



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ÉCOLOGIE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Mastère Académique en
Science de la Nature et de la Vie

Spécialité Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

Effet comparé du potentiel insecticide de deux huiles essentielles d'*eucalyptus*

Présenté par:

- *BRAKNI Meriem*
- *SERSAB Ilham*

Devant le jury composé de:

- | | | | |
|---------------------|------------|---------------|--------|
| • Mme REMINI L. | M.C.B | Présidente | USDB 1 |
| • Mme ALLAL L. | Professeur | Examinatrice | USDB 1 |
| • Mr MOUSSAOUI K. | M.A.A | Promoteur | USDB 1 |
| • Mme BABA-AISSA K. | M.A.A | Co-promotrice | USDB 1 |

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2024 / 2025

Remerciements

Nous remercions Allah Le Tout-Puissant de nous avoir permis d'accomplir ce travail.

*Nous tenons à remercier **Madame REMINI L.**, présidente du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire.*

*Nous remercions **Monsieur MOUSSAOUI K.**, promoteur, pour son encadrement et son suivi tout au long de ce travail.*

*Nous remercions **Madame BABA AISSA K.**, Co-promotrice, pour son accompagnement durant cette étude.*

*Nous remercions **Madame ALLAL L.**, examinatrice, pour sa participation à l'évaluation de ce travail.*

Nous remercions également tous les enseignants de la spécialité, ainsi que toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace (SERSAB Ilham)

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

Ma tendre mère et mon très cher père mon binôme Mira ma chère tante et mon fiancé.

Mes meilleurs amis et mes cousines : Meriem, Asma, Rania, Amira, Mounia, Imene

Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

A Toute ma famille

Tous ceux qui m'aiment et que j'aime

Dédicace (BRAKNI Meriem)

Tout d'abord, je remercie Allah Le Tout Puissant de m'avoir accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents, pour leur amour, leur soutien constant et leurs sacrifices, qui m'ont permis d'avancer à chaque étape de ma vie.

Mes deux frères, Abderezak et Abdellah, pour leur présence, leur encouragement et leur confiance en moi.

Ma sœur Zineb, pour son soutien moral et ses mots réconfortants dans les moments difficiles.

Mon binôme Ilham, pour sa participation à ce travail.

Et à moi-même, pour ma persévérance et les efforts fournis tout au long de ce parcours.

Effet comparé du potentiel insecticide de deux huiles essentielles d'*eucalyptus*

Résumé

À travers cette étude, nous avons évalué dans le temps l'activité insecticide de deux huiles essentielles formulées, l'une d'*Eucalyptus globulus* et l'autre d'*Eucalyptus radiata* à différentes doses et différents modes d'application sur les adultes de *Tribolium castaneum*, un ravageur important des denrées stockées.

L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation à partir de feuilles d'*Eucalyptus radiata* offrant un rendement de 0,25 %. L'analyse chromatographique par (GC-MS) a révélé que le 1,8-cinéole est le composé principal (70 %), accompagné de plusieurs monoterpènes comme l' α -pinène, le limonène, le sabinène, le γ -terpinène et le terpinen-4-ol.

Les résultats de la mortalité corrigée montrent que la bioformulation d'*E. radiata* provoque 100 % de mortalité pour toutes les doses et dans tous les modes d'application dès 24 h, tandis que celle d'*E. globulus* présente une efficacité plus modérée, dépendante de la dose et du mode d'application. En effet, à la dose D2, les mortalités corrigées atteignent 85,8 % par contact direct, 90,23 % par contact résiduel et 91,55 % par inhalation ; à la dose D3, elle induit seulement 67,6 % de mortalité par contact direct, 67,17 % par contact indirect et 69,23 % par inhalation.

