

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



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



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de master académique en Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie des Populations et des Organismes

Thème

**Etude de l'effet bioinsecticide des huiles essentielles de romarin
(*Salvia rosmarinus*) et de la citronnelle (*Cymbopogon citratus*) vis-à-
vis d'un ravageur des denrées stockées *Tribolium confusum*
(Coleoptera : Tenebrionidae)**

Travail réalisé par :

M^{lle} BOUARAB Katia

et

M^{lle} AMAZOUZ Cyria

Devant le jury composé de :

Présidente : M^{lle} AISSAOUI F. MCB UMMTO

Promotrice : M^{me} AIT AIDER.F. MCA UMMTO

Co-promotrice : M^{lle} KHELOUL L. MCB UMMTO

Examinatrice : M^{lle} LAOUDI T. MCB UMMTO

Promotion : 2024/2025

Remerciements

Nous commençons par exprimer notre profonde gratitude à Allah Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement Mme **Ait Aider Farida**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Son accompagnement bienveillant, ses conseils éclairés et sa rigueur scientifique ont été précieux tout au long de ce parcours.

Nos remerciements vont également à notre Co-promotrice Mlle **Kheloul Lynda**, pour son investissement, son aide précieuse et ses remarques constructives qui ont grandement enrichi cette étude.

Nous sommes reconnaissants à Mlle **Aissaoui** d'avoir accepté de présider le jury de soutenance, ainsi qu'à Mlle **Laoudi** pour avoir examiné ce mémoire et pour l'intérêt porté à nos recherches.

Enfin, nous adressons une pensée émue à toutes les personnes qui nous ont soutenus, de près ou de loin : famille, amis, camarades de promotion et enseignants. Leur soutien a été une force motrice dans la réalisation de ce mémoire.

À tous, merci du fond du cœur.

Dédicace

Avec tout mon cœur, je dédie ce travail à ceux qui m'ont accompagnée, soutenue et portée durant cette étape déterminante de ma vie.

À ma mère, mon éternel refuge, pour ton amour inconditionnel, tes prières, ta tendresse et ton soutien indéfectible. Tu as été mon refuge dans les moments de doute et ma lumière dans les périodes d'incertitude.

À mon père, pour tes conseils avisés, tes sacrifices silencieux et ta foi inébranlable en moi. Tu as tracé le chemin que je poursuis aujourd'hui.

À mes frères, pour votre affection, votre complicité et votre confiance en moi. Vous avez été bien plus qu'une famille : une source quotidienne de motivation.

À toute ma famille et mes proches, pour vos prières, votre réconfort et votre présence rassurante. Vous avez été mon ancrage dans les moments de turbulence.

À mes amis, pour votre sincérité, votre écoute et votre joie de vivre. Vos rires ont dissipé mes doutes, et votre soutien a rendu ce parcours plus léger.

À mon binôme, pour ta collaboration, ta patience et ton engagement sans faille. Ce travail est aussi le fruit de nos efforts partagés.

À mes enseignants, pour avoir éclairé mon esprit, nourri ma curiosité et façonné ma pensée. Votre savoir a été un guide précieux sur cette voie.

Katia.

Dédicace

Avec une gratitude sincère, je dédie ce travail à ceux qui m'ont soutenue et réconfortée lors de cette étape cruciale de ma vie.

À ma mère, pour son amour inconditionnel, ses prières sincères, sa tendresse et son soutien sans faille à chaque étape de ma vie. Tu as toujours été mon pilier, celle qui m'a portée dans les moments de doute et encouragée à ne jamais baisser les bras.

À mon père, pour sa force, ses précieux conseils, ses encouragements constants et les nombreux sacrifices qu'il a faits pour m'offrir les meilleures conditions possibles.

À mon frère et ma sœur, pour leur présence affectueuse, leur soutien moral et leur confiance en moi. Vous avez été une source de motivation inestimable.

À toute ma famille, pour leur bienveillance, leurs prières, leur réconfort et leur présence constante dans les moments difficiles. Vous avez contribué à ma stabilité et à ma détermination.

À mes amis, pour leur amitié sincère, leur écoute, leur bonne humeur et les souvenirs inoubliables que nous avons partagés. Vos encouragements et votre présence ont allégé les moments de stress.

À mon binôme, pour son soutien, sa collaboration précieuse et les efforts partagés tout au long de cette aventure. Merci pour ta patience, ton engagement et ton esprit d'équipe.

À mes enseignants, dont le savoir m'a guidée vers la lumière et m'a permis de grandir intellectuellement et humainement.

Cyria.

Figure	Titre	Page
1	Les œufs de <i>T. confusum</i> G (10 ×4) (Originale, 2025).	4
2	La larve de <i>T. confusum</i> vue au G (10 x 4) (Originale, 2025).	5
3	La nymphe de <i>T. confusum</i> G (10 x 4) (Originale, 2025).	5
4	L'adulte de <i>T. confusum</i> vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) G (10×4) (Originale, 2025).	6
5	Cycle de développement chez <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).	7
6	Les femelles ont des papilles en forme de doigts (à gauche), tandis que les mâles ont des projections en forme de moignon (à droite) (Zhong, 2012).	8
7	Dégâts de <i>T. confusum</i> sur la semoule (Originale, 2025).	8
8	La plante de <i>Salvia rosmarinus</i> (Originale, 2025).	16
9	La plante de <i>Cymbopogon citratus</i> (Belaifa et Sadaoui, 2018).	18
10	Matériel de laboratoire: (A) Etuve, (B) Loupe binoculaire, (C) Balance à affichage électronique, (D) Tamis, (E) Micropipettes, (F) Boîtes de Pétri, (G) Pinceaux et autres, (H) Flacons en plastique (Originale, 2025).	21
11	Les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).	21
12	Les deux huiles essentielles utilisées (Originale, 2025).	22
13	Elevages de masse de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).	23
14	Test d'inhalation sur les adultes de <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).	24
15	Test de répulsion sur les adultes <i>T. confusum</i> (Originale, 2025).	25
16	Taux de mortalité moyen (moyennes ± écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités par inhalation avec l'huile essentielle de romarin en fonction de la dose et de la durée d'exposition.	27
17	Taux de mortalité (moyennes ± écart-type) des adultes de <i>T. confusum</i> traités avec la mixture de romarin× citronnelle par inhalation, après 24h.	30

Tableau	Titre	Page
1	Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald <i>et al.</i> (1970).	25
2	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> .	28
3	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> .	29
4	Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur Temps sur les adultes de <i>T. confusum</i> .	29
5	Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile sur les adultes de <i>T. confusum</i> .	29
6	Taux moyen de répulsion des deux huiles essentielles romarin et citronnelle à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et son classement selon la méthode de McDonald <i>et al.</i> (1970).	31
7	Résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsion avec les deux huiles essentielles testées sur les adultes de <i>T. confusum</i> .	31
8	Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles romarin et citronnelle à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> et son classement selon la méthode de McDonald <i>et al.</i> (1970).	32

SOMMAIRE

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction 1

Chapitre I

Généralités sur l'insecte étudié *Tribolium confusum*

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés 3

2. Présentation de l'espèce étudiée *Tribolium confusum* 3

2.1. Appellation 3

2.2. Systématique 4

2.3. Origine et répartition géographique 4

2.4. Description de différents stades de développement de *T. confusum* 4

2.5. Biologie de *T. confusum* 6

2.6. Comportement de *T. confusum* 7

2.7. Différenciation entre mâle et femelle 7

2.8. Régime alimentaire et dégâts de *T. confusum* 8

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

2.10. Méthodes de lutte contre le *T. confusum* 9

2.10.1. Lutte préventive 9

2.10.2. Lutte curative 9

Chapitre II

Les huiles essentielles

1. Généralités sur les huiles essentielles 13

2. Composition chimique des huiles essentielles 13

3. Activités biologiques des huiles essentielles 14

3.1. Activité insecticide 14

3.2. Activité antibactérienne	14
3.3. Activité antivirale	14
3.4. Activité antifongique	14
3.5. Activité antiparasitaire.....	15
3.6. Activité antioxydante.....	15
4. Stockage et conservation des huiles essentielles	15
5. Présentation des plantes aromatiques étudiées	15
5.1. Le romarin (<i>Salvia rosmarinus</i> Spenn.).....	15
5.1.1. Etymologie	15
5.1.2. Description botanique	16
5.1.3. Position systématique	16
5.1.4. Répartition géographique.....	16
5.1.5. Composition chimique	17
5.1.6. Usages et propriétés du romarin.....	17
5.2. La Citronnelle (<i>Cymbopogon citratus</i>).....	17
5.2.1. Etymologie	17
5.2.2. Description botanique	17
5.2.3. Position systématique	18
5.2.4. Répartition géographique.....	18
5.2.5. Composition chimique	19
5.2.6. Usages et propriétés de la citronnelle.....	19

Chapitre III

Matériel et Méthodes

1. Matériel	20
1.1. Matériel de laboratoire.....	20
1.2. Matériel biologique.....	21
1.2.1. Matériel animal (<i>T. confusum</i>).....	21

1.2.2. Matériel végétal.....	22
2. Méthodes	23
2.1. Élevage de masse.....	23
2.2. Test d'inhalation	23
2.3. Test de répulsion.....	24
3. Analyse statistique.....	26

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Résultats des tests de toxicité des huiles essentielles sur les adultes de <i>T. confusum</i> par inhalation.....	27
1.1. Effet de l'huile essentielle de Romarin (<i>S. rosmarinus</i>) à l'égard de <i>T. confusum</i> ...	27
1.2. Effet de l'huile essentielle de Citronnelle (<i>C. citratus</i>) à l'égard de <i>T. confusum</i>	28
1.3. Effet du mélange de deux huiles essentielles de Romarin et de la Citronnelle à l'égard des adultes de <i>T. confusum</i> par inhalation après 24h d'exposition	30
2. Résultats des tests par répulsion des deux huiles essentielles de romarin et de citronnelle sur les adultes de <i>T. confusum</i>.....	30
2.1. Effet par répulsion des huiles essentielles de romarin et de citronnelle à l'égard de <i>T. confusum</i>	30
2.2. Effet par répulsion de la mixture des deux huiles essentielles : Romarin et Citronnelle à l'égard de <i>T. confusum</i>	31
Discussion	33
Conclusion.....	36

Références bibliographiques

Résumé

INTRODUCTION

En l'absence des aliments frais, les céréales conservables (comme le blé, l'orge ou leurs dérivés) deviennent la base de l'alimentation. Ces produits secs représentent non seulement le pilier nutritionnel de nombreuses populations, mais aussi la principale marchandise agricole circulant dans le commerce international.

En Algérie, les céréales et leurs dérivés fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire **(Bessaoud, 2018)**. Dans de nombreux pays en voie de développement les céréales et leurs dérivés constituent la principale source de protéines et les pertes causées à ce type de denrées lors de leur stockage sont estimés à 100 millions de tonnes dont 13 millions sont provoqués par les insectes. Dans les pays développés ces pertes avoisinent les 3%, alors qu'en Afrique elles atteignent les 30% **(Benazzeddine, 2010)**.

Durant le stockage et la conservation, les grains sont exposés à diverses infestations causées par des insectes de différents ordres comme les Coléoptères et les Lépidoptères. Ces insectes peuvent être classés en deux catégories distinctes : les ravageurs primaires, qui infestent les grains encore intacts, et les ravageurs secondaires, qui ne peuvent s'attaquer aux graines qu'à partir des ouvertures causées par les ravageurs primaires **(Khellaf et Kermiche, 2020)**. Parmi ces ravageurs secondaires le *Tribolium confusum*, une espèce dépendante des dommages initiés par les insectes primaires pour coloniser les stocks. Cet insecte envahit principalement les moulins, les silos et les entrepôts de stockage, se nourrissant des denrées et les contaminants par ses déjections, ses mues, ses cadavres, ainsi que par les composés volatils qu'il émet, qui sont à l'origine des mauvaises odeurs des produits infestés **(CCG, 2019)**.

Une stratégie pour garantir des réserves alimentaires élevées consiste à minimiser les pertes en appliquant des produits chimiques de protection des cultures. Ces substances chimiques jouent un rôle crucial en agriculture pour réduire les pertes alimentaires causées par les insectes, les mauvaises herbes, les maladies microbiennes et autres ravageurs. Ces produits chimiques sont destinés à la toxicité et provoquent non seulement une grave pollution de l'environnement, mais également un déséquilibre des micro-organismes dans les écosystèmes qui peuvent dégrader certains composés toxiques **(Zaka et al., 2019)**. Les résidus qu'ils laissent sont persistants dans le sol, l'air, l'eau et même dans les denrées alimentaires **(Ccanccapa et al., 2016)**. Plusieurs recherches scientifiques indiquent une corrélation potentielle entre l'exposition aux pesticides et le développement de certaines pathologies, telles que les cancers, les leucémies et les affections respiratoires comme l'asthme **(Kim et al., 2017)**. De plus, l'augmentation des applications d'insecticides entraîne le développement d'une résistance chez les insectes et donc une résurgence des ravageurs **(Damalas et Eleftherohorinos, 2011)**.

La recherche de solutions pour réduire l'utilisation des insecticides dangereux est très importante. Dans ce concept de nombreuses études récentes se concentrent sur l'identification de substances insecticides à la fois efficaces, respectueuses de la santé humaine et de l'environnement. En effet, les substances d'origine naturelle et plus particulièrement les huiles essentielles représentent actuellement une solution alternative de lutte pour la protection des denrées stockées **(Assadpour et al., 2023)**.

Introduction

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui consiste à évaluer, en conditions de laboratoire, l'effet bioinsecticide des huiles essentielles de deux plantes : le Romarin à cinéole (*Salvia rosmarinus*) et la Citronnelle (*Cymbopogon citratus*), par inhalation et par répulsion sur les adultes de l'insecte ravageur *Tribolium confusum* (Duval, 1868).

