrasser des moustiques. Seule ou en synergie, par voie orale ou en application cutanée, elle peut aussi être utilisée en diffusion.

Il est recommandé de prendre des décoctions des feuilles d'*E. citriodora* pour les bronchites, la toux, les rhumes et la sinusite. Les propriétés de la poudre d'*E. citriodora* permettent de préserver efficacement les denrées stockées. Depuis longtemps, les huiles essentielles d'Eucalyptus sont employées en pharmacie pour fabriquer des antiseptiques, des inhalants et des désinfectants (Traore et al., 2013).

Matériel et Méthode

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Pour la réalisation de nos expériences, nous avons utilisé l'équipement suivant :

- Une étuve maintenue à une température de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $60 \pm 5\%$, conditions optimales pour le développement de *T. confusum*.
- Des bocaux en verre pour les élevages de masse.
- Des boîtes de Pétri en plastique de 10 cm de diamètre et 1,8 cm de hauteur et d'autres de 5,2 cm de diamètre et de 1,2 cm de hauteur pour les tests.
- Des flacons en plexiglas.
- Une micropipette pour doser les huiles essentielles.
- Un tamis pour récupérer les *T. confusum* des élevages de masse.
- Une balance à affichage électronique.
- Du papier filtre utilisé pour les tests par inhalation et de répulsivité.
- Un réfrigérateur.
- L'acétone comme solvant.
- D'autres outils de manipulation ont été également utilisés (pinces, des ciseaux, du scotch, des étiquettes, etc.) (Figure 9).

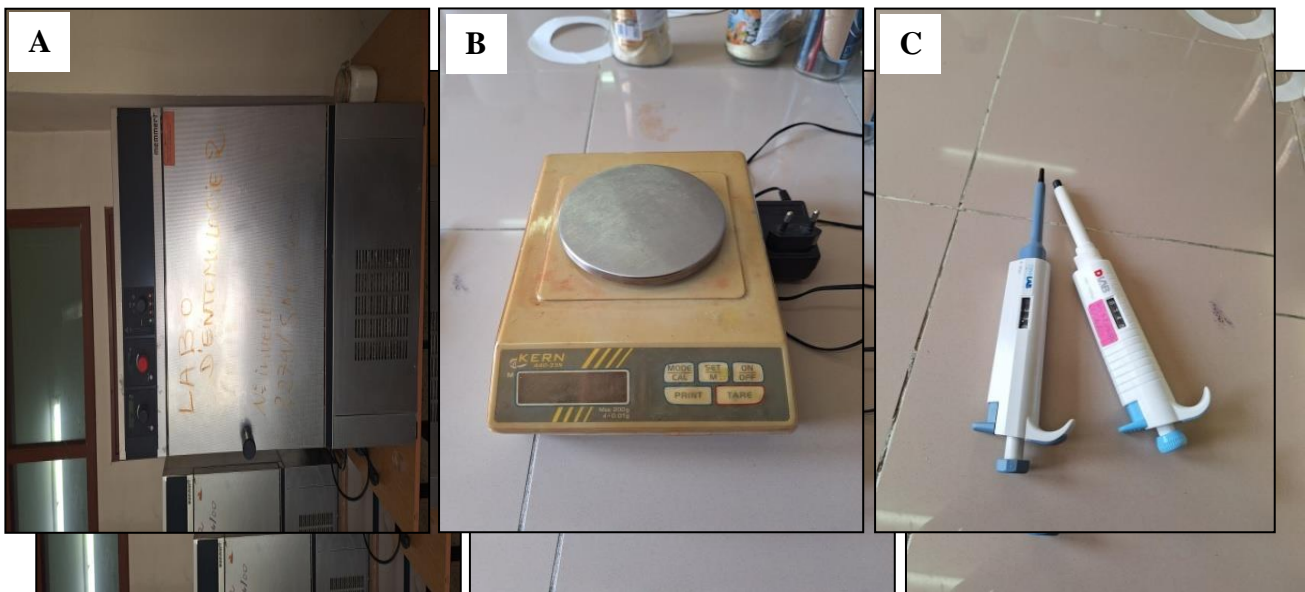


Figure9: Matériel de laboratoire
(A):Une étuve; (B):Balance de précision; (C):Micropipette

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Matériel animal (*T. confusum*)

Les individus de *T. confusum* utilisés dans notre étude sont issus à partir d'une souche initiale provenant du laboratoire d'Entomologie Appliquée de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

1.2.2. Matériel végétal

➤ Le substrat

Nous avons utilisé de la semoule moyenne comme substrat alimentaire pour nos tests. Cette semoule est achetée sur le marché local et conservée au réfrigérateur pendant toute la durée de l'expérience afin de prévenir toute contamination.

➤ Les huiles essentielles

Pour notre étude, nous avons testé deux huiles essentielles, Cèdre de l'atlas et Eucalyptus citronné, achetées au marché local de Yakouren situé dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Nous avons choisi ces huiles en fonction de plusieurs critères : leur disponibilité dans la région, leur utilisation en pharmacologie et les rapports de leur activité insecticide dans la littérature scientifique.

Nos huiles essentielles sont conservées dans des flacons en verre colorés, hermétiquement fermés, à une température de 5°C.

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse

L'élevage de masse de *T. confusum* est réalisé dans des bocaux en verre, remplis à moitié de semoule. Des mâles et des femelles d'âges variés sont introduits dans chaque bocal, dont le couvercle est perforé de petits trous pour l'aération (Figure 10). Les bocaux sont ensuite placés dans une étuve obscure, réglée à une température de 30 ± 1 °C et une humidité relative de 60 ± 5 %. Après une semaine, les adultes sont retirés, laissant les œufs se développer jusqu'à l'émergence des adultes de la première génération. Les adultes âgés de moins de 7 jours sont alors utilisés pour divers tests biologiques. Cet élevage permet de fournir un nombre suffisant d'adultes pour les différents essais.



Figure10: Elevage de masse des adultes de *T. confusum* (mars, 2024).

2.2. Tests biologiques

2.2.1. Test d'inhalation sur les adultes

Ce test vise à étudier l'effet de l'inhalation de deux huiles essentielles de *C. atlantica* et d'*E. citriodora* sur la mortalité des adultes de *T.confusum* en suivant le protocole expérimental suivant :

Nous avons utilisé des flacons en plexiglas d'un volume de 64 ml. Sur la face inférieure du couvercle de chaque flacon, un morceau de papier filtre a été fixé à l'aide d'un fil. Ce papier est imbibé d'huile essentielle de cèdre de l'atlas ou d'eucalyptus citronné à différentes doses (80, 100, 120 et 140 μ l) à l'aide d'une micropipette (Figure 11).

Dix adultes de *T. confusum* âgés de 0 à 7 jour sont été introduits dans chaque flacon contenant 3 g de semoule. Parallèlement, un lot témoin sans huile a également été préparé.