Les analyses statistiques (ANOVA) ont majoritairement montré un effet dose significatif, notamment pour *E. globulus* ($p=0,003$; $P<0,05$) en contact direct ; ($p=0,004$; $P<0,05$) en contact résiduel et ($p=0,007$; $P<0,05$) en inhalation. Pour *E. radiata*, un effet dose moins significatif est observé en contact indirect ($p=0,03$; $P<0,05$) et en inhalation ($p=0,03$; $P<0,05$). Les valeurs de DL_{50} (0,27 g/ml) en contact direct et (0,26 g/ml) en inhalation et de TL_{50} (5,04 h) et (5,67 h) respectivement pour les mêmes modes ont mis en évidence une toxicité plus élevée et une action plus rapide d'*E. radiata* comparée à *E. globulus* qui affiche les valeurs respectives de (6,38 h) et (6,12 h).

Ces résultats indiquent que les modes d'application par contact direct et par inhalation se sont révélés les plus efficaces et que la bioformulation d'*E. radiata* constitue une bonne alternative pour la protection des denrées stockées.

Mots clés : *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus radiata*, Huiles essentielles, toxicité, *Tribolium castaneum*.

Comparative Insecticidal Activity of Two *Eucalyptus* Essential Oils

Abstract

In this study, we evaluated the insecticidal activity of two formulated essential oils, one from *Eucalyptus globulus* and the other from *Eucalyptus radiata*, at different doses and through different application methods on adult *Tribolium castaneum*, a major pest of stored products.

The essential oil was extracted by hydrodistillation from *Eucalyptus radiata* leaves, yielding 0.25%. Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) analysis revealed that 1,8-cineole was the main compound (70%), accompanied by several monoterpenes such as α -pinene, limonene, sabinene, γ -terpinene, and terpinen-4-ol.

The corrected mortality results show that the bioformulation of *E. radiata* caused 100% mortality at all doses and across all application methods within 24 hours, while that of *E. globulus* showed more moderate effectiveness, depending on the dose and application method. At dose D2, corrected mortalities reached 85.8% by direct contact, 90.23% by residual contact, and 91.55% by inhalation. At dose D3, it induced only 67.6% mortality by direct contact, 67.17% by indirect contact, and 69.23% by inhalation. Statistical analyses (ANOVA) mostly revealed a significant dose effect, particularly for *E. globulus* ($p = 0.003$; $P < 0.05$) in direct contact, ($p = 0.004$; $P < 0.05$) in residual contact, and ($p = 0.007$; $P < 0.05$) via inhalation. For *E. radiata*, a less pronounced but still significant dose effect was observed in indirect contact ($p = 0.03$; $P < 0.05$) and inhalation ($p = 0.03$; $P < 0.05$). The LD_{50} values—0.27 g/ml for direct contact and 0.26 g/ml for inhalation—and the TL_{50} values—5.04 h and 5.67 h respectively—highlight a higher toxicity and faster action of *E. radiata* compared to *E. globulus*, which showed corresponding TL_{50} values of 6.38 h and 6.12 h.

These results indicate that direct contact and inhalation were the most effective application methods, and that the *E. radiata* bioformulation represents a good alternative for the protection of stored products.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus radiata*, essential oils, toxicity, *Tribolium castaneum*.

التأثير المقارن للقدرة الحشرية لزيتين أساسيتين من *Eucalyptus*

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية الحشرية لزيتين أساسيتين مُحضرتين، الأولى مستخلصة من *Eucalyptus globulus* والثانية من *Eucalyptus radiata*، وذلك وفق جرعات مختلفة وبعتماد عدة أنماط من التطبيق، على الحشرات الكاملة من نوع *Tribolium castaneum*، الذي يُعدّ من أهم الآفات التي تصيب المواد الغذائية المخزّنة.

تم الحصول على الزيت الأساسي من *Eucalyptus radiata* عن طريق تقنية *hydrodistillation*، وقد بلغ مردود الاستخلاص 0.25%. أما التحليل الكروماتوغرافي بواسطة (GC-MS) فقد أظهر أن المركب الأساسي هو 1,8-cinéole بنسبة 70%، إضافة إلى مجموعة من *monoterpenes* من بينها: *α-pinène*، *limonène*، *γ-terpinène*، *sabinène*، و *terpinen-4-ol*.