Notre travail se structure en deux parties clés :

- La première est dédiée à la présentation de l'insecte étudié (*T. confusum*), des huiles essentielles (*S. rosmarinus*), (*C. citratus*) et du protocole expérimental.
- La seconde se concentre sur l'analyse des résultats, leur discussion, ainsi qu'une conclusion accompagnée de recommandations et de perspectives futures.

CHAPITRE I

Généralités sur l'insecte étudié

Tribolium confusum

1. Généralités sur la famille des Ténébrionidés

Les coléoptères constituent la plus grande variété d'insectes des produits stockés. C'est l'ordre d'insectes le plus riche en espèces, on estime actuellement leur nombre à environ 350 000 espèces. Parmi les coléoptères ravageurs des stocks, seules quelques espèces ont une importance économique mondiale. Cependant, elles sont responsables de la majorité des pertes enregistrées dans les silos des pays industrialisés, ce qui explique pourquoi elles bénéficient de la plus grande attention de la recherche publique et de l'industrie chimique (**Delobel et Tran, 1993**).

La famille des Tenebrionidae est l'une des plus grandes familles de coléoptères, comprenant environ 18 000 espèces connues. Les adultes de cette famille se caractérisent par une diversité morphologique remarquable, surpassant celle de toute autre famille de coléoptères, et beaucoup d'entre eux sont fréquemment mal identifiés en raison de leur ressemblance étroite avec des membres d'autres familles (par exemple : Carabidae). Certaines espèces agissent comme parasites des denrées stockées, et d'autres peuvent causer des dégâts considérables aux racines ou aux semis de cultures particulièrement dans les régions arides et semi-arides (**Fattorini, 2000**).

Les ténébrionidés, notamment ceux appartenant au genre *Tribolium*, sont largement reconnus comme des ravageurs des cultures et ils ont pour habitude de coloniser et d'endommager les aliments stockés, tels que la farine et les céréales. Ce genre regroupe deux espèces principales, *Tribolium castaneum* Herbst et *Tribolium confusum* Duval.

2. Présentation de l'espèce étudiée *Tribolium confusum*

Le *T. confusum* est un insecte coléoptère de la famille des Tenebrionidae à répartition cosmopolite. C'est un ravageur des produits stockés sur de nombreuses céréales (**Haffari et al., 2022**). C'est une espèce qui peut infester sérieusement et rapidement les produits stockés, il se trouve généralement dans les moulins, les boulangeries, les entrepôts et les animaleries. Il est considéré comme un colonisateur secondaire car il ne peut pas se développer facilement dans les grains de céréales sains. Il peut également endommager les plantes ou les fruits séchés, les produits laitiers, les oléagineux, les noix, les aliments pour animaux, le coton et les épices (**Kavallieratos et al., 2020**).

2.1.Appellation

Cette espèce a été décrite pour la première fois par Jacquelin DuVal (1868). Le nom Commun Français attribué à ce ravageur est : Tribolium brun de la farine.

Le nom « Tribolium » vient du verbe latin signifiant battage, « tribulo ». Comme leur habitat typique est les réserves de farines de céréales, elles sont communément appelés “flour beetles” en anglais (**Bucher, 2017**).

2.2.Systématique

Selon Lepesme (1944), *T. confusum* est classé comme suit :

Embranchement	Arthropoda
Classe	Insecta
Ordre	Coleoptera
Sous Ordre	Polyphaga
Famille	Tenebrionidae
Sous Famille	Ulominae
Genre	<i>Tribolium</i>
Espèce	<i>Tribolium confusum</i> (Duval,1868)

2.3.Origine et répartition géographique

Le tribolium est originaire d'Asie du Sud et d'Australie, il est rencontré dans les zones tempérées mais ne survit à l'hiver que dans des endroits protégés, notamment ceux bénéficiant de chauffage. En Afrique, sa répartition est particulière : contrairement à sa présence mondiale dans les climats frais, il y occupe des zones plus tempérées (**Benazzeddine, 2010**).

2.4.Description de différents stades de développement de *T. confusum*

Le tribolium est un insecte holométabole donc possède 4 stades de développement différents :

➤ L'œuf

L'œuf est oblong et blanchâtre, presque transparent, sa surface est lisse recouverte d'une substance visqueuse qui lui permet d'adhérer à la denrée infestée. Il mesure en moyenne 0.6 x 0.3 mm (Figure 1) (**Lepesme, 1944**).

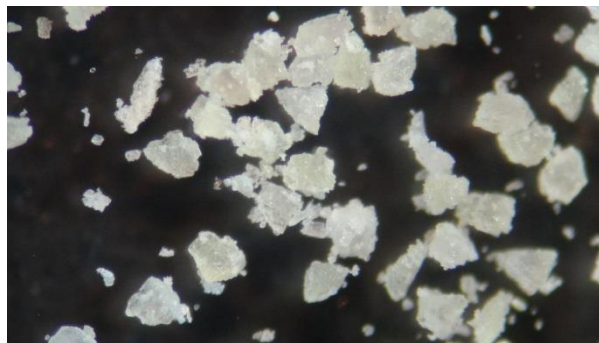


Figure 1 : Les œufs de *T. confusum*. G (10 x 4) (Originale, 2025).

➤ La larve

L'éclosion de l'œuf donne naissance à une larve néonate de couleur blanche, de petite taille ne dépassant pas 1.4 mm. Elle passe par plusieurs stades dont le nombre varie de 5 à 12 selon la température, l'humidité relative et la qualité de l'alimentation.

La larve de dernier stade est cylindrique, mesure environ 7 mm de long et 0,8 mm de large, sa couleur est d'un jaune pâle. Son corps presque glabre, se termine par deux paires d'urogomphes (Figure 2) (**Benazzeddine, 2010**).



Figure 2 : La larve de *T. confusum* vue au G (10 x 4) (Originale, 2025).

➤ La nymphe

La nymphe est blanche et nue, les segments de son abdomen sont étalés latéralement en lames rectangulaires à bords crénelés (**Benazzeddine, 2010**). Elle est immobile et mesure environ 3,6 -4,6 mm de long. Les pattes, les pointes des mandibules et les urogomphes prennent une couleur brun foncé, lorsque les pupes sont presque matures (Figure 3) (**Ho, 1969**).



Figure 3 : La nymphe de *T. confusum* G (10 x 4) (Originale, 2025).

➤ L'adulte ou l'imago

Les coléoptères représentent l'ordre d'insectes ravageurs le plus important, connu pour être le groupe le plus répandu et le plus destructeur des denrées entreposées (**Delobel & Tran, 1993**). Comme tous les coléoptères, le tribolium possède deux paires d'ailes : la paire antérieure, ou élytres, forme une carapace protectrice pour les ailes postérieures membraneuses, repliées en dessous. Lorsqu'il est dérangé, il se déplace activement (**Kouassi, 2024**).

L'imago est d'un blanc jaunâtre, son tégument se sclérотinise et se pigmente 2 à 3 jours après son émergence, prenant une couleur brun rouge, sa taille atteint 3 à 4 mm. Ses élytres allongés, parallèles et arrondis à l'extrémité postérieure, portent des lignes régulières de ponctuation séparées par des cotés très fins. Les pattes sont courbées, et les tarses postérieurs sont formés de quatre articles (**Benazzeddine, 2010**). L'appendice prosternal est nettement élargi à l'apex. Les antennes se terminent par une massue composée de cinq articles. Morphologiquement,

l'espèce est très proche de *Tribolium castaneum* (le tribolium rouge de la farine) (Kouassi, 2024). Certains détails permettent de distinguer les deux espèces : chez *T. confusum*, la massue antennaire est plus graduellement élargie, et l'espace entre les yeux est plus large (environ 50 % de la largeur de la tête). Ce petit coléoptère est doté de pièces buccales broyeuses, il peut donc ouvrir facilement les emballages alimentaires (Figure 4).

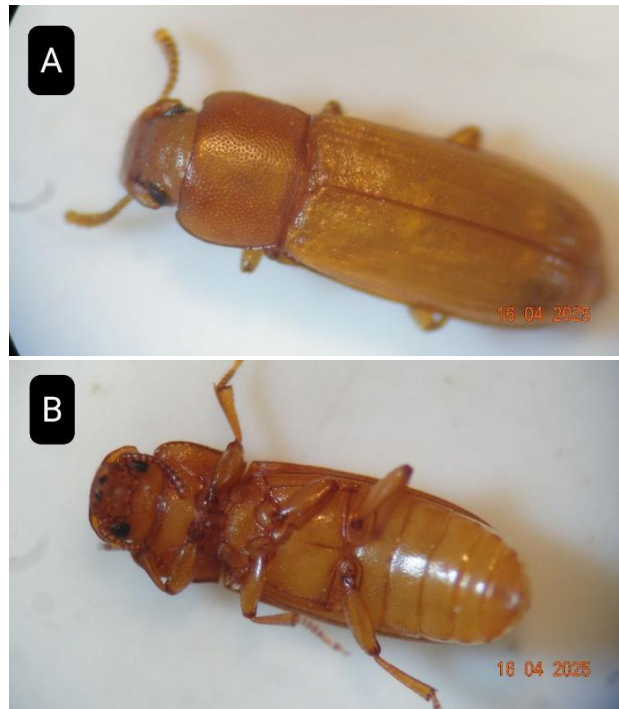


Figure 4 : L'adulte de *T. confusum* vue face dorsale (A) et vue face ventrale (B) G (10×4) (Originale, 2025).

2.5. Biologie de *T. confusum*

Le *T. confusum* Jacquelin Du Val (Coleoptera : Tenebrionidae) est répandu dans le monde entier car il est capable de se reproduire à des températures de 19 à 37,5 °C et de survivre à une faible humidité relative (> 1 %). Il se caractérise par une longévité élevée, lui permettant d'infester les denrées stockées de manière rapide. Sa distribution mondiale et sa résistance à de nombreux insecticides font la cause de son importance économique majeure. Potentiellement, il a un impact important sur la santé publique car il produit des sécrétions défensives qui provoquent une irritation cutanée par de fortes démangeaisons, et il peut également provoquer des troubles respiratoires (Kavallieratos *et al.*, 2020).

Le *T. confusum* comme beaucoup d'autres insectes, il subit une métamorphose complète. Lors de cette métamorphose, les stades immatures ne ressemblent pas au stade adulte. Les femelles adultes peuvent pondre de 400 à 500 œufs dans les céréales entreposées. Après une incubation de 3 à 5 jours, les œufs éclosent, donnant naissance à des larves qui cherchent la nourriture, dont la croissance s'effectue par mues successives de l'exosquelette. Une fois leur développement larvaire achevé, les individus entrent en phase nymphale, un stade de métamorphose inactive. La nymphose conduit finalement à l'émergence de l'adulte, lequel atteint sa maturité sexuelle en quelques jours, devenant alors capable de se reproduire par accouplement et ponte. Son espérance de vie est d'environ six mois (Shanholtzer et Lumsden,

2012). En absence d'alimentation *T. confusum* exerce le cannibalisme, il dévore les œufs et les larves de leurs congénères (Figure 5) (Zerrouki, 2013).

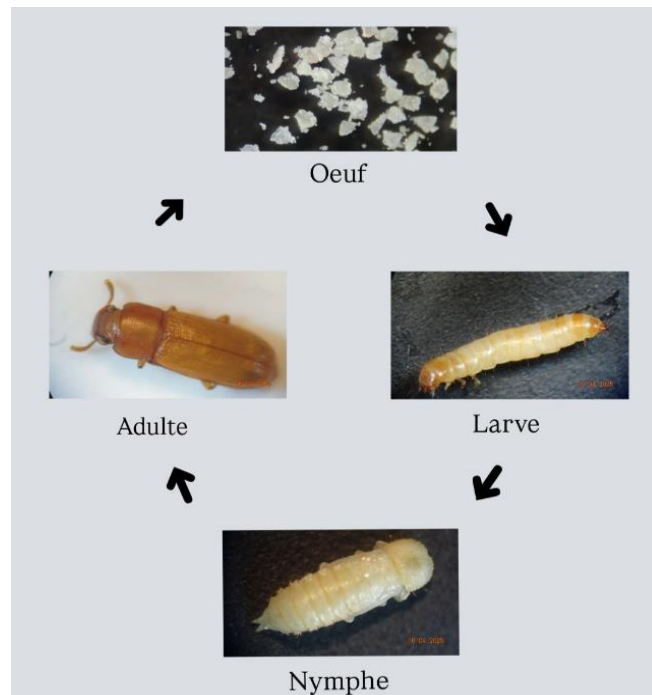


Figure 5 : Les différents stades de développement chez *T. confusum* (Originale, 2025).

2.6. Comportement de *T. confusum*

Le *T. confusum* est un insecte qui est incapable de voler, mais il a acquis une capacité à se déplacer rapidement lorsqu'il est dérangé. Sa petite taille et ses pièces buccales de type broyeur lui permettent de s'infiltrer dans les contenants et les emballages fermés. Les adultes et les larves se nourrissent de farines de céréales, ils sont incapables de perforer les grains non moulus (Dellinger et Day, 2021).

2.7. Différenciation entre mâle et femelle

Les triboliums sont de minuscules créatures et leurs appendices sont encore plus petits, toute détermination du sexe doit donc être effectuée au microscope optique. La chrysalide doit être couchée sur le dos, face ventrale vers le haut.

Nous nous concentrons sur l'extrémité de l'abdomen, où se trouvent deux longues saillies appelées urogomphes, les femelles comme les mâles présentent ces protubérances. Au-dessus des urogomphes et un peu plus haut sur l'abdomen se trouvent deux autres saillies plus petites appelées papilles génitales, c'est ce que nous allons observer pour distinguer les mâles des femelles.

Chez les femelles, les papilles génitales sont pointues, avec deux points plus foncés à leur extrémité, et mesurent environ la moitié de la taille des urogomphes (elles ressemblent à de minuscules doigts).