Pour chaque dose, la durée d'exposition a été variée : 24h, 48h, 72h, quatre répétitions ont été réalisées pour chaque dose, ainsi que pour les témoins.

À la fin de l'expérience, les insectes ont été transférés dans de petites boîtes de Pétri et le comptage des individus morts a été effectué 24 heures après le traitement.



Figure11: Test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* (avril, 2024).

✓ L'effet par inhalation du mélange des deux huiles essentielles après 24h d'exposition

Pour le test d'inhalation du mélange des deux huiles essentielles après 24 heures, nous avons suivi le même protocole expérimental que celui décrit précédemment pour le test d'inhalation. Le papier filtre a été imbibé avec une mixture contenant la concentration létale de l'huile essentielle de cèdre de l'atlas, établie à 40 μ l, et d'autre part d'eucalyptus citronné établie à 40 μ l.

2.2.2 Test de répulsivité

Ce test vise à évaluer l'effet répulsif des huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné sur les adultes de *T. confusum*, en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

Nous avons découpé des disques de papier filtre de 8,5 cm de diamètre en deux parties égales. L'une des parties a été traitée (Tr) avec une des huiles essentielles à différentes doses (80,100,120 et 140 μ l) diluées dans 0,5 ml d'acétone, tandis que l'autre partie (Nt) a été traitée uniquement avec le même volume d'acétone.

Après évaporation du solvant, les deux parties (traitée et non traitée) ont été assemblées avec une bande adhésive et placées au fond d'une boîte de Pétri de 8,5 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur (Figure 12).

vingt adultes de *T. confusum* ont ensuite été déposés au centre de la boîte de Pétri. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose.

Après une demi-heure de traitement, nous avons compté le nombre d'individus présents sur la partie du disque traitée uniquement avec l'acétone et sur l'autre partie traitée avec l'huile essentielle diluée dans l'acétone.

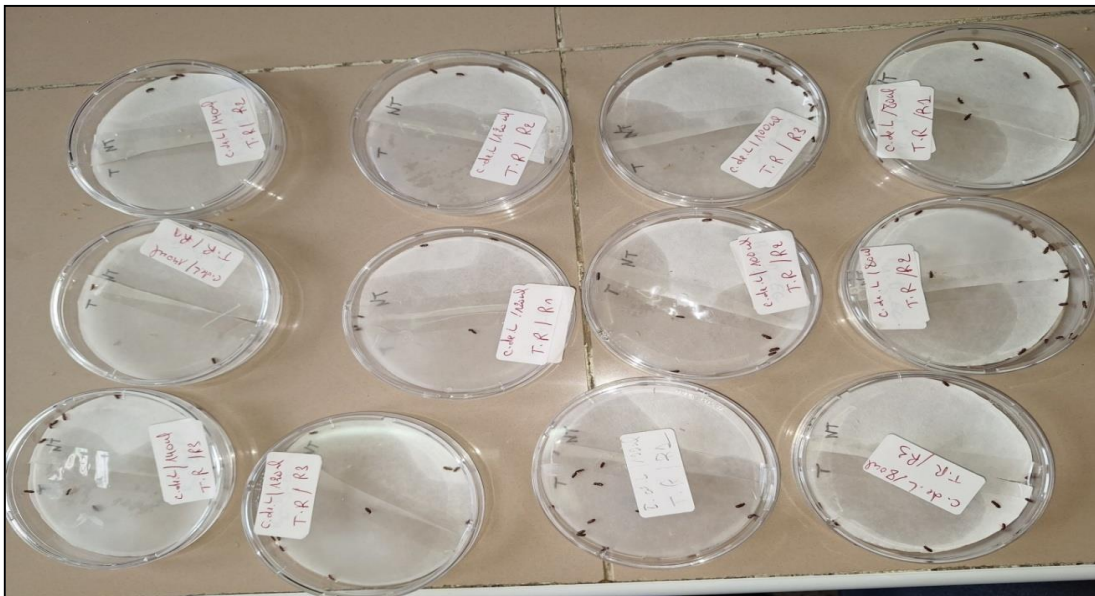


Figure 12: Test de répulsivité sur les adultes *T. confusum* (juin, 2024).

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

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

Le pourcentage moyen de répulsion pour chaque huile essentielle est calculé en utilisant les nombres d'individus présents dans les parties traitées spécifiques : NT pour la partie traitée avec de l'acétone uniquement et Tr pour la partie traitée avec une dilution d'huile essentielle dans de l'acétone. Ce pourcentage est ensuite classé dans l'une des catégories répulsives définies par **Mc Donald et al. (1970)**, comme indiqué dans le tableau 2.

Tableau2: Pourcentage de répulsion selon le classement de **Mc Donald et al.(1970)**.

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe0	$PR \leq 0.1\%$	Très faiblement répulsif
ClasseI	$0.1\% < PR$	Faiblement répulsif
Classe II	$20\% < PR \leq 40\%$	Modérément répulsif
Classe III	$40\% < PR \leq 60\%$	Moyennement répulsif
ClasseIV	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
ClasseV	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif

✓ L'effet par répulsion du mélange des deux huiles essentielles après 24h d'exposition

Pour évaluer l'effet répulsif du mélange des deux huiles essentielles après 24 heures, nous avons procédé comme suit : d'abord, nous avons dilué de l'huile essentielle de cèdre de l'atlas, établie à 40 µl, ainsi que la dose de l'huile essentielle d'eucalyptus citronné, qui est de 40 µl, dans 0,5 ml d'acétone. Cette préparation a été utilisée sur la partie traitée (Tr) de l'expérience. Sur la partie non traitée (NT), nous avons utilisé uniquement le même volume d'acétone.

Après que le solvant ait complètement évaporé, vingt adultes de *T. confusum* âgés de 0 à 7 jours ont été placés au centre de la boîte de Pétri. Trois répétitions ont été réalisées. Après une demi-heure de traitement, nous avons compté le nombre d'individus présents sur la partie du disque traitée uniquement avec de l'acétone et sur l'autre partie traitée avec le mélange d'huiles essentielles diluées dans l'acétone.

3. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont ensuite soumis à une analyse de la variance (ANOVA) à trois critères de classification à l'aide du logiciel Statbox version 6.40. Cette analyse vise à évaluer l'action des huiles essentielles sur les adultes de *T. confusum* et à analyser les différents paramètres étudiés.

En cas de différences significatives entre les différents traitements identifiées par l'ANOVA, une analyse complémentaire est réalisée avec le test de Newman et Keuls, avec un seuil de 5%. Cet est permet de déterminer les groupes homogènes selon les résultats suivants :

- **P>0.05** : aucune différence significative n'est observée.
- **0,01<P<0.05**: il ya une différence significative entre les groupes.
- **0,001<P<0,01**: il ya une différence hautement significative entre les groupes.
- **P<0.001**: il ya une différence très hautement significative entre les groupes.