أبرزت نتائج الوفاة المصححة أن *la bioformulation* المشتقة من *E. radiata* أدت إلى نسبة وفاة بلغت 100% في جميع الجرعات وأنماط التطبيق خلال 24 ساعة، بينما أظهرت تلك المحضرة من *E. globulus* فعالية أقل، تتفاوت حسب الجرعة وطريقة التطبيق. ففي الجرعة D2، بلغت نسب الوفاة المصححة 85.8% عبر التماس المباشر، و90.23% عبر التماس غير المباشر، و91.55% عن طريق الاستنشاق؛ أما في الجرعة D3، فانخفضت هذه النسب إلى 67.6%، 67.17%، و69.23% على التوالي.

وقد بيّنت التحاليل الإحصائية (ANOVA) وجود تأثير دالّ للجرعة، خصوصاً في حالة *E. globulus*، سواء في التماس المباشر ($p=0.003$ ؛ $P<0.05$)، أو التماس غير المباشر ($p=0.004$ ؛ $P<0.05$)، أو الاستنشاق ($p=0.007$ ؛ $P<0.05$). أما في حالة *E. radiata*، فقد لوحظ تأثير أقل دلالة في التماس غير المباشر ($p=0.03$ ؛ $P<0.05$) والاستنشاق ($p=0.03$ ؛ $P<0.05$).

أما القيم المحسوبة لـ DL_{50} (0.27 g/ml) عبر التماس المباشر و TL_{50} (5.04) عبر الاستنشاق، و (h 5.67) على التوالي، فقد أبرزت فعالية سميّة أعلى وسرعة تأثير أكبر لزيت *E. radiata* مقارنةً بزيت *E. globulus*، الذي سجّل قيماً أعلى بلغت (h 6.38) و (h 6.12).

في ضوء هذه النتائج، يتبيّن أن طريقتي التطبيق بالتلامس المباشر وبالاستنشاق هما الأكثر فعالية، وأن *la bioformulation* المشتقة من *E. radiata* تمثّل بديلاً واعدّاً في مجال حماية المواد المخزّنة من الآفات الحشرية.

كلمات المفتاح: *Eucalyptus globulus*، *Eucalyptus radiata*، الزيوت الأساسية، السمية، *Tribolium castaneum*.

Liste des Figures

Figure 1.	Morphologie et cycle de développement biologique de <i>Tribolium castaneum</i>	6
Figure 2.	Diversité des structures de sécrétion des huiles essentielles chez les plantes....	10
Figure 3.	Répartition géographique de l'Eucalyptus à travers le monde	14
Figure 4.	Aspect général des <i>Eucalyptus</i>	16
Figure 5.	Feuilles de d'eucalyptus commun	17
Figure 6.	Fleurs d'eucalyptus commun	18
Figure 7.	Carte de localisation régionale de Meliana	19
Figure 8.	Diagramme ombrothermique de la région de Méliana (Aïn Defla)	20
Figure 9.	Élevage de <i>Tribolium castaneum</i>	21
Figure 10.	Récolte de la partie aérienne d'Eucalyptus radiata	22
Figure 11.	Dispositif d'extraction par hydrodistillation	23
Figure 12.	Bioformulations liquides à base d'huiles essentielles d'Eucalyptus radiata et <i>E. globulus</i>	24
Figure 13.	Différentes doses des deux huiles essentielles formulées	25
Figure 14.	Application des traitements par mode contact direct	26
Figure 15.	Application des traitements par mode contact indirect	27
Figure 16.	Application des traitements par inhalation	28
Figure 17.	Courbe de l'analyse par Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (GC-MS)	30
Figure 18.	Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité observée du <i>T. castaneum</i> par contact direct	32
Figure 19.	Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par contact direct	32