Chez les mâles, les papilles génitales sont trapues, jointives et à peine visibles. Si les papilles féminines ressemblent à des doigts, elles ressemblent davantage à deux pouces conjoints (Figure 6) (Zhong, 2012).

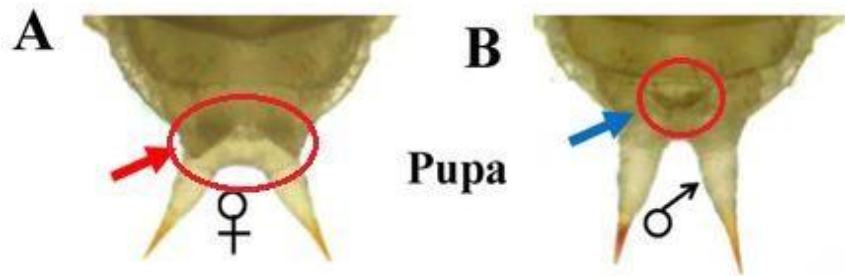


Figure 6 : Les femelles ont des papilles en forme de doigts (à gauche), tandis que les mâles ont des projections en forme de moignon (à droite) (Zhong, 2012).

2.8. Régime alimentaire et dégâts de *T. confusum*

T. confusum est classé comme colonisateur secondaire car il peut se développer plus facilement sur les grains cassés ou déjà infestés par des colonisateurs primaires, plusieurs scientifiques ont mis en évidence le grave danger pour la santé que peut induire l'effet cancérigène des benzoquinones sécrétés par ce ravageur des denrées stockées (Haffari *et al.*, 2022).

T. confusum est un ravageur majeur des produits stockés tels que le blé et la farine. Il cause de graves dégâts dans les silos, notamment dans les régions tropicales et subtropicales. Ce ravageur se nourrit de céréales, d'oléagineux, d'arachides, de graines de coton, de haricots secs et de macaronis. Ses dégâts entraînent une diminution de la qualité de la farine (Javadzadeh *et al.*, 2017). Ils contaminent ces denrées avec leurs fèces, des odeurs, des cadavres et des mues. De plus, l'humidité issue du métabolisme de leurs pullulations et les produits d'excrétion azotés favorisent l'apparition de moisissures dans les lieux de stockage (Figure 7) (Zerrouki, 2013).



Figure 7 : Dégâts de *T. confusum* sur la semoule (Originale, 2025).

2.9. Les ennemis naturels de *T. confusum*

Certains arthropodes particulièrement les acariens, tels que :

- *Pediculoides ventricosus* Nemp, *Acarophenax tribolii* Nemp. et Duval tendent à limiter l'activité de *Tribolium*.
- Deux hyménoptères de la famille des Bethyloïdés parasitent les larves comme : *Rhabdopyris zea* Turu et Waterst. Et *Sleroderma immigrans* Bridw (**Benazzeddine, 2010**).

2.10. Méthodes de lutte contre le *T. confusum*

Il s'agit de toute technique destinée à réduire le taux de nuisibilité des ravageurs des grains stockés,

Plusieurs méthodes de lutte sont conseillées :

2.10.1. Lutte préventive

La lutte préventive est une méthode fréquemment utilisée car elle assure une bonne protection des denrées stockées contre les ravageurs et le maintien de la qualité des produits, elle implique une hygiène stricte des moyens de transport et des machines de collection. Il est conseillé de procéder à un nettoyage adéquat dans les espaces de stockage et de vérifier les crevasses et les zones susceptibles de subir des infestations d'insectes. Il est nécessaire de sécher les grains avant de les stocker. Il est essentiel de prendre ces mesures afin de diminuer ou d'éviter toute infestation (**Ducom, 1982 et Semsar, 2013**).

2.10.2. Lutte curative

La lutte curative est utilisée lorsque les grains sont déjà infestés par les ravageurs. Son objectif est d'empêcher leur progression en cas d'infestation et avant d'atteindre des phases plus complexes et irréversibles. Diverses méthodes peuvent-être utilisées :

➤ Lutte physique

C'est une méthode qui consiste à utiliser les agents physiques comme le froid et la chaleur afin de ralentir au maximum l'activité biologique des ravageurs des grains.

- **Le froid** : Les basses températures inhibent le développement biologique et provoquent la mort de certains ravageurs. A une température inférieure à 8°C, la larve ne peut pas pénétrer à l'intérieur de la graine, et les insectes ne peuvent pas survivre plus d'un mois à une température de -1°C (**Semsar, 2013**).
- **La chaleur** : La chaleur est une méthode qui consiste à élever la température (plus de 50°C), ce qui entraîne la mort des insectes. Les insectes sont sensibles aux températures élevées, il suffit de leur imposer une température de 55°C durant quelques minutes pour détruire les adultes sans altérer le pouvoir germinatif des grains. La température de 34°C provoque un taux de mortalité de 65% et les adultes formés sont anormaux (**Idjeri, 2018**). On utilise aussi la méthode de l'insolation qui est une pratique effectuée le plus souvent avant de stocker les récoltes. Grâce à la chaleur et à la lumière directe du soleil, elle permet de sécher et de fuir les insectes (**Lale et Vidal, 2003**).

- **Stockage sous atmosphère inerte** : Le stockage sous les gaz carbonique et l'azote, ne laisse aucune chance pour les insectes de survivre. Il s'agit d'abaisser le taux d'oxygène de l'atmosphère inter granulaire jusqu'à un taux létal pour les insectes (moins 1% d'O₂) (Idjeri, 2018).

➤ **Lutte chimique**

La lutte chimique est la technique la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles, elle consiste à employer des produits phytosanitaires. Mais, ces pesticides de synthèse bien qu'efficaces provoquent non seulement des problèmes de résistance chez les insectes ravageurs mais, entraîneraient aussi des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine, des problèmes de disponibilité et de coût. Face aux nuisances de la lutte chimique nonobstant les succès enregistrés, il a été développé plusieurs autres formes de lutte contre les insectes (Camara, 2009).

➤ **Lutte biotechnologique**

Cette technique consiste à utiliser des phéromones de synthèse, induisant un dérèglement du comportement des adultes par confusion de substances odorantes répulsives, des hormones de croissance causant des troubles de développement. Ces (IRG) régulateurs de la croissance des insectes sont efficaces à tel point que la descendance devient incapable de se reproduire (Idjeri, 2018).

➤ **Lutte biologique**

Cette méthode entre dans le cadre du développement durable et de la sauvegarde des écosystèmes. Elle vise à réduire les populations des insectes ravageurs en utilisant leurs ennemis naturels qui sont soit des prédateurs, soit des parasitoïdes ou des agents pathogènes, ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales, des huiles végétales et des huiles essentielles (Messaoudene et Mouhou, 2017). Actuellement, la lutte biologique est la méthode la plus favorisée dans les programmes de recherche vus ses intérêts économiques et agro-environnementaux qui permettent le maintien d'un équilibre bioécologique (Belaïath, 2022).

- **Extraits aqueux**

Les extraits aqueux sont traditionnellement utilisés contre les insectes, ils sont obtenus à partir d'une matière végétale (feuilles, tiges, bois séchés), ils agissent plus lentement mais sont plus stables et ont par conséquent un effet plus durable dans le système de stockage (Kouassi, 2024).

- **Extraits organiques**

Les extraits organiques résultent de procédés de macération aqueuse ou alcoolique, suivis d'une concentration partielle par évaporation (Kouassi, 2024). Selon Regnault-Roger *et al.* (2002), les extraits les plus puissants sont : L'eucalyptol, isolé des feuilles d'*Eucalyptus spp.* ; L'eugénol, extrait des clous de girofle *Eugenia caryophyllata*; La pulégone, cétone monoterpénique principalement présente dans *Mentha pulegium*.

- **Poudres de plantes**

Plusieurs espèces végétales sont reconnues comme efficaces dans la prévention des infestations d'insectes nuisibles aux denrées stockées. Selon Campolo *et al.* (2018), les poudres issues de ces plantes exercent une action protectrice, bien que leur efficacité soit principalement démontrée à petite échelle. Cette activité insecticide, variable selon les organes végétaux (feuilles, graines, écorces), résulte d'une concentration différentielle des métabolites secondaires, tels que les alcaloïdes ou les terpénoïdes, dans les tissus spécifiques de la plante.

- **Huiles végétales**

Les huiles végétales agissent comme insecticides de contact par leurs propriétés physiques et chimiques. Elles exercent des actions préventives, en empêchant la ponte des adultes à l'intérieur des grains, en inhibant le développement à la surface des grains et en tuant les oeufs et les larves avant qu'elles pénètrent dans les grains (Belouaer et Selahdja, 2020).

- **Huiles essentielles**

Les huiles essentielles sont synthétisées par les plantes à la fois en interne (glandes sécrétoires situées à l'intérieur des plantes) et en externe (glandes sécrétoires placées à la surface de la plante). Elles peuvent être stockées dans divers organes : fleurs (origan), feuilles (citronnelle, eucalyptus), écorces (canneliers), bois (bois de rose, santal), racine (vétiver), rhizomes (acore), fruits (badiane) ou graines (carvi). Les espèces végétales qui produisent des huiles essentielles sont appelées plantes aromatiques et sont réparties dans le monde entier (plus de 17 000 espèces) (Messaoudene et Mouhou, 2017 ; Campolo *et al.*, 2018).

Les huiles essentielles présentent un intérêt significatif dans l'élaboration de méthodes alternatives de contrôle des insectes nuisibles affectant les denrées céréalières entreposées, en raison de leurs propriétés bioactives et de leur faible impact environnemental (Rajkumar *et al.*, 2020).

Plusieurs études confirment que l'activité insecticide des huiles essentielles est due à plusieurs mécanismes synergiques qui affectent des cibles multiples et perturbent ainsi plus efficacement l'activité cellulaire (Bouzeraa *et al.*, 2019).

Les huiles essentielles ont différents effets sur les insectes :

Effet anti-appétant : en empêchant l'insecte de se nourrir, elles affectent ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement (Tirakmet, 2015 ; Rajkumar *et al.*, 2020).

Effet sur l'octopamine : les huiles essentielles interagissent avec les récepteurs à l'octopamine, un neurotransmetteur et neuromodulateur exclusif aux invertébrés. Cette molécule joue un rôle central dans la régulation de fonctions physiologiques clés telles que la fonction cardiaque, la locomotion, les capacités de vol et l'homéostasie métabolique chez ces organismes (Kouassi, 2024).

CHAPITRE II

Les huiles essentielles

1. Généralités sur les huiles essentielles

Le terme huile essentielle (HE) vient du terme « Quinta essentia » donné par le médecin suisse Paracelse à l'extrait de plante obtenu par distillation **(De Billerbeck et al., 2002)**.

Les huiles essentielles, également appelées huiles odoriférantes volatiles, sont des liquides huileux aromatiques extraits de différentes parties de plantes, par exemple, feuilles, écorces, fleurs, bourgeons, graines, etc. Leur extraction peut être réalisée selon différentes techniques comme la distillation à la vapeur et l'expression. Parmi ces procédés, la distillation à la vapeur représente la méthode la plus couramment employée, en particulier dans le cadre d'une production de type industriel **(Tongnuanchan et Benjakul, 2014)**.

Les huiles essentielles sont des métabolites secondaires complexes naturels volatils caractérisés par une forte odeur et une densité généralement inférieure à celle de l'eau **(Tripathi et al., 2009)**.

Une attention considérable a récemment été portée aux huiles essentielles sur leur large spectre d'activités biologiques contre les ravageurs et les organismes pathogènes, et donc sur leur potentiel d'utilisation comme alternative aux pesticides chimiques de synthèse pour la protection des cultures et dans d'autres contextes de lutte antiparasitaire **(Isman, 2020)**.

Généralement, les huiles essentielles peuvent être inhalées, ingérées ou absorbées par la peau par les insectes. Une étude de la littérature portant sur leur potentiel biopesticide depuis l'année 2000 révèle que les espèces appartenant aux familles Myrtaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Apiaceae et Rutaceae sont particulièrement étudiées pour leur efficacité contre certains ordres d'insectes, notamment les coléoptères. Leurs modes d'action incluent des effets répulsifs, fumigants, larvicides et adulticides, faisant d'elles des alternatives prometteuses dans la lutte antiparasitaire **(Tripathi et al., 2009)**.

2. Composition chimique des huiles essentielles

La composition chimique d'une huile essentielle est très complexe et soumise à un grand nombre de variables. Connaître les constituants exacts d'une huile essentielle est fondamental pour être certain de sa qualité et pouvoir expliquer ses propriétés et prévenir de sa toxicité potentielle **(Couic-Marinier et Lobstein, 2013)**. Les principaux constituants des huiles essentielles se répartissent en deux catégories distinctes sur le plan biogénétique : les terpénoïdes sont majoritaires, et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane, nettement moins abondants **(El-Guedoui, 2003)**.

➤ Les composés terpéniques

Ce sont des produits naturels issus d'une voie métabolique secondaire. Ils sont formés de l'assemblage d'un nombre entier d'unités pentacarbonées en (C5) non ramifiées dérivées du 2 méthylbutadiène, les terpènes sont constitués exclusivement de carbone et d'hydrogène. Ce sont les principaux constituants des huiles essentielles. On distingue :

Les monoterpènes à dix carbones ; les sesquiterpènes à quinze carbones et les diterpènes à vingt carbones **(Endrias, 2006)**.

➤ **Les composés aromatiques**

Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (C3-C6) sont beaucoup moins fréquents que les terpènes. Caractérisés par un noyau aromatique est couplé à une chaîne de trois carbones (**Couderc, 2001**).

➤ **Composés d'origines diverses**

Selon le mode de récupération utilisé, les huiles essentielles peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, et sont entraînés lors de l'hydrodistillation (carbures, acides, alcools, aldéhydes, esters...) (**El-Guedoui, 2003**).