Chapitre V : Résultat et discussion

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

Effet de l'huile essentielle de Cèdre de l'atlas (*C. atlantica*) à l'égard de *T. confusum*

La figure 13 présente les résultats du test d'inhalation sur les adultes du *T.confusum* traités avec l'huile essentielle de cèdre de l'atlas.

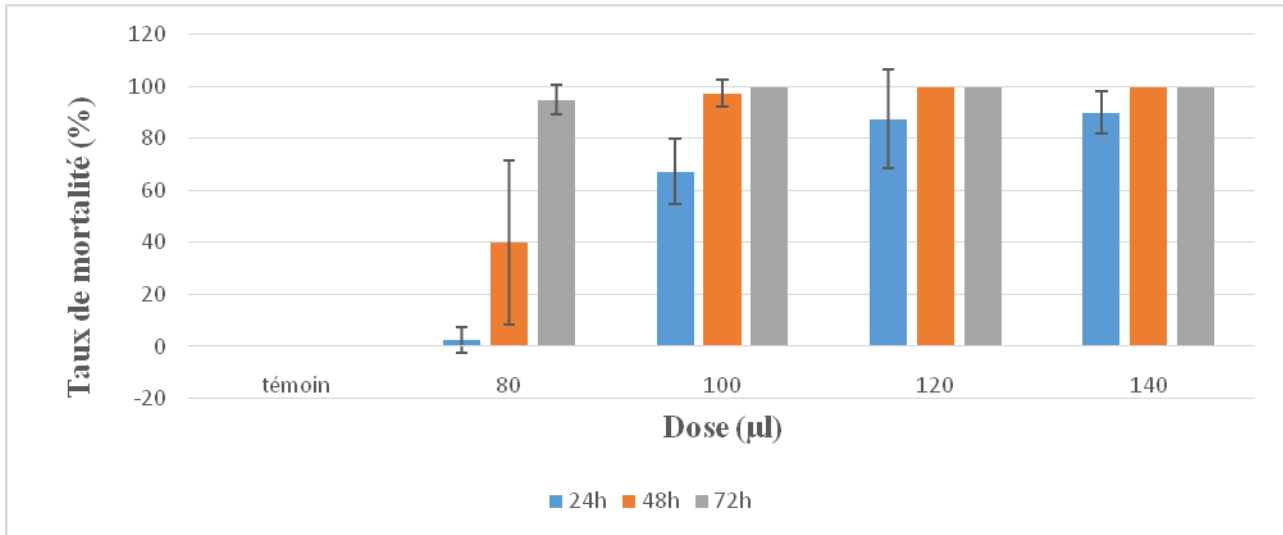


Figure 13 : Taux de mortalité moyen (moyennes \pm écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de cèdre de l'atlas en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

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

L'effet fumigant de cette huile essentielle s'observe dès la plus faible dose utilisée (80 µl), après 48h d'exposition avec un taux de mortalité de 40%, ce taux atteint les 95% après 72h d'exposition. Une mortalité totale des adultes est enregistrée à partir de la dose 100 µl après 72h d'exposition, alors que dans les lots témoins aucune mortalité n'a été observée.

Effet de l'huile essentielle d'Eucalyptus citronné (*E. citriodora*) à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide de l'huile essentielle d'eucalyptus citronné sont indiqués dans la figure ci-dessous.

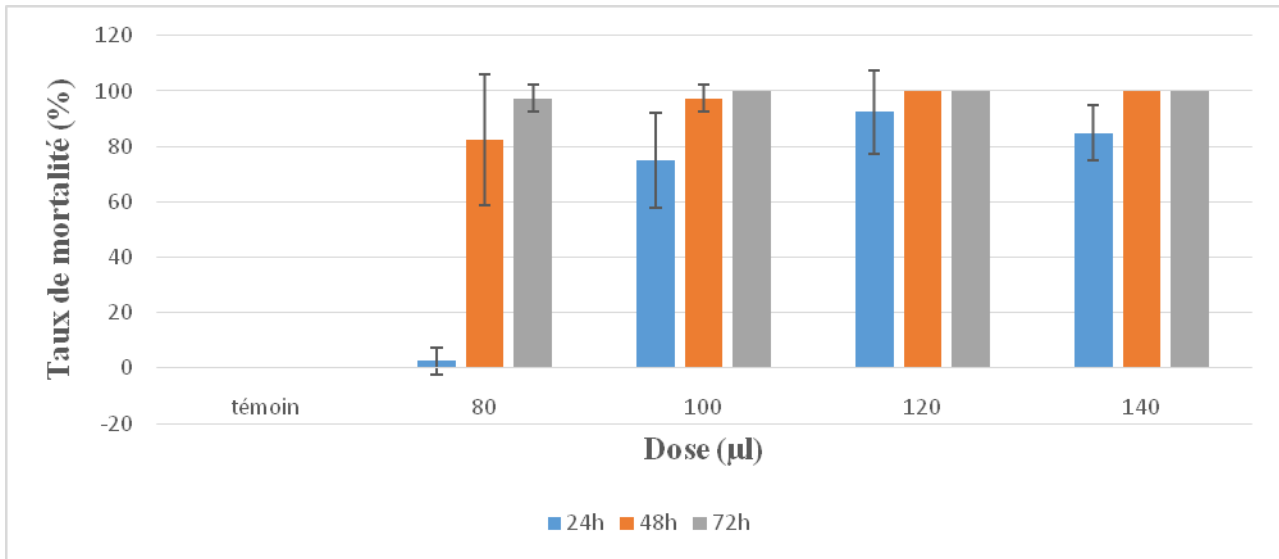


Figure 14: Taux de mortalité moyen (moyennes \pm écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle d'*E. citriodora* en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Il ressort que le taux moyen de mortalité des adultes dans le lot témoin, qui n'a subi aucun traitement est nul. En revanche, les résultats obtenus dans les lots traités révèlent que la mortalité des adultes de *T. confusum* évolue de façon dépendante de la dose et de la durée d'exposition. En effet, plus de 80% de létalité est observée dès 48h d'exposition, à la plus faible dose de 80 µl.

Le taux de mortalité le plus élevé (100%) est enregistré avec la dose 100 µl après 72h d'exposition et aux doses 120 µL et 140 µl dès 48h d'exposition.

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

L'analyse montre l'existence d'une différence très hautement significative pour les deux facteurs dose et temps ($p = 0,0000$) et l'absence d'une différence significative pour le facteur huile ($p = 0,05245$).

L'interaction (dose \times temps) a un effet très significatif hautement significatif ($p = 0.0000$), l'interaction des facteurs (huile \times dose) montre une différence significative ($p < 0.05$), tandis que l'interaction des facteurs (huile \times temps) n'est pas significative ($p > 0.05$) (Tableau 3).