Figure 20.	Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité observée du <i>T. castaneum</i> par contact résiduel	33
Figure 21.	Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par contact résiduel	34
Figure 22.	Courbes de la mortalité observée du <i>T. castaneum</i> par inhalation	35
Figure 23.	Courbes de la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par inhalation	35
Figure 24.	Courbes de l'effet dose à 24 h des deux huiles essentielles formulées par contact direct	36
Figure 25.	Courbes de l'effet dose à 24 h des deux huiles essentielles formulées par contact indirect	37
Figure 26.	Courbes de l'effet dose à 24 h des deux huiles essentielles formulées par inhalation	37
Figure 27.	Histogramme de comparaison entre les modes d'application des deux huiles essentielles formulées à dose fixe à 24 h	38
Figure 28.	L'effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par contact direct	40
Figure 29.	L'effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par contact indirect	42
Figure 30.	L'effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i> par inhalation	43
Figure 31.	Effet du mode d'application des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du <i>T. castaneum</i>	45

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification taxonomique du genre <i>Tribolium</i>	5
Tableau 2 : Classification botanique du genre <i>Eucalyptus</i>	16
Tableau 3 : Tableau récapitulatif de la préparation des différentes doses	25
Tableau 4 : Résultats des analyses de type ANOVA par contact direct	39
Tableau 5 : Résultats des analyses de type ANOVA par contact indirect	41
Tableau 6 : Résultats des analyses de type ANOVA par inhalation	42
Tableau 7 : Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) des mortalités corrigées	44
Tableau 8 : Les valeurs de la DL_{50} des deux bioformulations selon le mode d'application ...	46
Tableau 9 : Les valeurs de la TL_{50} des deux bioformulations selon le mode d'application ...	46

Liste des abréviations

% :	Pour cent (pourcentage)
C° :	Degré Celsius
DL₅₀ :	Dose létale 50
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
G :	Gramme
H :	Heure
HE :	Huile essentielle
KG :	Kilogramme
L :	Litre
MA :	Matière active
MC (%) :	Mortalité corrigée
MI :	Millilitre
MO (%) :	Mortalité observée
P :	Probabilité
RD HE (%) :	Rendement en huile essentielle (en pourcentage)
TL₅₀ :	Temps léthal 50

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
Partie 1 : Les denrées stockées et leurs insectes ravageurs	3
I.1.1. Importance des denrées stockées	3
I.1.2. Les insectes ravageurs des denrées stockées	4
I.1.2.1. Le genre <i>Tribolium</i>	4
I.1.2.2. Biologie et cycle de vie	5
I.1.3. Impacts des infestations de <i>Tribolium</i>	6
I.1.4. Méthodes conventionnelles de lutte	7
I.1.5. Résistance aux insecticides chimiques	8
Partie 2 : Les biopesticides	8
I.2.1. Importance des biopesticides	9
I.2.2. Les huiles essentielles	10
I.2.2.1. Définition	10
I.2.2.2. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	11
I.2.2.3. Propriétés biologiques des huiles essentielles	12
I.2.3. Formulation des biopesticides	12
Partie 3 : Le genre <i>Eucalyptus</i> (La plante étudiée)	13
I.3.1. Historique et origine de la plante	13
I.3.2. Introduction de l' <i>Eucalyptus</i> en Algérie et ses usages	14
I.3.3. Description du genre <i>Eucalyptus</i>	15
I.3.4. Classification botanique d' <i>Eucalyptus</i>	16
I.3.5. Caractéristiques morphologiques	16