3. Activités biologiques des huiles essentielles

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

3.1. Activité insecticide

Différents travaux font référence à l'utilisation d'huiles essentielles pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs. Les constituants des huiles essentielles sont des sources potentielles d'insecticides botaniques. Les principaux composants des huiles essentielles, tels que les monoterpènes et les éthers-oxydes, ont une toxicité sur les insectes nuisibles aux grains (**Ngamo et Hance, 2007**).

3.2. Activité antibactérienne

Des recherches scientifiques ont mis en évidence le potentiel antibactérien des huiles essentielles, se manifestant par une inhibition de la prolifération 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**).

3.3. 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, 2010**).

3.4. Activité antifongique

Les huiles essentielles exercent une action inhibitrice marquée à l'encontre des microorganismes fongiques, ce qui leur confère un potentiel thérapeutique dans le traitement des mycoses affectant les organismes humains, animaux et végétaux. Parmi les principes actifs responsables de cette propriété, on trouve les aldéhydes aromatiques et les monoterpènes (**Bezza et al., 2010**).

3.5. 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).

3.6. Activité antioxydante

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 (Larbi et Aït-Oufroukh, 2024).

4. Stockage et conservation des huiles essentielles

En raison de leur forte volatilité et de leur photosensibilité, les huiles essentielles présentent une tendance à la dégradation rapide, perdant leurs propriétés thérapeutiques avec le temps. Ce processus de détérioration débute généralement dans un délai d'environ six mois lorsqu'elles sont exposées à des conditions non optimales. Par conséquent, il est impératif de les conserver à l'abri de l'oxygène, des rayonnements lumineux et des variations thermiques. Leur stockage doit s'effectuer dans des flacons en verre, opaques ou teintés (de préférence bleus ou ambrés), hermétiquement scellés, afin d'éviter toute interaction avec les matières plastiques, dont l'intégrité pourrait être altérée par ces substances. Par ailleurs, un positionnement vertical des contenants est recommandé pour limiter les risques d'oxydation et garantir une préservation optimale de leurs composants actifs (Haddou et Hammouche, 2012).

5. Présentation des plantes aromatiques étudiées

5.1. Le romarin (*Salvia rosmarinus* Spenn.)

Le romarin "*Salvia rosmarinus* Spenn" est un arbrisseau très odorant qui pousse à l'état sauvage ou cultivé. C'est une plante aromatique, médicinale, condimentaire et spontanée caractéristique du bassin méditerranéen, et sans doute l'une des plantes les plus populaires en Algérie. Il recouvre plus de 70000 ha du territoire national (El-Guedoui, 2003).

5.1.1. Etymologie

Salvia rosmarinus Spenn. (Synonyme : *Rosmarinus officinalis* L.), communément appelé romarin, est une plante décrite pour la première fois par Linné. La reclassification du genre *Rosmarinus* dans le genre *Salvia* a été validée par Drew *et al.* (2017) dans une étude phylogénétique moléculaire.

Le nom « romarin » vient du latin « ros marinus » (rosée de mer), ou bien du grec « rhapsmyrinos » (buisson aromatique), ou encore du latin « rhusmarinus » (Sumac de mer) (Rameau et Dumé, 2008). L'appellation *Rosmarinus*, qui signifie rosée de la mer, pourrait s'appliquer au parfum de la plante, à la couleur de sa fleur ou même à sa prédilection pour le littoral. *Officinalis* rappelle les propriétés médicinales de la plante (El-Guedoui, 2003). Le nom de genre *Salvia* vient du latin « salveo » qui signifie « sauver ou guérir », en référence aux prétendues propriétés curatives attribuées à certaines plantes du genre (Anonyme, 2020).

5.1.2. Description botanique

Le romarin (*S. rosmarinus*) est un arbrisseau appartenant à la famille des Lamiacées, pouvant atteindre une hauteur de 1,5 m. Cette espèce se distingue par son feuillage persistant, composé de feuilles sessiles, coriaces et linéaires, nettement plus longues que larges. Leur limbe, aux marges légèrement révolutes, présente une face supérieure d'un vert foncé lustré, contrastant avec la face inférieure d'apparence blanchâtre. La période de floraison s'étend généralement de février (parfois dès janvier) jusqu'aux mois d'avril ou mai. Les fleurs, regroupées en inflorescences axillaires, exhibent une gamme chromatique allant du bleu pâle au violet, bien qu'une variété albiflora à floraison blanche existe plus rarement. Le calice, pubescent et à lobes marginés de blanc, renferme deux étamines pourvues d'un petit denticule basal. Conformément aux caractéristiques de la famille botanique, le fruit est un tétrakène de coloration brune (Figure 8) (Madjour, 2014).



Figure 8 : La plante de *Salvia rosmarinus* (Originale, 2025).

5.1.3. Position systématique

Selon Drew *et al.* (2017), la classification de cette plante est la suivante :

Règne	Plantae
Embranchement	Angiospermes
Classe	Magnoliopsida (Eudicotylédones)
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Salvia</i>
Espèce	<i>Salvia rosmarinus</i> Spenn.

5.1.4. Répartition géographique

Le romarin possède une aire géographique très vaste, il pousse sur tous les types de terrains avec une préférence pour les sols calcaires, argileux, argileux limoneux situés dans les endroits ensoleillés chauds, secs et abrités du vent. Il est répandu sur la plupart des maquis, garrigues sur les rivages marins, on le rencontre jusqu'à 1500 m d'altitude. Il accompagne souvent le pin d'Alep, la sauge et le thym.

C'est une plante commune du bassin méditerranéen, son aire de répartition s'étend jusqu'au sud-ouest de l'Asie. Les grands producteurs du romarin sont l'Italie, le Dalmatie, l'Espagne, la Grèce, la Turquie, l'Egypte, la France, le Portugal et le Nord d'Afrique. En Algérie le romarin s'étale sur une superficie excédant 100 000 hectares (**Haddou et Hammouche, 2012**).

5.1.5. Composition chimique

La composition chimique de l'huile essentielle de romarin dépend fortement des Chimio types ainsi que du degré de développement de la plante. Ses Principaux constituants sont : 1,8- cinéole (teneur entre 3 et 60 %), de l' α -pinène (1 à 57%), du camphre (1 à 57%), d'autres composés tels que le bornéol (1 à 18%), de l'acétate de bornyle (1 à 21%), de la verbénone (0 à 28%), du p-cymène (0,5 à 10%) ou du p- myrcène (0,5 à 12%) ; ils peuvent être accompagnés de α caryophyllène, de limonène, de linalol, de α -pinène, de sabinène, de α terpinène, d' α terpinéol et de terpinéno l-4 (**Ougaida et Fethi, 2018**).

5.1.6. Usages et propriétés du romarin

➤ Usage alimentaire

Le romarin est une bonne source naturelle de composés antioxydants. Il est largement utilisé dans l'industrie alimentaire pour prévenir une éventuelle dégradation oxydative et microbienne des aliments (**Bousbia, 2011**). En cuisine, il est conseillé d'en utiliser quelques feuilles lors de la cuisson, car ses propriétés bactéricides permettent de réduire les toxines la putréfaction (**Bourgeois, 2007**).

➤ En cosmétologie

Le romarin entre dans la composition de parfums surtout masculins, hespéridés aromatiques, boisés et fougères aromatiques, ainsi que dans la formulation des pommades dermiques pour leur pouvoir aromatique et aussi leur action régénérante et hydratante (**Bousbia, 2011**).

5.2. La Citronnelle (*Cymbopogon citratus*)

La citronnelle, encore appelée citronnelle d'Inde ou de Madagascar ou de Java, est une plante herbacée tropicale de la famille des Poaceae, cultivée pour ses tiges et feuilles aux qualités aromatiques (goût de citron). Son huile essentielle est obtenue par distillation des feuilles hachées que l'on récolte plusieurs fois par an. La matière fraîche de citronnelle contient de 0.26 à 0.52% d'huile essentielle et parfois 0.7% et la matière sèche en contient 0.4% (**Mekhloufi, 2024**).

5.2.1. Etymologie

Le nom botanique de la citronnelle, *Cymbopogon*, trouve son origine dans les mots grecs "kymbe" signifiant "nacelle" et "pogon" signifiant "barbe", en référence à ses épis en forme de nacelle portant de nombreuses fleurs évoquant une barbe (**Mekhloufi, 2024**).

5.2.2. Description botanique

Cymbopogon citratus est une plante aromatique vivace, caractérisée par une croissance rapide et une longévité moyenne de quatre à six ans. Elle se développe en touffes denses, non ramifiées, pouvant atteindre jusqu'à 2 m de hauteur et 1,2 m de diamètre. Son système racinaire

comprend un rhizome court, assurant sa propagation végétative. Les feuilles, de couleur vert bleuté, sont longues (dépassant souvent un mètre), étroites (5 à 15 mm de large), lisses, linéaires et sessiles, avec une base engainante. La floraison et la production de graines étant exceptionnelles, cette espèce se multiplie principalement par division des rhizomes. L'inflorescence, rarement observée, se compose d'une paire d'épis acuminés, enveloppés de bractées et portés par un pédoncule de 30 à 60 cm de long (Figure 9) (Chemame et Boutebal, 2022).



Figure 9 : La plante de *Cymbopogon citratus* (Belaifa et Sadaoui, 2018).

5.2.3. Position systématique

Selon Stapf (1906), la classification de cette plante est la suivante :

Règne	Plantae
Embranchement	Angiospermes
Classe	Liliopsida (Monocotylédones)
Ordre	Poales
Famille	Poaceae
Genre	<i>Cymbopogon</i>
Espèce	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf

5.2.4. Répartition géographique

C. citratus est une plante aromatique originaire du Sud de l'Inde et du Sri Lanka (Shah *et al.*, 2011). Cette plante est cultivée dans la plupart des régions du monde. Elle préfère le climat tropical, un climat chaud et humide avec des températures allant de 24 à 27° C et des valeurs de pH entre 5 et 5,8. Elle pousse mieux à des altitudes allant du niveau de la mer à 1200 m avec des précipitations annuelles variant de 2000 à 2500 mm. Elle occupe une superficie de 16 000 hectares dans le monde et la production annuelle est d'environ 1000 tonnes (Chemame et Boutebal, 2022).

5.2.5. Composition chimique

La composition chimique des extraits de *C. citratus* varie selon : l'origine géographique, les différences génétiques, les parties de la plante et la méthode d'extraction utilisée, l'âge de maturité, le stade de maturation ainsi que la saison de la récolte (**Idress et al., 2012**).

L'huile essentielle de *C. citratus* est composée de molécules tels que : géraniol, néral et myrcène.

Les composés de cette huile sont répartis en quatre groupes : Mono-terpènes oxygénés, sesquiterpènes oxygénés, hydrocarbures mono-terpéniques et hydrocarbures sesquiterpènes.

D'autres composants tels que : des alcaloïdes, des saponines, des flavonoïdes, d'acide caféique et des sucres ont également été trouvés dans les feuilles de cette plante.

C. citratus est cultivée en raison de sa forte teneur en citral, qui est le principal composant actif impliqué dans l'activité antifongique et antibactérienne de l'huile essentielle (**Chemame et Boutebal, 2022**).

5.2.6. Usages et propriétés de la citronnelle

➤ Utilisations médicinales

C. citratus est utilisée non seulement à des fins décoratives mais aussi à des fins médicinales. Cette plante aromatique est utilisée en médecine traditionnelle dans divers traitements humains, en raison de la présence des puissants composants bioactifs. La citronnelle est principalement utilisée en cas de : fièvre, troubles digestifs, inflammation, rhume... (**Chemame et Boutebal, 2022**).

➤ Effet sur les insectes

Parfois, les apiculteurs utilisent de l'huile de citronnelle dans les pièges à essaims pour attirer les abeilles. De plus, l'huile de citronnelle a été testée pour ses propriétés répulsives contre la mouche pestilentielle des étables (**Mekhloufi, 2024**).

CHAPITRE III

Matériel et méthode

Le travail expérimental de notre étude a été réalisé dans le laboratoire d'Entomologie Appliquée de la faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

L'étude est menée pour évaluer l'activité insecticide de deux huiles essentielles, *Salvia rosmarinus*, et *Cymbopogon citratus* contre l'insecte ravageur des denrées alimentaires stockées *Tribolium confusum*.

1. Matériel

1.1. Matériel de laboratoire

Divers outils et équipements ont été utilisés pour la réalisation des expériences, parmi lesquels :

- Une étuve réglée à une température de 32 ± 1 °C et une humidité relative de 60 ± 5 %, conditions optimales pour le développement de *T. confusum*.
- Des bocaux en verre pour l'élevage de masse des adultes de *T. confusum*.
- Des flacons en plastique de 64 ml pour les tests d'inhalation des huiles essentielles.
- Des boîtes de Pétri en plastique de 8,5 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur pour les tests de répulsion.
- Des boîtes de Pétri en plastique de 5,2 cm de diamètre et 1,2 cm de hauteur.
- Une micropipette pour le dosage précis des huiles essentielles.
- Une loupe binoculaire pour l'observation des individus.
- Une balance électronique pour le pesage du substrat.
- Du papier filtre pour les tests d'inhalation et de répulsion.
- L'acétone comme solvant.
- Un réfrigérateur.
- Divers outils de manipulation : pinceaux, scotch, fil fin, aiguille, bassine, ciseaux, étiquettes et tamis (Figure 10).