Tableau 3:Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TESTF	PROBA	E.T.	C.V.
Var.totale	219479,2	119	1844,363				
Var.facteur 1 (huile)	367,484	1	367,484	3,769	0,05245		
Var.facteur 2 (dose)	165533,3	4	41383,34	424,445	0		
Var.facteur 3 (temps)	18126,67	2	9063,336	92,957	0		
Var.interf1*2 (huile*dose)	1053,344	4	263,336	2,701	0,03511		
Var.interf1*3 (huile*temps)	380,016	2	190,008	1,949	0,14612		
Var.interf2*3 (dose*temps)	23206,66	8	2900,832	29,752	0		
Var.interf1*2*3 (huile*dose*temps)	2036,656	8	254,582	2,611	0,01294		
Var.residuelle 1	8775	90	97,5			9,874	14,72%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans 4 groupes homogènes : A, B, C et D. Les doses les plus performantes, à savoir 120 µl et 140 µl, sont regroupées dans le groupe homogène A. Chacune des autres doses est placée dans un groupe homogène distinct (Tableau 4).

Tableau4:Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des deux huiles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE SHOMOGENES			
4.0	D3 =120µl	96,667	A			
5.0	D4=140µl	95,833	A			
3.0	D2=100µl	89,583		B		
2.0	D1= 80µl	53,333			C	
1.0	D0=0µl	0				D

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

Tableau5:Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur Temps sur les adultes de *T. confusum*.

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE SHOMOGENES		
3.0	T3(72h)	79,25	A		
2.0	T2(48h)	71,75		B	
1.0	T1(24h)	50,25			C

Effet du mélange de deux huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard de *T. confusum* après 24h d'exposition

Le graphe suivant illustre l'effet de la mixture des deux huiles essentielles cèdre de l'atlas et eucalyptus citronné (40 μ l \times 40 μ l) sur les adultes de *T. confusum* par test d'inhalation (figure 15).

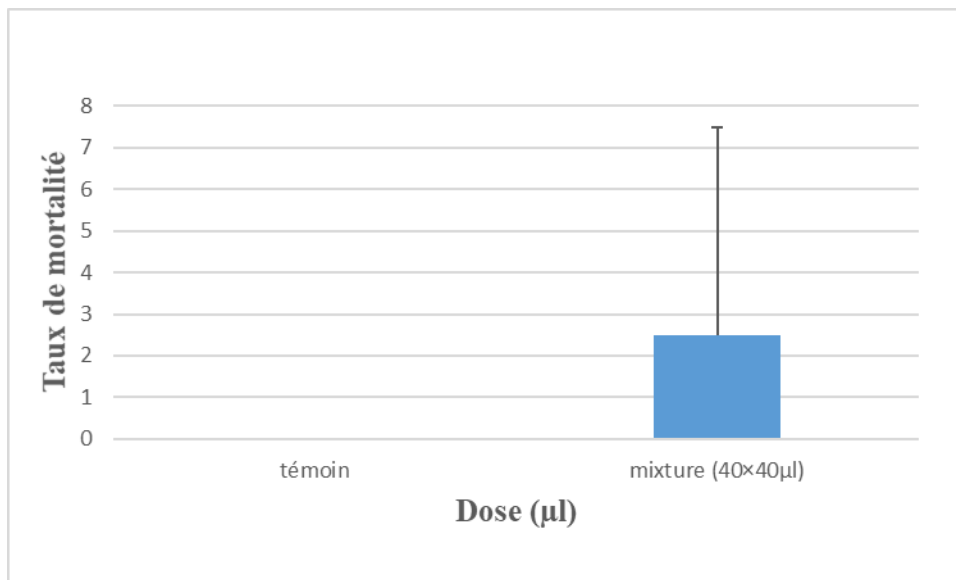


Figure15 : Taux de mortalité (Moyenne \pm écart-type) des adultes de *T. confusum* traités avec la mixture de Cèdre de l'atlas \times Eucalyptus citronné par inhalation, après 24h.

Les résultats obtenus avec la mixture de 40 μ l de l'huile essentielle extraite du cèdre de l'atlas avec 40 μ l de l'huile essentielle d'eucalyptus citronné après 24h d'exposition, ont révélé que cette dernière exerce une toxicité très faible sur les adultes de *T. confusum* avec un taux de mortalité ne dépassant pas 2.5%, un taux de mortalité proche de celui enregistré avec les deux huiles essentielles testées séparément, à la même dose (80 μ l) et pour la même durée d'application (24h). Dans les lots témoins, le taux de mortalité des adultes de tribolium est égal à zéro.

2. Résultats des tests par répulsion des deux huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné sur les adultes de *T. confusum*

2.1. Effet des huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par répulsion des huiles essentielles de cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard des adultes de *T. confusum* sont consignés dans le tableau 6.

Tableau 6: Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles du cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard des adultes de *T. confusum* et son classement selon la méthode de McDonald et al. (1970).

Dose Huile	80µl	100µl	120µl	140µl	Taux moyen De répulsion	Classe de répulsivité	Propriétés
Cèdre de l'atlas	40	66,66	66,66	66,66	60	III	Moyennement répulsif
Eucalyptus citronné	26	33,33	46,6	56,6	40,63	III	Moyennement répulsif

Dans l'ensemble, les deux huiles essentielles ont montré un effet répulsif à l'égard des adultes de *T. confusum*. Nous constatons que l'effet répulsif varie en fonction de l'huile utilisée. En effet, la plus grande moyenne de répulsion est obtenue avec l'huile essentielle de cèdre de l'atlas avec un taux moyen de 60%, pour l'huile essentielle d'eucalyptus citronné, le taux moyen de répulsion enregistré est pareillement significatif avec un taux de 40,63%. Selon le classement de **Mc Donald et al. (1970)**, ces deux huiles essentielles appartiennent à la classe III.

L'analyse de la variance à deux critères de classification ne révèle aucune différence significative pour facteur huile ($p = 0,10601$), pour le facteur dose ($p = 0,34412$) ainsi que pour l'interaction entre ces deux facteurs (huile \times dose) ($p = 0,88927$) (Tableau 7).

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsion avec les deux huiles essentielles testées sur les adultes de *T. confusum*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TESTF	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	17695,83	23	769,384				
VAR.FACTEUR1 (huile)	2204,167	1	2204,167	2,875	0,10601		
VAR.FACTEUR2 (dose)	2745,835	3	915,278	1,194	0,34412		
VAR.INTERF1*2	479,165	3	159,722	0,208	0,88927		
VAR.RESIDUELLE 1	12266,67	16	766,667			27,689	54,92%

Effet par répulsion du mélange: Cèdre de l'atlas et d'Eucalyptus citronné à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par répulsion du mélange de deux huiles essentielles, celle de cèdre de l'Atlas et celle d'Eucalyptus citronné, à l'égard des adultes de *T. confusum* sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 8: Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles du cèdre de l'atlas et d'eucalyptus citronné à l'égard des adultes de *T. confusum* et son classement selon la méthode de McDonald et al. (1970).

Huile \ Dose	40ul× 40ul	Pourcentage de répulsion	Classe de répulsivité	Propriété
Cèdre de L'atlas + Eucalyptus citronné	Mixture	90%	V	Très répulsif

Le résultat obtenu révèle que la mixture des deux huiles manifeste un effet très répulsif à l'égard des triboliums adultes.