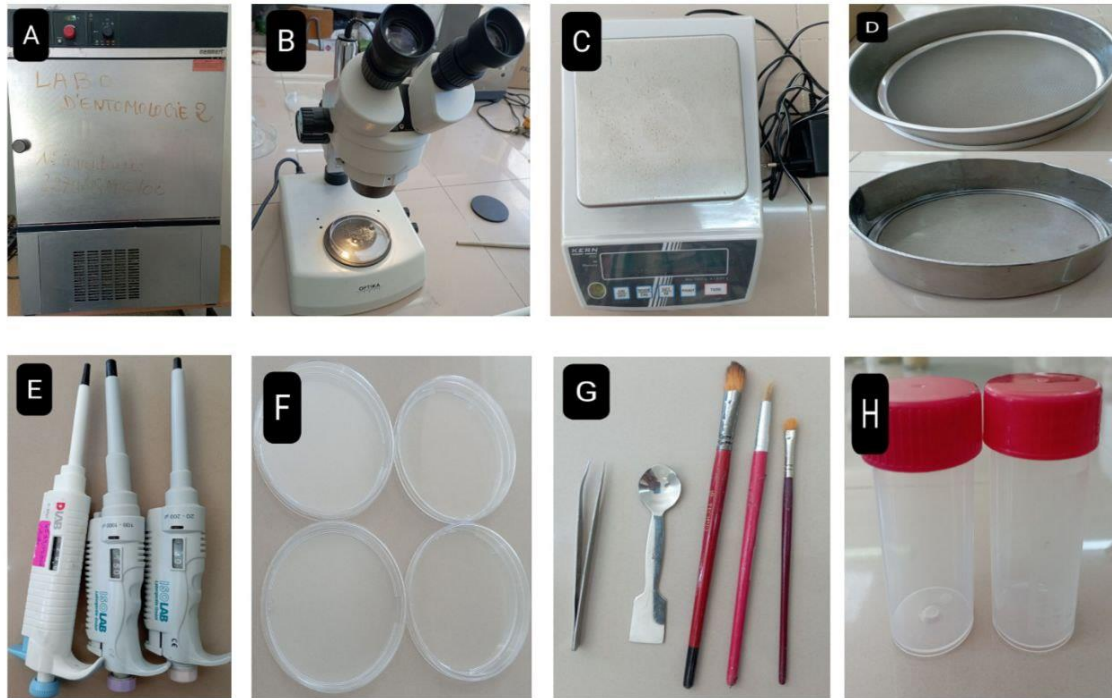


Figure 10: Matériel de laboratoire: (A) Etuve, (B) Loupe binoculaire, (C) Balance à affichage électronique, (D) Tamis, (E) Micropipettes, (F) Boîtes de Pétri, (G) Pinceaux et autres, (H) Flacons en plastique (Originale, 2025).

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Matériel animal (*T. confusum*)

Les adultes de *T. confusum* utilisés dans nos expérimentations proviennent d'un élevage de masse réalisé sur un substrat de semoule. Cet élevage a été établi à partir d'une souche issue du laboratoire d'Entomologie Appliquée de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Figure 11).



Figure 11 : Les adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

1.2.2. Matériel végétal

➤ Substrat

Dans les différents tests réalisés au laboratoire, de la semoule moyenne de blé dur, achetée sur le marché local, a été utilisée comme substrat alimentaire. Afin de prévenir toute contamination par des micro-organismes ou des insectes, la semoule a été conservée au réfrigérateur tout au long de la période expérimentale.

➤ Huiles essentielles testées

Dans le cadre de notre étude, deux huiles essentielles ont été testées : celle de romarin (*Salvia rosmarinus*) et celle de citronnelle (*Cymbopogon citratus*). Ces huiles ont été achetées d'un point de vente à Yakouren, situé dans la wilaya de Tizi-Ouzou (Figure 12).

Le choix de ces huiles repose sur plusieurs critères : leur disponibilité dans la région, leur usage traditionnel en pharmacologie, ainsi que les données existantes dans la littérature scientifique attestant de leur activité insecticide.

Les huiles essentielles ont été conservées dans des flacons en verre coloré, hermétiquement fermés, à une température de 5 °C afin de préserver leurs propriétés physico-chimiques.



Figure 12 : Les deux huiles essentielles utilisées (Originale, 2025).

2. Méthodes

2.1.Élevage de masse

L'élevage de masse a été réalisé dans des bocaux en verre, contenant de la semoule de blé dur comme substrat nutritif. Des adultes mâles et femelles de *T. confusum*, d'âges indéterminés, y ont été introduits.

Les bocaux d'élevage ont été placés dans une étuve obscure, maintenue à une température de 32 ± 1 °C et une humidité relative de 60 ± 5 %, conditions favorables au développement de *T. confusum*. Les couvercles des bocaux étaient perforés de petits trous afin d'assurer une aération adéquate (Figure 13).

Après une semaine d'incubation, les adultes reproducteurs ont été retirés, laissant ainsi les œufs se développer dans le substrat. Les premiers adultes issus de cette nouvelle génération ont été récoltés, et seuls les individus âgés de moins de 7 jours ont été sélectionnés pour la réalisation des différents tests biologiques.

L'objectif de cet élevage est d'obtenir une génération homogène et en quantité suffisante, destinée à être utilisée dans les différents tests expérimentaux.



Figure 13 : Elevages de masse de *T. confusum* (Originale, 2025).

2.2.Test d'inhalation

Ce test vise à évaluer la toxicité des huiles essentielles de *S. rosmarinus* et *C. citratus* par voie d'inhalation sur les adultes de *T. confusum*, en fonction du temps et de la dose. Le protocole suivi est inspiré de méthodes standards utilisées en entomologie.

L'expérimentation est réalisée dans des flacons en plastique d'une capacité de 64 ml. Sur la face intérieure du couvercle de chaque flacon, un fil est fixé, auquel est suspendu un morceau de papier filtre. Ce papier filtre est imbibé, à l'aide d'une micropipette, d'une des huiles essentielles testées, selon différentes doses : (Romarin : 17, 18 ,19 et 20 μ l) (Citronnelle : 20, 50, 100 et 200 μ l).

Chaque flacon contenait 3 g de semoule de blé dur comme substrat alimentaire, ainsi que vingt adultes de *T. confusum* âgés de 0 à 7 jours. Un groupe témoin, ne contenant aucune huile essentielle, a également été mis en place pour chaque durée d'exposition (Figure 14).

Les durées d'exposition considérées étaient de 24 h, 48 h et 72 h. Chaque traitement (dose × durée) ainsi que les témoins ont été réalisés en trois répétitions.

À la fin de chaque période d'exposition, les insectes ont été transférés dans de petites boîtes de Pétri propres. Le dénombrement des individus morts a été effectué 24 heures après la fin du traitement.

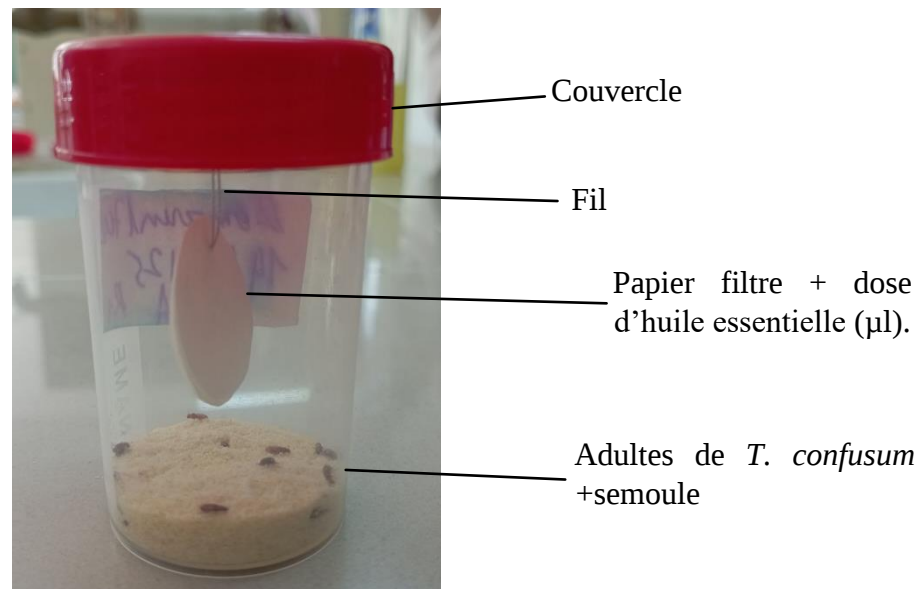


Figure 14 : Test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* (Originale, 2025).

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

Pour évaluer l'effet par inhalation du mélange des deux huiles essentielles après 24 heures d'exposition, nous avons appliqué le même protocole que lors des tests individuels. Le papier filtre a été imbibé avec une mixture composée de 17 µl d'huile essentielle de romarin (*S. rosmarinus*) et de 50 µl d'huile essentielle de citronnelle (*C. citratus*), représentant les doses testées individuellement dans les essais antérieurs. Cette combinaison a été choisie dans le but d'évaluer une éventuelle interaction synergique ou antagoniste entre les deux extraits végétaux. Après 24 heures d'exposition, les individus de *T. confusum* ont été observés afin de déterminer le taux de mortalité induit par ce mélange.

2.3. Test de répulsion

L'objectif de ce test est d'analyser l'effet répulsif des huiles essentielles de romarin et de citronnelle sur les adultes de *T. confusum*. Cette étude a été réalisée en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

- Pour réaliser cette expérience, des disques de papier filtre de 8,5 cm de diamètre ont été découpés en deux moitiés égales. Une moitié a été traitée (Tr) avec différentes doses (17, 18, 19 et 20 µl) d'huile essentielle diluée dans 500 µl d'acétone, tandis que l'autre moitié (Nt) a été traitée uniquement avec 500 µl d'acétone.

- Après évaporation complète du solvant, les deux moitiés ont été réunies à l'aide d'une bande adhésive et placées au fond d'une boîte de Pétri de 8,5 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur.
- Vingt adultes de *T. confusum* ont été déposés au centre de chaque boîte de Pétri. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque dose testée (Figure 15).
- Après 30 minutes d'exposition, le nombre d'individus présents sur chaque moitié (traitée et non traitée) du disque a été comptabilisé afin d'évaluer l'effet répulsif des huiles essentielles.

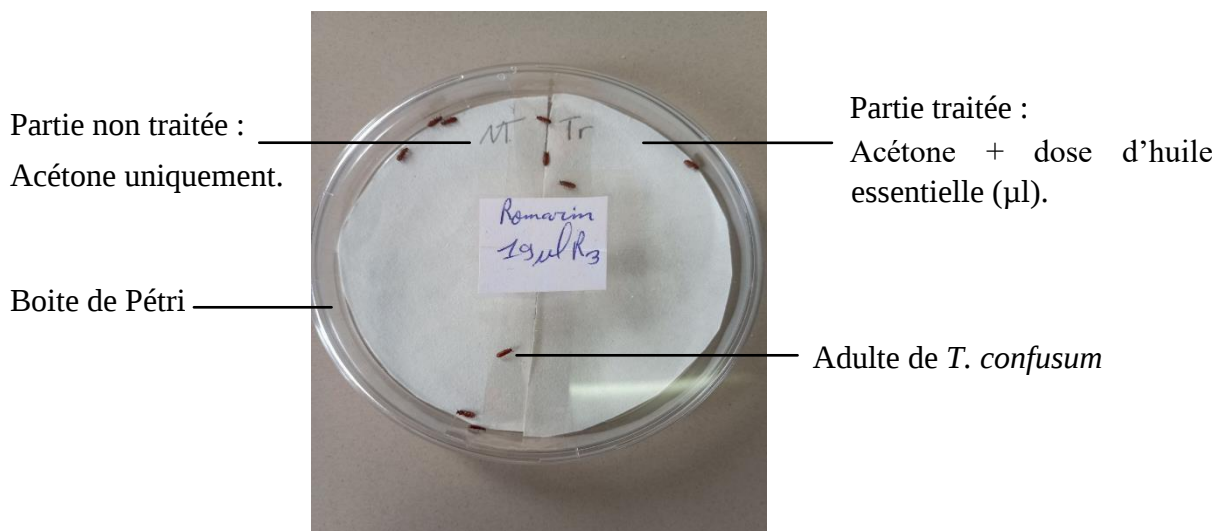


Figure 15 : Test de répulsivité sur les adultes *T. confusum* (Originale, 2025).

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) :

$$PR\% = (NT - TR / NT + TR) \times 100$$

NT= nombre d'individus présents dans la partie traitée uniquement avec l'acétone.

Tr= nombre d'individus présents dans la partie traitée avec la solution (l'huile essentielle +acétone).

On calcule le pourcentage moyen de répulsion pour chaque huile essentielle, puis on les classe dans différentes catégories répulsives en se basant sur la classification de Mc Donald *et al.*, (1970), qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald *et al.* (1970).

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	$PR \leq 0.1\%$	Très faiblement répulsif
Classe I	$0.1\% < PR < 20$	Faiblement répulsif
Classe II	$20\% < PR \leq 40\%$	Modérément répulsif

Classe III	$40\% < PR \leq 60\%$	Moyennement répulsif
Classe IV	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
Classe V	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif

➤ **L'effet par répulsion du mélange des deux huiles essentielles après 30 minutes d'exposition**

Pour évaluer l'effet répulsif du mélange des deux huiles essentielles testées après 30 mn d'exposition, nous avons préparé une solution en diluant 17 µl d'huile essentielle de romarin (*S. rosmarinus*) et 50 µl d'huile essentielle de citronnelle (*C. citratus*) dans 500 µl d'acétone, utilisé ici uniquement comme solvant. Cette solution a été appliquée sur la moitié traitée (Tr) d'un disque de papier filtre, tandis que l'autre moitié (NT) n'a reçu que de l'acétone, sans huiles essentielles. Après évaporation complète du solvant, vingt adultes de *T. confusum*, âgés de 0 à 7 jours, ont été placés au centre d'une boîte de Pétri contenant le disque. Trois répétitions ont été réalisées. 30 mn après l'exposition, le nombre d'individus présents sur chaque moitié du disque (traitée et non traitée) a été comptabilisé, permettant ainsi d'évaluer l'intensité de l'effet répulsif du mélange des deux huiles essentielles.

3. Analyse statistique

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

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

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

CHAPITRE VI

Résultats et discussion

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

1.1. Effet de l'huile essentielle de Romarin (*S. rosmarinus*) à l'égard de *T. confusum*

La figure 16 présente les résultats du test d'inhalation sur les adultes de *T. confusum* traités avec l'huile essentielle de romarin en fonction de la dose et de la durée d'exposition (24h, 48h et 72h).