Selon le classement **MC Donald et al. (1970)**, cette mixture manifeste un effet très répulsif, appartenant ainsi à la classe V avec un taux de répulsion atteignant 90%. En effet, la mixture s'est montrée plus répulsive par rapport aux deux huiles essentielles testées séparément.

DISCUSSION

Afin d'étudier l'impact des huiles essentielles d'eucalyptus citronné et de cèdre de l'atlas sur *Tribolium confusum*, deux protocoles expérimentaux ont été mis en œuvre. Le premier visait à quantifier l'effet létal par inhalation, tandis que le second s'intéressait à l'activité répulsive de ces huiles. Pour chaque protocole, différentes concentrations (80, 100, 120 et 140 µl) ont été testées afin de déterminer la dose létale 5 (DL50).

Les résultats des tests d'inhalation montrent une nette efficacité des deux huiles essentielles testées. Les analyses statistiques confirment une influence significative du type d'huile, de la dose et de la durée d'exposition sur la mortalité des insectes. Une mortalité totale des adultes a été observée à la dose de 100 µl après 72 heures d'exposition. Ces variations peuvent s'expliquer par la composition chimique spécifique de chaque huile et par les comportements particuliers de *T. confusum*.

Nos résultats confirment les travaux précédents de **Karahacane (2015)** et **Kheloul (2020)** sur l'effet insecticide des huiles essentielles d'Eucalyptus. Le premier auteur a montré que l'inhalation d'huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* induisait une mortalité de 100 % chez *T. confusum* à une dose de 80 µl après 3 jours, tandis que **Kheloul (2020)** a observé une mortalité totale de *T. confusum* avec des huiles d'Eucalyptus, de Myrte et de Romarin à 250 µl en 24 h d'exposition. Nos résultats, obtenus avec des doses et des durées d'exposition similaires, renforcent l'intérêt des huiles essentielles d'Eucalyptus comme insecticide naturel pour les denrées stockées.

Kellouche (2005) et **Zahout (2011)** ont étudié l'effet insecticide d'huiles essentielles sur *T. confusum*. Leurs résultats ont révélé que l'huile essentielle d'origan était plus toxique que celle de romarin, induisant une mortalité de 89% contre 65% après 96 h d'exposition.

Ainsi, ces résultats mettent en évidence la variabilité des propriétés insecticides des huiles essentielles, soulignant que certaines sont nettement plus toxiques que d'autres, et que l'efficacité peut dépendre à la fois de la dose et du temps d'exposition.

Dans notre étude, nous avons également testé une mixture d'huile essentielle de cèdre de l'atlas et d'huile

essentielle d'eucalyptus citronné (40 µl × 40 µl), par inhalation, sur les adultes de *T. confusum*. L'association par inhalation de ces deux huiles essentielles s'est révélée moins efficace que prévu contre *T. confusum*. Le taux de mortalité, inférieur à 2,5% enregistré après 24 h d'exposition, suggère une absence d'effet synergique entre ces deux composés.

Dans cette étude, nous avons tenté d'évaluer également l'effet répulsif de deux huiles essentielles, celle de cèdre de l'atlas et celle d'eucalyptus citronné, sur les adultes de *T. confusum*.

Les huiles essentielles de cèdre de l'Atlas et d'eucalyptus citronné ont été évaluées pour leur capacité à repousser les adultes de *T. confusum*. Nos résultats montrent que ces deux huiles présentent un effet répulsif significatif, particulièrement à la concentration la plus élevée (140 µl). L'huile de cèdre de l'Atlas s'est avérée légèrement plus efficace que celle d'eucalyptus citronné. Ces résultats sont en accord avec d'autres études qui ont démontré le potentiel répulsif des huiles essentielles sur divers insectes. **Tapondjou et al. (2003)** ont testé l'effet répulsif des huiles essentielles de *Chenopodium ambrosioides* (Amaranthaceae) et d'*Eucalyptus saligna* (Myrtaceae) à l'égard des adultes de *C. maculatus*. Ils ont constaté que le pourcentage de répulsion de ces huiles augmente en fonction de la dose. L'huile essentielle de *C. ambrosioides* aurait des propriétés répulsives relativement plus élevées (PR= 89%) que celles d'*E. saligna* (PR= 74%).

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

Dans notre étude, nous avons constaté que la combinaison d'huile essentielle de cèdre de l'Atlas et d'huile essentielle d'eucalyptus citronné présentait un effet répulsif particulièrement efficace. Les résultats obtenus montrent que ce mélange surpasse nettement les huiles testées individuellement. Selon la classification de **McDonald et al. (1970)**, l'effet répulsif de ce mélange se classe en catégorie V, avec un taux de répulsion moyen très élevé de 90%. Ce mélange apparaît comme une stratégie prometteuse pour lutter contre *T. confusum*.

Conclusion et perspectives

T. confusum, un ravageur bien connu des denrées stockées, constitue une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire mondiale. Les insecticides chimiques sont largement utilisés pour contrôler cette espèce, mais ils présentent de nombreux inconvénients, notamment la toxicité pour l'homme, la contamination de l'environnement, et l'émergence de résistance chez les insectes. Face à ces défis, il devient crucial de développer des solutions alternatives, plus respectueuses de l'environnement. Les huiles essentielles, extraites de plantes aromatiques, apparaissent comme des options prometteuses pour leur action insecticide et répulsive.

Dans cette étude, nous avons évalué l'efficacité des huiles essentielles d'eucalyptus citronné (*Eucalyptus citriodora*) et de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) sur les adultes de *T. confusum*. Deux modes d'application ont été testés : l'inhalation et la répulsion. Les tests d'inhalation ont été réalisés à différentes doses (80 µl, 100 µl, 120 µl, et 140 µl) et sur des durées d'exposition variées (24h, 48h, 72h). Les tests de répulsion ont été effectués en utilisant la méthode de McDonald et al.(1970), permettant de classer l'effet répulsif des huiles en fonction des pourcentages de répulsion observés.

Les résultats obtenus pour les tests d'inhalation ont montré que l'activité insecticide des deux huiles essentielles varie en fonction de la dose administrée et du temps d'exposition. En effet, avec les deux huiles testées, nous avons enregistré une mortalité totale (100%) des adultes avec la dose 100 µl après 72h d'exposition. Des résultats similaires sont observés pour les doses 120 µL et 140 µl dès 48h d'exposition.

Toute fois, la mixture de 40 µl de l'huile essentielle extraite du cèdre de l'atlas avec 40µl de l'huile essentielle d'eucalyptus citronné après 24h d'exposition, a montré une toxicité très faible sur les adultes de *T. confusum* avec un taux de mortalité ne dépassant pas 2.5%.