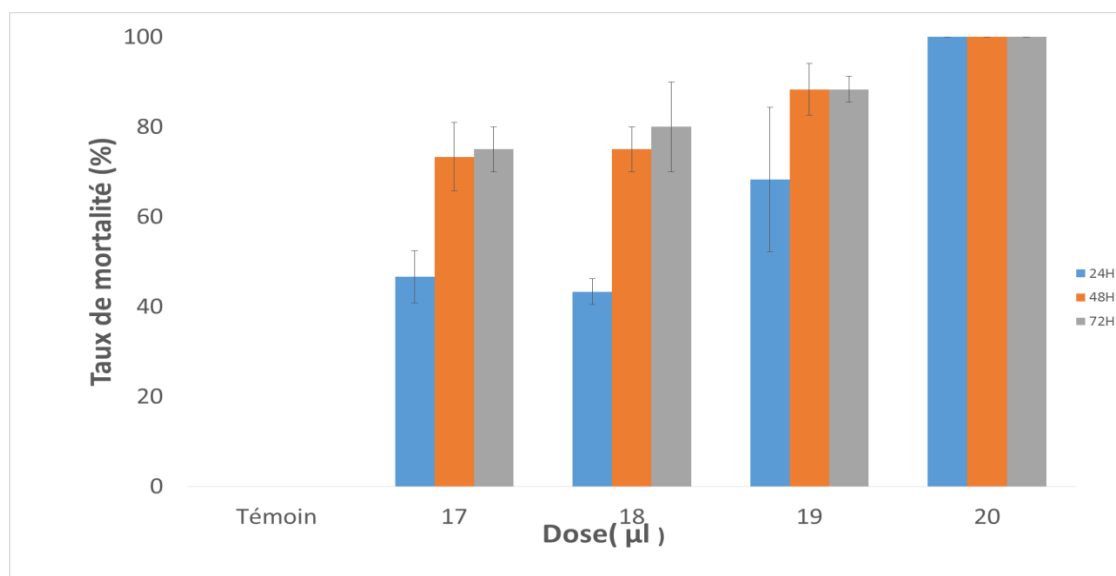


Figure 16 : Taux de mortalité moyen (moyennes $\pm$ écart-type) des adultes de *T. confusum* traités par inhalation avec l'huile essentielle de romarin en fonction de la dose et de la durée d'exposition.

Les résultats démontrent que l'huile essentielle de romarin (*S. rosmarinus*) exerce un effet insecticide significatif par inhalation contre les adultes de *T. confusum*.

L'effet fumigeant de cette huile essentielle est remarquable dès la plus faible dose utilisée (17 µl), après 24h d'exposition avec un taux de mortalité de 46%, pour atteindre 75 % après 72h. Cette mortalité augmente en fonction de la dose et du temps d'exposition. Une toxicité plus élevée est observée aux doses de 18 µl et 19 µl, dépassant 80 % après 72h. À la plus forte dose testée (20 µl), une mortalité complète (100%) est atteinte après 24h d'exposition confirmant une efficacité maximale de cette huile à cette concentration. Ces résultats suggèrent que le romarin possède un bon potentiel insecticide contre *T. confusum* via l'inhalation, particulièrement à partir de la dose de 19 µl où la mortalité est très proche de 100 % des 48h d'exposition.

Dans les lots témoins (sans huile essentielle), aucune mortalité n'est observée, ce qui confirme que l'effet observé est bien dû à l'huile essentielle testée.

1.2. Effet de l'huile essentielle de Citronnelle (*C. citratus*) à l'égard de *T. confusum*

L'huile essentielle de citronnelle n'a montré aucune activité insecticide par inhalation contre les adultes de *T. confusum* dans nos conditions expérimentales. Aucune mortalité n'a été observée, même à la plus forte dose testée (200 µl) et ceci pour les 3 temps d'exposition 24h, 48h et 72h. Les lots témoins présentaient également une mortalité nulle.

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

Les résultats de l'analyse de la variance montrent l'existence d'une différence très hautement significative ($p=0.0000$) pour les effets des trois facteurs : la dose, l'huile, le temps, ainsi que pour toutes les interactions : (dose × temps), (dose× huile), (huile × temps) et (huile× dose× temps) (Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	145128,1	89	1630,652				
VAR.FACTEUR 1 (Dose)	25646,12	4	6411,529	349,72	0		
VAR.FACTEUR 2 (Temps)	1340,547	2	670,273	36,56	0		
VAR.FACTEUR 3 (Huile)	88046,95	1	88046,95	4802,561	0		
VAR.INTER F1*2	1003,898	8	125,487	6,845	0		
VAR.INTER F1*3	25646,1	4	6411,525	349,72	0		
VAR.INTER F2*3	1340,563	2	670,281	36,561	0		
VAR.INTER F1*2*3	1003,883	8	125,485	6,845	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1100	60	18,333			4,282	13,69%

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. La dose 20 µl, la plus performante est classée dans le groupe homogène A. La dose 19 µl appartient au groupe homogène B. Les doses 18 µl et 17 µl sont regroupées dans le groupe homogène C, tandis que la dose 0 µl est placée dans le groupe homogène D (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet des doses des deux huiles testées par inhalation sur les adultes de *T. confusum*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
5.0	D5 (20µL)	50	A			
4.0	D4 (19µl)	40,833		B		
3.0	D3 (18µl)	33,056			C	
2.0	D2 (17µl)	32,5			C	
1.0	D1 (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 sont classés les temps d'exposition les plus longs T3 (72h) et T2 (48h), et enfin dans le groupe B est classé le temps d'exposition le moins long T1 (24h) (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur Temps sur les adultes de *T. confusum*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3.0	T3 (72h)	34,333	A	
2.0	T2 (48h)	33,667	A	
1.0	T1 (24h)	25,833		B

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, implicite par la formation de groupes homogènes, classe les deux types d'huiles dans des groupes distincts :

- Dans le groupe A, est classée l'huile de romarin (H1), avec une moyenne de 62.55.
- Dans le groupe B, est classée l'huile de citronnelle (H2), avec une moyenne de 0.

Cela indique une différence statistiquement significative entre les deux types d'huiles pour la variable mesurée, l'huile de romarin ayant une valeur moyenne nettement supérieure à celle de l'huile de citronnelle (Tableau 5).

Tableau 5 : Résultat du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile sur les adultes de *T. confusum*.

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	H1 (Huile romarin)	62,556	A	
2.0	H2 (Huile de citronnelle)	0		B

1.3. Effet du mélange de deux huiles essentielles de Romarin et de la Citronnelle à l'égard des adultes de *T. confusum* par inhalation après 24h d'exposition

Le graphe suivant illustre l'effet de la mixture des deux huiles essentielles de romarin et de citronnelle (17 μ l×50 μ l) sur les adultes de *T. confusum* par le test d'inhalation après 24h d'exposition (figure 17).

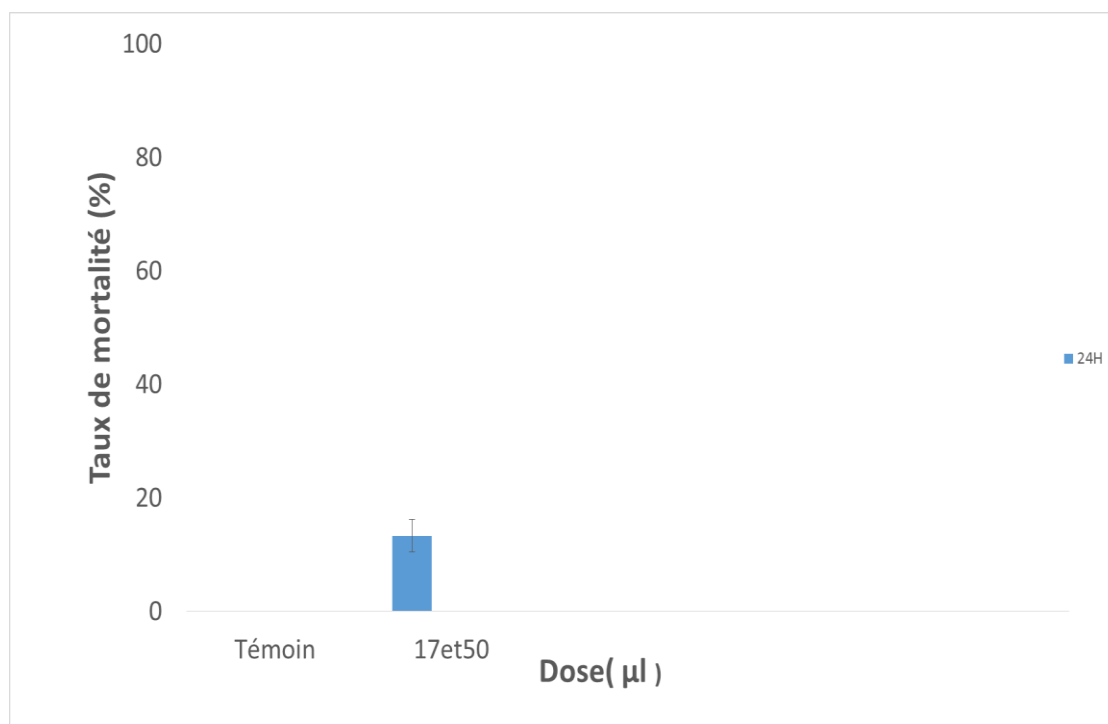


Figure17 : Taux de mortalité (Moyennes $\pm$ écart-type) des adultes de *T. confusum* traités avec la mixture de Romarin× Citronnelle par inhalation, après 24h.

Les résultats obtenus avec la mixture de 17 μ l d'huile essentielle de romarin avec la plus faible dose d'huile essentielle de citronnelle (50 μ l) après 24h de fumigation, ont montré que cette dernière exerce une faible activité insecticide à l'égard des adultes de *T. confusum* avec un taux de mortalité ne dépassant guère 13.33%. Dans les lots témoins, le taux de mortalité des adultes est égal à zéro.

2. Résultats des tests par répulsion des deux huiles essentielles de romarin et de citronnelle sur les adultes de *T. confusum*

2.1. Effet par répulsion des huiles essentielles de romarin et de citronnelle à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par répulsion des huiles essentielles de romarin et de citronnelle à l'égard des adultes de *T. confusum* sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6: Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles de romarin et de la citronnelle à l'égard des adultes de *T. confusum* et son classement selon Mc Donald et al. (1970).

Huile \ Dose	17 µl	18 µl	19 µl	20 µl	Taux moyen de répulsion	Classe de répulsion	Propriétés
Salvia rosmarinus	40 ± 26,46	40 ± 26,46	40 ± 45,83	40 ± 17,32	40	II	Modérément répulsif
Cymbopogon citratus	53,33 ± 15,2	60 ± 40	60 ± 10	63,33 ± 32,1	59,17	III	Moyennement répulsif

Globalement les deux huiles essentielles ont montré un effet répulsif. Nous constatons que la répulsivité varie selon l'huile. La plus grande moyenne de répulsivité est obtenue avec l'huile essentielle de citronnelle avec un taux moyen de 59,17%. Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), cette huile essentielle appartient à la classe III. En ce qui concerne l'huile essentielle de romarin, le taux de répulsivité enregistré est de 40% et appartient à la classe II.

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que l'huile essentielle de citronnelle est plus répulsive en comparaison avec l'huile essentielle de romarin.

D'après les résultats obtenus, l'analyse de la variance à deux critères de classification ne révèle aucune différence significative pour le facteur 1 (dose) ($p = 0.99$), pour le facteur 2 (huile) ($p = 0,12264$) ainsi que pour l'interaction entre ces deux facteurs (dose $\times$ huile) ($p = 0,99$) (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.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	15895,83	23	691,123				
VAR.FACTEUR 1 (Dose)	79,168	3	26,389	0,031	0,99		
VAR.FACTEUR 2 (Huile)	2204,168	1	2204,168	2,606	0,12264		
VAR.INTER F1*2	79,165	3	26,388	0,031	0,99		
VAR.RESIDUELLE 1	13533,33	16	845,833			29,083	58,66%

2.2. Effet par répulsion de la mixture des deux huiles essentielles : Romarin et Citronnelle à l'égard de *T. confusum*

Les résultats de l'activité insecticide par répulsion du mélange de deux huiles essentielles, celle de romarin et celle de la citronnelle, à l'égard des adultes de *T. confusum* sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Taux moyen de répulsion du mélange des deux huiles essentielles romarin et citronnelle à l'égard des adultes de *T. confusum* et son classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970).

Huile \ Dose	17 µl + 50 µl	Pourcentage de répulsion	Classe de répulsion	Propriétés
Romarin + Citronnelle	Mixture	43,33	III	Moyennement répulsif

Le résultat obtenu montre que le mélange des deux huiles essentielles manifeste un effet moyennement répulsif à l'égard des adultes de *T. confusum*. Selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970), ce mélange provoque un taux de répulsion de 43.33%, appartenant ainsi à la classe III. En effet, le mélange s'est montré moins répulsif en comparaison avec l'huile essentielle de citronnelle.

Discussion

Cette étude a évalué l'effet insecticide des huiles essentielles de romarin (*S. rosmarinus*) et de citronnelle (*C. citratus*) sur le ravageur des denrées stockées *T. confusum*, à travers deux approches complémentaires : le test d'inhalation (effet toxique) et le test de répulsion (effet comportemental). L'étude a également porté sur un mélange des deux huiles essentielles afin d'explorer d'éventuels effets synergiques ou antagonistes.

Les résultats des tests par inhalation sur les adultes de *T. confusum* ont montré un effet insecticide important pour l'huile essentielle de romarin et aucun effet insecticide pour l'huile essentielle de citronnelle. Les analyses statistiques indiquent qu'il existe une variation très hautement significative des taux de mortalité des insectes qui dépendent de l'huile, des doses utilisées et de la durée d'exposition. Ces variations peuvent être expliquées par la composition chimique de l'huile essentielle et le comportement du ravageur étudié.

Les tests par inhalation ont révélé une forte efficacité toxique de l'huile essentielle de romarin, où le taux de mortalité augmente significativement avec la dose d'huile essentielle et le temps d'exposition. Dans notre système expérimental, une mortalité dépassant 40% a été observée dès la dose minimale testée (17 µl), après 24h d'exposition, avec une mortalité de 100 % à la dose de 20 µl après 24 heures. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Demirel et *al.* (2009), Sener et *al.* (2009) Saeidi et Moharramipour (2013) qui ont tous obtenu des mortalités de 100% a des doses variant entre 320 et 370 µl/L, et ceux de Kheloul (2021), qui a rapporté une mortalité totale a 250 µl/L en 24 heures, qui soulignent également une forte toxicité du romarin contre *T. confusum*. Cette efficacité est probablement liée à la présence de composés neurotoxiques tels que le 1,8-cinéole, le camphre et le bornéol. Le taux de mortalité observé dans notre étude est même supérieur à ceux obtenus par Benazzeddine (2010) (97,37 %) et Abahri (2016) (87,5 %), bien que les conditions expérimentales soient différentes.

Les travaux de Ainane et *al.* (2019) appuient nos résultats : ces auteurs ont montré l'efficacité de plusieurs huiles essentielles, dont le romarin, contre *T. confusum* à partir d'une dose de 35 µl, avec une mortalité totale après 24 h, confirmant que certaines huiles sont très actives même à faibles doses.

À l'inverse, l'huile essentielle de citronnelle (*C. citratus*) n'a provoqué aucune mortalité, même à la dose maximale de 200 µl. Ce résultat rejoint ceux de Camara (2009), qui n'a observé aucune mortalité par fumigation avec *C. citratus* sur *T. castaneum*, une espèce proche de *T. confusum*. Pourtant, selon Belaifa, et Sadaoui (2018), cette huile contient des composés bioactifs majeurs comme le citronellal, le géraniol et le citronellol, connus pour leur activité insecticide. La discordance entre sa composition chimique et son absence d'effet létal pourrait s'expliquer par une biodisponibilité insuffisante des composés actifs, ou une tolérance spécifique de *T. confusum* via des mécanismes de détoxification. Bien que volatile et odorante (propriété cruciale pour la répulsion), les molécules de la citronnelle semblent ne pas atteindre les sites d'action internes nécessaires pour induire la mort chez cet insecte dans notre système expérimental.

Lorsqu'elles ont été combinées, les deux huiles ont induit une mortalité réduite (13,33 % après 24 h), nettement inférieure à celle obtenue avec le romarin seul. Ce résultat suggère un effet

antagoniste ou une dilution de l'efficacité du romarin. Cette hypothèse est confortée par les travaux de Larbi et Ait-Ouffroukh (2024), qui ont rapporté une mortalité inférieure à 2,5 % après 24 h d'exposition à une mixture de cèdre de l'Atlas et d'eucalyptus citronné. De même, Bazi et Belhacel (2023) ont mis en évidence une faible toxicité d'un mélange marjolaine–menthe poivrée–saugue sclarée, avec une mortalité de seulement 22 % après 24 h. Ces données laissent penser que certaines interactions entre composés volatils peuvent inhiber l'action de principes actifs, en bloquant ou neutralisant certains récepteurs chez l'insecte.

Cependant, certaines études rapportent un effet synergique positif. Kaci (2016) a montré que l'ajout d'huile essentielle d'épazote augmentait la toxicité de la citronnelle, du thym et du myrte par contact et ingestion contre *T. confusum*. De même, Zahi et al. (2021) ont observé qu'une combinaison d'huile essentielle d'origan avec des substances minérales (argile blanche et terre de diatomée) augmentait la mortalité comparée aux huiles essentielles seules. Ces résultats montrent que la nature des composés, leur concentration et le mode d'application jouent un rôle déterminant dans l'issue des interactions.

Les résultats de notre étude montrent clairement que les deux huiles essentielles *S. rosmarinus* et *C. citratus*, ont un effet répulsif sur le ravageur *T. confusum*.

En effet, l'huile essentielle de *C. citratus* affiche une moyenne de répulsivité plus élevée, avec un taux moyen de 59.17%. Selon l'échelle de Mc Donald et al. (1970), cette huile appartient à la classe III c'est-à-dire moyennement répulsif. Ce résultat pourrait s'expliquer par une réponse comportementale active des insectes face à certaines molécules volatiles, sans pour autant atteindre un niveau de répulsion très élevé.

Quant à l'huile essentielle de romarin (*S. rosmarinus*), le taux moyen de répulsion enregistré ne dépasse pas les 40%, appartenant ainsi à la classe II. L'huile essentielle de romarin est moins répulsive comparativement à l'huile essentielle de citronnelle.

Contrairement aux idées reçues, où la citronnelle est souvent perçue comme un répulsif universellement plus puissant en raison de son odeur forte et caractéristique, le romarin s'est révélé légèrement moins répulsif que la citronnelle dans ce contexte spécifique. Cette observation pourrait s'expliquer par des différences dans la perception sensorielle des composants volatils par *T. confusum* et par les seuils d'activité répulsive spécifiques à chaque espèce d'insecte.

Les travaux de Martynov et al. (2019) confirment que la répulsivité des huiles essentielles dépend fortement de leur composition chimique et de la spécificité de l'insecte ciblé. Ceux de Belaifa et Sadaoui (2018) et de Kheloul (2021) ont également montré que le romarin, bien que moins répulsif que l'eucalyptus ou le myrte dans certains contextes, présente néanmoins une action comportementale notable qui peut contribuer à la protection des denrées.

Dans notre étude, nous avons constaté que la mixture de l'huile essentielle de romarin et d'huile essentielle de citronnelle présentait un effet répulsif. Les résultats obtenus montrent que cette mixture ne surpasse pas les huiles essentielles testées individuellement. Selon la classification de Mc Donald et al. (1970), l'effet répulsif de ce mélange se classe dans la catégorie II, avec

un taux de répulsion moyen de 43.33%. Cela suggère une interaction additive ou modérément synergique au niveau comportemental, mais sans potentialisation de la toxicité. Il est possible que certains composés non létaux de la citronnelle, même à des concentrations moindres, modulent favorablement l'effet sensoriel du romarin, renforçant ainsi l'effet de répulsion, sans pour autant interférer avec les mécanismes neurotoxiques qui sont à l'origine de la mortalité. Cette observation met en lumière la complexité des interactions entre les molécules des huiles essentielles et les réponses physiologiques et comportementales des insectes.

Ces résultats confirment les observations de Regnault-Roger (2002), selon lesquelles les huiles essentielles, en tant que biopesticides d'origine végétale, exercent leurs effets par des mécanismes variés : toxicité directe, perturbation du comportement, inhibition de l'alimentation ou du système nerveux. L'auteur souligne que les interactions entre composés végétaux peuvent être synergiques, additifs ou antagonistes, et que leur efficacité dépend étroitement de la composition chimique, du mode d'application et de l'insecte ciblé. Cela justifie la variabilité des résultats rapportés dans notre étude, et la nécessité de conduire des évaluations rigoureuses avant de formuler un insecticide naturel.

CONCLUSION

Conclusion

La gestion durable des insectes ravageurs des denrées stockées, tels que *T. confusum*, représente un défi majeur pour la sécurité alimentaire mondiale. L'usage intensif des insecticides chimiques, bien qu'efficace à court terme, suscite de vives préoccupations liées à la santé humaine, à l'environnement et au développement de résistances chez les insectes. Dans ce contexte, les huiles essentielles issues de plantes aromatiques apparaissent comme des alternatives naturelles intéressantes, en raison de leur activité biologique et de leur faible empreinte écologique.

Dans ce travail, nous avons évalué l'effet insecticide des huiles essentielles de romarin (*S. rosmarinus*) et de citronnelle (*C. citratus*) sur les adultes de *T. confusum*, en utilisant deux modes d'application : l'inhalation et la répulsion.

Les tests d'inhalation ont montré que l'huile essentielle de romarin possède une activité insecticide marquée, avec une mortalité croissante en fonction de la dose et du temps d'exposition. À partir de 17 μ L, la mortalité a atteint 75 % après 72 heures, tandis qu'une dose de 20 μ L induisait une mortalité totale (100 %) dès 24 h. À l'inverse, l'huile essentielle de citronnelle s'est révélée inefficace dans ce mode d'exposition, ne provoquant aucune mortalité. Le mélange des deux huiles (17 μ L de romarin + 50 μ L de citronnelle) a généré une mortalité de seulement 13,33 % après 24 h de fumigation, indiquant une interaction antagoniste possible entre leurs composants.

En ce qui concerne les tests de répulsion, les deux huiles ont démontré une certaine capacité à repousser *T. confusum*, avec toutefois des différences notables. Le romarin a produit un effet répulsif modéré et stable, autour de 40 % quelle que soit la dose, tandis que la citronnelle a présenté une répulsion plus forte, atteignant jusqu'à 63,33 % à 20 μ L. Le mélange des deux huiles a donné un effet légèrement supérieur au romarin seul (43,33 %), mais inférieur à la citronnelle seule.

Ces résultats soulignent que l'efficacité des huiles essentielles dépend de plusieurs facteurs : nature botanique, composition chimique, dose utilisée, type de test et interactions éventuelles entre les composés. Contrairement à certaines données de la littérature suggérant des effets synergiques dans les mélanges, notre étude met en évidence une possible perte d'efficacité lorsqu'elles sont combinées.

En conclusion, l'huile essentielle de romarin se distingue par son efficacité insecticide par inhalation, tandis que la citronnelle agit essentiellement comme répulsif. Ces observations ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement de biopesticides à base de plantes, dans une optique de lutte intégrée contre les ravageurs des denrées stockées.

Pour approfondir ces travaux, nous proposons les pistes suivantes :

- Tester l'efficacité de ces huiles essentielles sur les autres stades de développement de *T. confusum* (œufs, larves, nymphes), et évaluer leur action sur d'autres espèces d'insectes ravageurs.

Conclusion

- Analyser finement la composition chimique des huiles pour identifier les molécules actives responsables des effets observés.
- Évaluer l'impact des huiles sur la qualité nutritionnelle et technologique des denrées traitées.
- Réaliser des essais à plus grande échelle, dans des conditions proches du terrain, afin de valider leur efficacité, leur stabilité et leur innocuité.

Références bibliographiques

1. **Abahri, H. (2016).** Toxicité de deux huiles essentielles de romarin à l'égard d'un insecte ravageur des grains stockés, *Tribolium confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae). Mémoire de Master en biologie des organismes et des populations, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 39 p.
2. **Ainane, A., Benhimaa, R., Khammouri, F., Elkouali, M., Talbi, M., Abba, E. H., Cherroud, S., & Ainane, T. (2019).** Composition chimique et activité insecticide de cinq huiles essentielles: *Cedrus atlantica*, *Citrus limonum*, *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis* et *Syzygium aromaticum*. Proceedings BIOSUNE'1 – 2018. Université Hassan II Mohammedia et Université Sultan Moulay Slimane.
3. **Anonyme. (2020).** *Salvia rosmarinus*. Jardin botanique du Missouri. <http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?kempercode=b968>
4. **Assadpour, E., Karaça, A. C., Fasamanesh, M., AkhavanMahdavi, S., Shariat-Alavi, M., Feng, J., Kharazmi, M. S., Rehman, A., & Jafari, S. M. (2023).** Application of essential oils as natural biopesticides; recent advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(1), 1–21.
5. **Bazi, I., & Belhacel, K. (2023).** Étude de l'efficacité de trois huiles essentielles: La menthe poivrée (*Mentha piperita* L.), la marjolaine à coquilles (*Origanum majorana* L.) et la sauge sclarée (*Salvia sclarea* L.) à l'égard de *Tribolium confusum* (Coleoptera:Tenebrionidae). Mémoire de master en biologie animale, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 62 p.
6. **Belaiath, A. (2022).** Bioactivité de deux extraits de plantes spontanées sur un ravageur de denrées stockées. Mémoire de master en biologie végétale appliquée , Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 46p.
7. **Belaifa, C., & Sadaoui, H. (2018).** Étude de l'activité insecticide des huiles essentielles de *Thymus pallezens* (de Noé.) et *Cymbopogon citratus* (Stapf.) contre deux coléoptères de produits entreposés *Sitophilus zeamais* (Motschulsky.) et *Tribolium confusum* (Duval). Mémoire de Master en entomologie appliquée, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj, Algérie, 47 p.
8. **Belouaer, R., & Selahdja, A. (2020).** Synthèse bibliographique sur les méthodes de lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de master en protection des cultures , Université de Bordj Bou Arréridj, Algérie, 26 p .
9. **Benazzeddine, S. (2010).** Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilus oryzae* et *Tribolium confusum*. Mémoire d'ingénieur, École Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach, Algérie, 89 p.

10. **Bessaoud, O. (2018).** L'Algérie et le marché des céréales. Communication présentée à la session « Géostratégies alimentaires en Méditerranée : L'enjeu céréalier », Section 10, Économie et politique, Académie d'agriculture de France.
11. **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.
12. **Bourgeois, I. (2007).** Le grand livre des plantes aromatiques. Rustica éditions, 191p, Paris.
13. **Bousbia, N. (2011).** Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger. 128p.
14. **Bouzraa, H., Bessala-Bouzraa, M., & Labed, N. (2019).** Repellent and fumigant toxic potential of three essential oils against *Ephesia kuehniella*. *Biosystems Diversity*, 27(4), 349–353.
15. **Bucher, G. (2017).** Tribolium. In Reference module in life sciences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.01216-4>
16. **Camara, A. (2009) :** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (coleoptera:curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse de doctorat en protection des cultures, U.N.I.V. Québec, Montréal. 154 p.
17. **Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018).** Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, 2018, Article ID 6906105. <https://doi.org/10.1155/2018/6906105>
18. **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.
19. **Ccancapa, A., Masiá, A., Navarro-Ortega, A., Picó, Y., & Barceló, D. (2016).** Pesticides in the Ebro River basin: Occurrence and risk assessment. *Environmental Pollution*, 211, 414–424.
20. **Chemam, F., Boutebal, H. (2022).** Etude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*). Mémoire de fin d'études en microbiologie appliquée. Université Saad Dahlab – Blida 1, Algérie, 33 p.