En ce qui concerne l'effet répulsif, les deux huiles essentielles ont montré une efficacité modérée contre les adultes de *T. confusum*. L'huile essentielle de cèdre de l'Atlas a présenté un taux moyen de répulsion de 60 %, tandis que celle de l'eucalyptus citronné a montré une répulsion de 40,63 %, les deux appartenant à la classe III. De plus, la combinaison des deux huiles a révélé un effet répulsif significatif (90%). Ce résultat suggère l'existence d'un effet synergique entre les deux huiles, où les composés bioactifs interagissent pour renforcer leur efficacité globale.

En effet, utilisation de la mixture des deux huiles pourrait constituer une stratégie plus efficace pour repousser ces insectes que l'utilisation individuelle de chaque huile. En perspectives, il serait donc intéressant d'entamer d'autres expériences ayant pour objectif de :

- Tester nos huiles sur d'autres insectes ravageurs et voir leurs effets.
- Déterminer la composition chimique de ses huiles essentielles pour connaître le ou les composé (s) responsable (s) de l'activité insecticide observée chez les ravageurs.
- Réaliser des études complémentaires avant toute application de ces substances naturelles à plus grande échelle afin de prévenir d'éventuels risques aussi bien pour l'environnement que pour la santé humaine.

BIBLIOGRAPHIE

—A—

Abecassis J., (1993). Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Industries des céréales*, n.8, 25-37 p. Abeledo L., Savin R., and Slafer G., (2008). 'Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model', *European Journal of Agronomy*, 28(4), pp. 541–550.

Afnor et I.T.F.C., Paris. pp.1-62.

Agrawal P.K., Rastogi R.P., (1984). Chemistry of the true cedars. *Biochemical*

Anatole L., elle'onore Y., Fernand G., huguette B.A., Joachin D.G., Judith F.A., Lamine B-M., Mansourou M., pierre D., Raphael D. et Simeon O.K., (2013). Phytochemical composition of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils and their anti-inflammatory and analgesic properties on Wistar rats; *Mol. Biol. Rep.*; 40; 1127 – 1134p

Anonyme1.,(1955). Les ravageurs des grains entreposés. 3^{ème} Ed. CRET, Paris. 54p.

Anonyme2.,(2020). <https://www.memoireonline.com/11/15/9306/Etude-bibliographique-sur-les-huiles-essentielle-et-vegetales.html>.

Appert J., et Deuse J.,(1982)- Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 413 p.

Arbez M., Ferrandes P. et Uyar N., (1978). Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. *Ann. Sci. For.* 35(4): 265–284.

—B—

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.

Bakour L. et Bendifallah K. (1990). Rapport d'enquête. Etat sanitaire des denrées entreposées dans les unités de stockage de D.B.K. Bouira et Ain Bessem.

Balachowsky A., (1939) .Entomologie appliquée à l'agriculture. Les coléoptères. Ed. Masson et Cie, Paris T1. 1921p.

Belaïd D., (1996). Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p.

Bellatreche M., (1983). Contribution à l'étude des oiseaux des écosystèmes de la Mitidja, une attention particulière étant portée à ceux du genre *Passer* Brisson : biologie, éco-éthologie, impacts agronomique et économique examen critique des techniques de lutte. Mémoire de magister, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, Algérie.

Benbelkacem A. et Kellou K., (2000). Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie, 87 p.

Benchekroun F., (1993). L'économie de la cédraie marocaine et son impact sur le développement des collectivités locales. *Annales des Recherches Forestières du Maroc* 27(spécial), pp: 714.

Bezza, L., Mannarino, A., Fattarsi, K., Mikail, C., Abou, L., Hadji-Minaglou, F., & Kaloustian, J. (2010). Composition chimique de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* provenant de la région de Biskra (Algérie). *Phytothérapie*, 8(5), 277-281.

Boland D.J, Brooker M.I.H, Chippendale, Hall.N, Hyland M.P.B, Johnston R.D, Kleing D.A, Mc Donald M.W, Turner.J.D (1953). Forest trees of Australia. Csiro édition n 5.

- Bonjean A., (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé Triticuma.
- Bouarfa M., (2019).** Aromathérapie propriétés thérapeutiques et réglementation des huiles essentielles. Huiles essentielles, Réf : J2309
- Bouchikhi Tani Z, (2014).** Lutte contre la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera : Bruchidae) et la mite *Tineola bisselliella* (Lepidoptera, Tineidae) par des plantes aromatiques et leurs huiles essentielles. (Thèse doctorat, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen). 169p.
- Boudy P., (1950).** Economie forestière Nord-Africaine : monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larousse, T2. Pp : 529-619.
- Boukhalfa .H et Rouabah. I., (2020).** L'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les insectes des denrées stockées (Recherche bibliographique). Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi ,Bordj bou arréridj, Algérie. 45 p.
- Bruneton J., (1999).** Pharmacognosie et phytochimie, plantes médicinales. Ed : Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 915p.

—C—

- Carson, C. F., & Hammer, K. A. (2010).** Chemistry and Bioactivity of Essential Oils. *Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents*, 203–238. doi:10.1002/9780470976623.ch9
- Chehat F., 2007.** Analyse macroéconomique des filières, la filière blé en Algérie. Projet PAMLIM «Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation» Alger: 7-9.
- Chellali B., (2007).** Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
- Cruz J.F, Troude F., Griffon D., Hébert J.P., (1988).** Conservation des grains en régions chaudes - 2. Ed. Techniques rurales en Afrique. PDF Free Download.

— D —

- Danièle, F. (2014).** Huiles essentielles. Le guide visuel. Le guide aroma indispensable. ISBN 978-2-84899-679-0.
- Deans S.G. Ritchie G., 1987-** Antibacterial properties of plant essential oils. *International Journal of Food Microbiology*, 5 (2): 165-180.
- Debazac E. F., (1964).** Manuel des conifères. École nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 172 p.
- Delobel A., Tran M., (1993) :** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. ORSTOM/CTA. Faune tropicale 32. Paris. 424p désertiques méridionales, Tome II, Ed. CNRS. Paris.
- Demarteau, M., Francois, L., Cheddadi, R., Roche, E. (2007).** Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo Eco Trop*, 31: 105 -146.
- Dhalgren et Clifford., (1985).** The families of the monocotyledons. Structure, Evolution and Taxonomy. Illustrée ,p 91-106.
- Doumandji A., Doumandji S., Doumandji B., (2003).** Cours de technologie des céréales. Ed. Office des publications Universitaires Ben-Aknoun-Alger ; p 01-20.

— E —

El Haib, A. (2011). Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. Doctoral dissertation. Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Estivum L. Eds Le perche S., Guy P et Fraval A. Agriculture et biodiversité des plantes. Dossier de l'environnement de l'INRA, n 21, 29 – 37 p.

— F —

Fadel, H., Benayache, F., Benayache, S. (2016). Antioxidant properties of four Algerian medicinal and aromatic plants *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L., *Marrubium vulgare* L. and *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl). *Scholars Research Library Der Pharmacia Lettre*, 8 (3):72-79.