21. **Commission canadienne des grains. (2019).** Tribolium brun de la farine. <https://grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/gestion/identification-insectes/insectes-ravageurs-primaires/tribolium-brun-farine.html>.
22. **Couderc V. L., 2001.** Toxicité des huiles essentielles, thèse de Doctorat en pharmacologie Université Paule-Sabatier de Toulouse, France, 59p.
23. **Couic-Marinier, F., & Lobstein, A. (2013).** Composition chimique des huiles essentielles. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(525), 22–25.
24. **Dagnelie, P. (1975).** Théorie et méthodes statistiques : Applications agronomiques (Vol. 2). Gembloux, Belgique : Presses agronomiques de Gembloux.
25. **Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011).** Pesticide exposure, safety issues, and riskassessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>.
26. **De Billerbeck V.G., Roues C., Vanierie P et Marquier P., (2002).** Activité antibactérienne et antifongique de produits à base d'huiles essentielles. *Revue hygiène*, 10(3): P 248- 254.
27. **Deans S.G. Ritchie G., 1987-** Antibacterial properties of plant essential oils. *International Journal of Food Microbiology*, 5 (2): 165-180.
28. **Dellinger, T. A., & Day, E. (2021).** Flour and grain beetles (ENT-469). Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech. [https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/3104/3104-1577/ENTO-469].
29. **Demirel, N., Sener, O., Arslan, M., Uremis, I., Uluc, F. T., & Cabuk, F. (2009).** Toxicological responses of confused flour beetle, *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera:Tenebrionidae) to various plant essential oils. *Asian Journal of Chemistry*, 21, 6403–6410.
30. **Dolobel A. & Tran M. 1993.** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans Les régions chaudes, Paris : ORSTOM, Faune tropicale 32, 425p.
31. **Drew, B. T., González-Gallegos, J. G., Xiang, C. L., Kriebel, R., Drummond, C. P., Walker, J. B., & Sytsma, K. J. (2017).** *Salvia* united: The greatest good for the greatest number. *Taxon*, 66, 133-145. <https://doi.org/10.12705/661.7>
32. **Ducom, P. (1982) :** La protection phytosanitaire des grains après récolte. *Rev. Phytoma. Def. Cult.*, 133:32-37.

33. **El-Guedoui, R. (2003).** Extraction des huiles essentielles du romarin et du thym. Comportement insecticide de ces deux huiles sur *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera-Bostrychidae). Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique, Algérie, 76 p.
34. **Endrias, A. (2006).** Bio-raffinage de plantes aromatiques et médicinales appliqué à l'*hibiscus sabdariffa* L. et l'*Artemisia annua*. Thèse de Doctorat, Toulouse, France, p171.
35. **Fattorini, S. (2000).** Dispersal, vicariance and refuges in the *Anatolian pimeliinae* (Coleoptera, Tenebrionidae): Remarks on some biogeographical tenets. *Biogeographia*, XXI, 1–45.
36. **Haddou, F., & Hammouche, I. (2012).** Extraction de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* L. et valorisation des eaux de distillation. Mémoire de fin d'études. École Nationale Polytechnique, Département de Génie Chimique, Algérie. 89 p.
37. **Haffari, F., Boualem, M., Bergheul, S., & Merzoug, A. (2022).** Infestation and growth of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) on two varieties of local durum wheat: Nutritional value and varietal susceptibility, bioRxiv.
38. **Ho, F.K. (1969).** Identification of pupae of six species of *Tribolium* (Coleoptera; Tenebrionidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 62, 1223-1237.
39. **Idjeri, L. (2018).** Toxicité de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis*) sur les adultes de *Tribolium confusum*. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 24 p.
40. **Idrees, M., Naeem, M., Khan, M. N., Aftab, T., Khan, M. M. A., & Moinuddin. (2012).** Alleviation of salt stress in lemon grass by salicylic acid. *Protoplasma*, 249(3), 709–720. <https://doi.org/10.1007/s00709-011-0314-1>
41. **Isman, M. B. (2020).** Bioinsecticides based on plant essential oils: A short overview. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 75 (7-8), 179-182.
42. **Javadzadeh, M., Sheikh Garjan, A. & Hosseini-Gharalari. A. (2017).** Susceptibility of Different Populations of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) to Malathion (EC 57%) in Flour Mills of Iran. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*, 52(1), 111-116.
43. **Kaci, H. (2016).** Activité insecticide de la combinaison des huiles essentielles vis-à-vis de *Tribolium confusum* (Duval, 1868) (Coleoptera : Tenebrionidae). Mémoire de Master, École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), El Harrach, Algérie, 75 p.

44. **Kavallieratos, N. G., Andrić, G., PražićGolić, M., Nika, E. P., Skourti, A., & Papanikolaou, P. E. (2020).** Biological features and population growth of two South eastern European *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) strains. *Insects*, 11(4), 218.
45. **Khellaf, A., & Kermiche, A. (2020).** Les insectes ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie, 62p.
46. **Kheloul, L. (2021).** Étude de la sensibilité à l'action de quelques huiles essentielles sur *Tribolium confusum* Duval (Coleoptera : Tenebrionidae), un insecte ravageur des denrées alimentaires entreposées. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 131p.
47. **Kim, K.-H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017).** L'exposition aux pesticides et ses effets sur la santé humaine. *Science de l'environnement total*, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>.
48. **Kouassi, F. (2024).** Le riz est une céréale de la famille des Poacées .23 p.
49. **Lale, N.E.S. & Vidal, S. (2003):** Simulation studies on the effects of solarheat on egg laying, development and survival of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus subinnotatus* (Pic) in stored bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verdcourt. *J. Stored Prod. Res.* 39, 447-458.
50. **Larbi, M., & Aït-Oufroukh, M.-S. (2024).** 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). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 40 p.
51. **Lepesme P., 1944.** Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed. Paul le chevalier, Paris. 335p.
52. **Madjour, S. (2014).** Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne d'une labiée *Rosmarinus officinalis* . Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 68 p.
53. **Martynov, V. O., Titov, O. G., Kolombar, T. M., & Brygadyrenko, V. V. (2019).** Influence of essential oils of plants on the migration activity of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biosystems Diversity*, 27(2), 177–185. <https://doi.org/10.15421/011924>
54. **McDonald, L. L., Guy, R. H., & Speirs, R. D. (1970).** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored product insects (Marketing Research Report No. 882). U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. <https://naldc.nal.usda.gov/catalog/CAT87201806>.

55. **Mekhloufi, S. H. B. (2024).** Étude des huiles essentielles de la plante aromatique citronnelle de la région d'Ouargla. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 56p.
56. **Messaoudene H., & Mouhou, N. (2017).** Etude de la toxicité des huiles essentielles contre les ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Bejaia, Algérie, 35p.
57. **Ngamo, L. S. T., & Hance, T. (2007).** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura*, 25(4), 215–220.
58. **Ougaida, R., & Fethi, Z. (2018).** Étude comparative des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. récoltées dans deux régions différentes (Blida et Cherrhell. Mémoire de Master, Université Saad Dahlab de Blida 1, Algérie, 67p.
59. **Rajkumar, V., Gunasekaran, C., Paul, C. A., & Dharmaraj, J. (2020).** Development of encapsulated peppermint essential oil in chitosan nanoparticles: Characterization and biological efficacy against stored-grain pest control. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 170, 104679. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104679>
60. **Rameau J-C., Dumé G. (2008).** « Flore forestière française : Région méditerranéenne » Edition Forêt privée française ; pp 897.
61. **Regnault-Roger, C. (2002).** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième millénaire ? In C. Regnault-Roger, B. J. R. Philogène, & C. Vincent (Eds.), *Biopesticides d'origine végétale* (pp. 19–40). Lavoisier Tec & Doc.
62. **Saeidi, M., Moharramipour, S., (2013).** Insecticidal and repellent activities of *Artemisia khorassanica*, *Rosmarinus officinalis* and *Mentha longifolia* essential oils on *Tribolium confusum*. *J. CropProt.* 2, 23–31.
63. **Semsar, Y. (2013).** Effet insecticide de l'huile végétale d'argan (*Argania spinosa*) à l'égard de deux insectes ravageurs du blé. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 58 p .
64. **Sener, O., Arslan, M., Demirel, N., & Uremis, I. (2009).** Insecticidal effects of some essential oils against the confused flour beetle (*Tribolium confusum* du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae) in stored wheat. *Asian Journal of Chemistry*, 21(5), 3995–4000.
65. **Shah, G., Shri, R., Panchal, V., Sharma, N., Singh, B., & Mann, A. S. (2011).** Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, Stapf (Lemongrass). *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology&Research*, 2(1), 3–8. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.79796>

66. **Shanholtzer, S., & Lumsden, A. S. (2012).** Using flour beetles (*Tribolium confusum*) in population growth studies. Tested studies for laboratory teaching, proceedings of the association for biology laboratory education, 33, 195-207.
67. **Stapf, O. (1906).** *Cymbopogon citratus*. In Flora of Tropical Africa (Vol. 7, p. 343). London: L. Reeve & Co.
68. **Tirakmet, S. (2015).** Étude comparative entre l'activité insecticide des huiles essentielles extraites à partir de deux espèces de la famille des Astéracées récoltées dans la région de Makouda et l'activité insecticide d'un pesticide organique de synthèse sur le ravageur secondaire du blé tendre stocké *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 78 p
69. **Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014).** Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. Journal of Food Science, 79 (7), R1231-R1249.
70. **Tripathi, A. K., Upadhyay, S., Bhuiyan, M., & Bhattacharya, P. R. (2009).** A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy, 1(5), 052–063.
71. **Zahi, M. E. H., Mouhouche, F., & Hazzit, M. (2021).** Insecticidal activity of three essential oils combined to mineral substances against *Tribolium confusum* Duval 1868 (Coleoptera: Tenebrionidae). Revue Agrobiologia, 11(1), 2336-2345
72. **Zaka, S. M., Iqbal, N., Saeed, Q., Akrem, A., Batoo, M., Khan, A. A., Anwar, A., Bibi, M., Azeem, S., Rizvi, D.-E.-N., Bibi, R., Khan, K. A., Ghramh, H. A., Ansari, M. J., & Latif, S. (2019).** Toxic effects of some insecticides, herbicides, and plant essential oils against *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). Saudi Journal of Biological Sciences, 26(7), 1767–1771. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.05.017>.
73. **Zerrouki, K. (2013).** Effet biocide de deux plantes spontanées *Rosmarinus officinalis* (Linné, 1753) et *Inula viscosa* (L. Aiton, 1973) sur un ravageur des denrées stockées *Tribolium confusum* (Duval, 1868) (Coleoptera: Tenebrionidae). Mémoire de Master, Université Saad Dahleb de Blida I, Algérie, 79 p.
74. **Zhong, B. (2012).** *Tribolium* 102: Sexing Flour Beetles. Tribute to the *Tribolium*.

Résumé

Face aux effets néfastes des insecticides chimiques, cette étude vise à évaluer l'effet insecticide par inhalation et l'activité répulsive des huiles essentielles de romarin (*S. rosmarinus*) et de citronnelle (*C. citratus*) sur les adultes de *T. confusum* en conditions de laboratoire.

Les tests d'inhalation ont montré que l'huile essentielle de romarin présente une activité biocide très significative, avec un taux de mortalité atteignant 100 % après 24 h à la dose la plus élevée (20 µl). À l'inverse, l'huile de citronnelle n'a induit aucune mortalité, quel que soit le dosage. Le mélange des deux huiles (17 µl de romarin + 50 µl de citronnelle) a entraîné une faible mortalité (13,33 %), suggérant un effet antagoniste réduisant l'efficacité du romarin.

Les tests de répulsion ont révélé que la citronnelle est plus répulsive avec un taux moyen de 59,17%, tandis que le romarin montre une activité plus faible (40 %). Le mélange des huiles présente une répulsion intermédiaire (43,33 %).

En conclusion, le romarin et la citronnelle représentent des alternatives prometteuses pour la lutte contre *T. confusum* : le premier comme bioinsecticide puissant, la seconde comme répulsif efficace. Une approche combinée pourrait optimiser leur utilisation, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer leur stabilité et leur applicabilité à grande échelle.

Mots-clés : *T. confusum*, huiles essentielles, bioinsecticide, romarin, citronnelle, répulsion, inhalation.

Abstract

Given the adverse effects of chemical insecticides, this study aimed to evaluate the inhalation toxicity and repellent activity of rosemary essential oil (*S. rosmarinus*) and lemongrass essential oil (*C. citratus*) against adult *T. confusum* under laboratory conditions.

In inhalation tests, rosemary oil exhibited a highly significant biocidal effect, with 100% mortality after 24 hours at the highest dose (20 µl). In contrast, lemongrass oil caused no mortality at any tested concentration. A mixture of both oils (17 µl rosemary + 50 µl lemongrass) showed a moderate lethal effect (13.33% mortality), suggesting antagonistic interactions that reduce rosemary's efficacy.

Repellency assays demonstrated that lemongrass oil was highly repellent (mean repellency rate: 59, 17%), whereas rosemary oil had a lower repellent effect (40%). The mixture showed intermediate repellency (43.33%).

In conclusion, rosemary and lemongrass represent promising alternative control agents against *T. confusum*: the former as a potent bioinsecticide, the latter as an effective repellent. A combined approach could enhance pest management, but further studies are needed to assess their stability and large-scale applicability.

Keywords: *T. confusum*, essential oils, bioinsecticide, rosemary, lemongrass, repellency, Inhalation.