FAO, 2014. Données statistiques des cultures. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.

Feillet P., (2000). Le grain de blé : Composition et utilisation. INRA. Paris. P : 23-34.

Franchomme, P ., Pénoel, D. (1990). L'aromathérapie exactement. Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Roger Jailois éditeur. Limonges, 445 p.

Françoise, L., Annelise, L. (2013). Composition chimique des huiles essentielles. Actualités pharmaceutiques.

Franconie H., Chastanetm. et Sigaut F. (2010). Couscous, boulgour et polenta. Transformer et consommer les céréales dans le monde. Ed : Karthala, Paris.

— G —

Gausсен H., (1967). Les gymnospermes actuelles et fossiles. Faculté des sciences de Toulouse, Fasc. 7, 477p.

Grignac , P. (1978). In le bléd dur: Monographie succinte. (2), pp. 84–97.

Gwinner J, Harnisch R, Muck O (1996). Manual on the prevention of post harvestseedlosses, post harvestproject, GTZ, D-2000, Hamburg, FRG, 294 p.

— H —

Hall, D.W., (1970). Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Harfouche A. et Nedjahia., (2003). Prospections écologiques et sylvicoles dans les cédraies du Belezma et de l'Aurès à la recherche de peuplements semenciers et d'arbre. *Rev. For. Fr.* Vol. 55, n°2, Pp: 113-122.

Haubruge, E., Schiffers, B., Gabriel, E., Verstraeten, C., (1988). Etude de la relation dose-efficacité de six insecticides à l'égard de *Sitophilus granarius* L., *S. oryzae* L. et *S. zeamais* Mots. (Coleoptera : Curculionidae). *Communications de la Faculté des Sciences Agronomiques - Université d'État de Gand* 53(2B) : 719-726.

Hervieu B., Capone R., Abis S., (2006). Mutations et défis pour l'agriculture au Maghreb, Notes d'analyse du CIHEAM, n°16, 13p.

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

Huet, R. (1991). Les huiles essentielles d'agrumes. Fruits, Jul-Aug. 1991, vol.46, n° 4, p. 501-513.

— I —

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

Isman M., (2000): Plant essential oils for pest and disease management. Crop Prot. 19: 603-608 p.

— K —

Karahaçane T., (2015). -Activité insecticide des extraits de quelques plantes cultivées spontanées sur les insectes du blé en post-récolte. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique., El Harrach. Alger Algérie. 136p.

Kellouche A., (2005). Etude de la bruche du pois-chiche, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : bruchidae) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse de Doctorat d'Etat en Biologie. Univ. Tizi-Ouzou, Algérie, 154p.

Kellouche A., Ait Aider F., Labdaoui K., Moula D., Ouendi K., Hamadi N., Ouramdane A., Frerot B et Mellouk M., (2010). Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae), Int. J.Integ. Biol., 2010, Vol 10 . P 86-89.

Ketfi H., (2018). Bioécologie des insectes nuisibles (Classe : Insecta) du blé (*Triticum Desf 1889*) dans la région de Constantine, Algérie. Mémoire de master. Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Algérie, 60p.

Khelloul L., (2020). Etude de la biologie et de la sensibilité à l'action de quelques huiles essentielles de *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera : Tenebrionidae), un insecte ravageurs des denrées alimentaires entreposées. Thèse de doctorat en sciences Biologiques. U.M.M.T.O. 163p.

Koziol N., (2015). Huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, d'*Eucalyptus radiata* et de *Corymbia citriodora* : qualité, efficacité et toxicité. Thèse de Doctorat d'Etat en Pharmacie. Université de Lorraine, France, 128 p.

— L —

Labeyrie V., (1962). Les Acanthoscelides. Entomologie appliquée a l'agriculture I4343-4442.

Lepesme P., (1944): Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed. P. Le chevalier, Paris. pp. 61.

Lepoutre B., (1964). Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Au Maroc. Tome VII. Pp: 157-163.

Likibi B N, Tsiba G, Madiélé M A B, Etou O A W, Nsikabaka S et Maurille O -J (2019). Profils chimiques communs des huiles essentielles d'*eucalyptus citriodora hook.* (Myrtaceae) et de *Cymbopogon Nardus (L.) Rendle* (Poaceae) du Congo - Brazzaville. Journal américain de recherche innovante et de sciences appliquées. ISSN2429-5396, 11 p.

— M —

- Madagh M.A., (1996).** Impacts agronomiques et économiques dus aux moineaux dans une exploitation agricole de la Mitidja et perspective d'avenir. Mémoire de Magister, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, pp 120.
- Madr., (2011).** Statistiques agricoles. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Office algérien Interprofessionnel des céréales (OAIC), Algérie. 84 p.
- Majka C.G., Bouchard P., Bousque Y., (2008).** Tenebrionidae (Coleoptera) of the Maritime Provinces of Canada. *The Canadian Entomologist* 140, 690 –713.
- Manetti, P., & Carrière, E. (Year).** Essential oil of *Atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière seeds. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 3(5), 1034-1043.
- Mhirit O., (1994).** Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau *Silva Mediterranea* « Le cèdre ». *Ann.Rech.For. Maro*, 27 : 3-21.
- Mhirit O., et Benzyane M., (2006).** Taxonomie et répartition historique, le cèdre de l'Atlas. Ed. Mardaga. Pp : 13-26.
- Mighri, H., Akrouf, A., Neffati, M., Tomi, F., & Casanova, J. (2009).** The Essential Oil From *Artemisia herba-alba* Asso Cultivated in Arid Land (South Tunisia). *Journal of Essential Oil Research*, 21(5), 453–456.
- Mourey, A., & Canillac, N. (2002).** Anti-*Listeria monocytogenes* activity of essential oils components of conifers. *Food Control*, 13(4-5), 289–292.
- Moussaoui M., (2014).** Plantes médicinales du méditerranée et d'orient. Ed, Sabil. France, pp ; 42-44.
- Munyuli T. B. M., 2003.** Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République Démocratique du Congo). *Cahiers Agricultures*, 12, 23-31.

— N —

- Naimi F., Bousta D., Balouiri M., Meskaoui A., (2015).** Antioxidant and free radicals scavenging properties of seeds flavonoids extract of *Cedrus atlantica* Manetti, *Linum usitatissimum* L. and *Ocimum basilicum* L. species. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5 (8): 95-99.
- Neron S., (2000).** Les lipides de l'amidon : quand une minorité s'en mêle. *Industrie des céréales*, n.119, pp : 5-18.

— O —

- Oufroukh F. et Hamadi M., (1993).** Maladies et ravageur des céréales. In benchabane K.D.
- Ould-Mekgloufi L. (1998).** Evaluation phénologique de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) et leur sensibilité vis-à-vis de *Drechslera graminea* Rab. *Mém. Ing Agro.INA.El-harrach*. PP59-62.
- Oussou, K. R. (2009).** Étude chimique et activités biologiques des huiles essentielles de sept plantes aromatiques de la pharmacopée ivoirienne. Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, 241p.

— P —

Padin, S.B., Dal Bello, G.M., Vasicek, A.L., (1997). Pathogenicity of *Beauveria bassiana* for adults of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored grains. *Entomophaga*.

Piochon, M., Legault, J., Pichette, A. (2008). Chemical composition of the essential oil from *Solidago puberula* Nutt. Growing wild in the north of Quebec. *J. Ess. Oil Res. Numero* : RN-2783.

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

— R —

Redlinger, L.M., Zettler, L.J., Davis, R., Simonaitis, R.A., 1988. Evaluation of Pirimiphos-Methyl as a protectant for export grain. *Journal of Economic Entomology* 81, 718–721.

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

Rhafouri, R.; (2014) 'Chemical composition, antibacterial and antifungal activities of the *Cedrus atlantica* (endl.) Manettiex Carriã"re seeds essential oil', *Mediterranean Journal of Chemistry*, 3(5), pp. 1034–1043.

Riou-Nivert P., (2007). Fiche extraite de la flore forestière française. Tome (III) région Méditerranéenne. Forêt-entreprise, n°174. Pp : 14-16.

Rivoal R., Besse T., Morlet G. et Penard P., 1986. Les Rotations céréalières intensives. Nuisibilité du nématode kyste *Heterodera avenae* et perspectives de Lutte. *Ouvr. INRA.*, pp 153-173.

Roger D., (2002). Les coléoptères carabidés et ténébrionidés : écologie et biologie. Ed. Lavoisier, Paris. 154p.

— S —

Scotti G., (1978). Les insectes et les acariens des céréales stockées Paris (France) AFNOR/ITCF 1–62.

Smith, E. H., Whitman R. C., (1992). Guide pratique des ravageurs structurels. National Association de lutte antiparasitaire, Dunn Loring, Virginie.

Steffan J.R., (1978). Description et biologie des insectes et les acariens des céréales stockées. Ed. A.F.N.O.R Paris, 238 p.

Surget A., et Barron C., (2005). Histologie du grain de blé. *Industrie des céréales. Systematics and Ecology*, 12(2):133-144.

Soro, L., Grosmaire, L., Ocho-Anin Atchibri, A., Munier, S., Menut, C., Pelissier, Y. (2015). Variabilité de la composition chimique de l'huile essentielle des feuilles de *Lippia multiflora* cultivées en côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 88 :8180-8193. ISSN 1997-5902

—T—

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

Taleb M., 20046. Contribution à l'étude de la productivité de *Cedrus atlantica* Manetti en fonction des caractéristiques stationnelles. Mémoire d'Ing. Agr. I.N.A. El-Harrach. Alger, Algérie, 81p.

Tapondjou L. A., Adler C., Bouda H., Fontem D. A. (2003). Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera : Bruchidae). Cahiers Agricultures. 12 (6) : 401-407.

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

Terrab A., Paun O., Talavera S., Tremetsberger K., Arista M., et Stufssy T.F. (2006). Genetic diversity and population structure in natural populations of Moroccan Atlas cedar (*Cedrus atlantica*; Pinacea) determined with cp SSR markers. American Journal of Botany 93(9). Pp: 1274-1280.

Tolba H., (2017). Extraction des huiles essentielles des plantes de la flore algérienne, Etude des effets thérapeutiques en vue d'une application pharmaceutique. Mémoire Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie.

Toth J., (1970). Plus que centenaire et plein d'avenir : le cèdre en France. Rev. For. Fr, vol. 22, n° 3. Pp : 355-364.

Toth J., (1971). Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* en France). Bulletin de la Vulgarisation forestière. N°4. Pp: 5-19.

Traore N, Sidibé L, Bouare S, Harama D, Somboro A, Fofana B, Diallo D, Figueredo G, Chalchat J-C (2013). Activités antimicrobiennes des huiles essentielles d' *Eucalyptus citriodora* Hook et *Eucalyptus houseana* W.Fitzg. exMaiden. Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(2): 800-804.

— V —

Vercauteren J., (2011). Plan, Formules et illustrations du cours de pharmacognosie. 2^{ème} cycle des études de pharmacie. Université Montpellier I. laboratoire de pharmacognosie.

— Z —

Zahri, S., Farih, A. and Douira, A. (2014) 'Statut des Principales Maladies Cryptogamiques Foliaires du Bléau Maroc en2013', Journal of Applied Biosciences, 77(0), p. 6543..

Zeng, W.C., He, Q., Sun, Q., Zhong, K., Gao, H. (2012). Antibacterial activity of water-soluble extract from pine needles of *Cedrus deodara*. International Journal of Food Microbiology, 153: 78-84.

Zohry N. M., (2017). Scanning electron morphological studies of *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae). The Journal of Basic and Applied Zoolog. 78(1): 1-8.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité insecticide des huiles essentielles d'*E. citriodora* et *C. atlantica* contre *T. confusum* un ravageur des denrées stockées, dans des conditions de laboratoire. La toxicité de ces deux huiles a été évaluée par inhalation et par répulsion à différentes doses (80, 100, 120, 140 µl) et à différentes durées d'exposition. Les résultats obtenus montrent que les deux huiles essentielles provoquent une mortalité totale des adultes de *T. confusum* après 72h d'exposition à une dose de 100 µl.

L'huile essentielle d'eucalyptus citronné et l'huile essentielle du cèdre de l'atlas ont montré des propriétés répulsives, avec des taux de répulsion de 40,83% et 60 % respectivement contre ce ravageur. De plus la mixture (40 µl × 40 µl) des deux huiles a provoqué un effet répulsif accru (90%) par rapport à leur utilisation individuelle. Par conséquent, l'utilisation de ce mélange de substances naturelles représente une piste intéressante à explorer dans la recherche d'un moyen alternatif de lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées, en remplacement des produits chimiques dont on connaît les nuisances.

Mots clé: L'effet insecticide, répulsion, inhalation, *T. confusum*, huiles essentielles.

Abstrat

This study aimed to evaluate the insecticidal efficacy of essential oils from *E. citriodora* and *C. atlantica* against *T. confusum*, a stored-product pest, under laboratory conditions. The toxicity of these two oils was assessed through inhalation and repellency tests at different doses (80, 100, 120, 140 µl) and exposure durations. Results showed that both essential oils caused 100% mortality of adult *T. confusum* after 72 hours of exposure at a dose of 100 µl.

Lemon eucalyptus oil and Atlas cedar oil exhibited repellent properties, with repellency rates of 40.83% and 60%, respectively, against this pest. Moreover, a mixture (40 µl × 40 µl) of the two oils induced a higher repellency effect (90%) compared to their individual use. Consequently, the use of this mixture of natural substances represents a promising avenue to explore in the search for an alternative method to control stored-product insect pests, replacing chemical products known for their harmful effects.

Keywords: Insecticidal effect, repellency, inhalation, *T. confusum*, essential oils.