I.3.5.1. Les feuilles	16
I.3.5.2. Les fleurs	17
I.3.5.3. Les fruits et les graines	18
Chapitre II : Matériel et Méthodes	19
II.1. Présentation de la zone de récolte du matériel végétal	19
II.1.1. Meliana Aïn Defla	19
II.1.2. Synthèse climatique	20
II.2. Lieu de l'expérimentation	20
II.3. Matériel utilisé	20
II.3.1. Matériel de laboratoire	20
II.3.2. Matériel biologique	21
II.3.2.1. Matériel animal	21
II.3.2.2. Matériel végétal	21
II.4. Extraction de l'huile essentielle	22
II.5. Méthodes	23
II.5.1. Estimation du rendement en huile essentielle	23
II.5.2. Analyse chromatographique	23
II.5.3. Formulation des bioproduits et Préparation des doses	24
II.6. Les tests de toxicité	25
II.6.1. Test de toxicité par contact direct	26
II.6.2. Test de toxicité par contact indirect (résiduel)	27
II.6.3. Test de toxicité par inhalation	27
II.7. Analyse des données	28
II.7.1. Mortalité observée	28
II.7.2. Mortalité corrigée	28
II.7.4. Temps létaux 50	29
II.7.5. Analyse statistique	29
Chapitre III: Résultats	30
III.1. Rendement d'extraction de l'huile essentielle <i>d'Eucalyptus radiata</i>	30
III.2. Analyse chromatographique	30
III.3. Mortalité observée (MO %) et mortalité corrigée (MC %)	31
III.4. Évolution temporelle de l'effet du mode d'application des deux d'huiles essentielles formulées sur la mortalité du <i>Tribolium castaneum</i>	31

III.4.1.1. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par contact direct.	31
III.4.2. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par contact indirect (résiduel)	33
III.4.3. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par inhalation	34
III.5. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> à 24h	35
III.5.1. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> à 24 h par contact direct	36
III.5.2. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> à 24 h par contact indirect (Résiduel)	36
III.5.3. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du <i>Tribolium castaneum</i> à 24 h par inhalation	37
III.6. Comparaison entre les différents modes d'application des deux huiles essentielles formulées à dose fixe à 24h	38
III.7 Analyses statistiques	39
III.7.1 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée par contact direct	39
III.7.2 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles sur la mortalité corrigée par contact indirect	41
III.7.3 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles sur la mortalité corrigée par inhalation	42
III.7.4 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée selon le mode d'application	44
III.8. Détermination de la DL50 et de la TL50	45
Chapitre IV Discussion	48
Conclusion	52
Références bibliographiques	

Introduction générale

Introduction générale

L'agriculture moderne fait face à plusieurs problèmes importants, notamment la protection des aliments stockés contre les insectes nuisibles. Ces insectes apparaissent après la récolte et causent de grosses pertes en abîmant les produits agricoles conservés (**Isman, 2020**). Parmi les espèces les plus connues, on trouve des coléoptères comme *Sitophilus granarius* et *Tribolium castaneum*, ainsi que des lépidoptères comme *Plodia interpunctella*, qui attaquent les céréales, les légumineuses et d'autres aliments (**Regnault-Roger et al., 2012**). Chaque année, ces attaques provoquent des pertes économiques importantes pour les agriculteurs et les industries, menaçant ainsi la sécurité alimentaire (**FAO, 2015**).

Pour limiter ces dégâts, les insecticides chimiques sont très utilisés dans le monde entier. Ces produits synthétiques ont permis de mieux protéger les stocks alimentaires en éliminant efficacement les insectes (**Pavela, 2015**). Cependant, leur utilisation fréquente et prolongée pose de nombreux problèmes. Plusieurs recherches ont montré que ces produits peuvent être dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement (**Benelli et al., 2016**), car ils restent longtemps dans la nature, peuvent contaminer les aliments et tuer des espèces non ciblées (**Aktar et al., 2009**). De plus, une exposition prolongée à ces produits peut causer des maladies chroniques ou des troubles neurologiques chez les humains (**Nerio et al., 2010**).

Un autre problème provenant de la lutte chimique, est que certains insectes deviennent résistants aux insecticides avec le temps. Cela veut dire qu'ils s'adaptent et que les produits deviennent moins efficaces (**Batish et al., 2008**). Pour compenser cette perte d'efficacité, il faut souvent augmenter les doses, ce qui aggrave encore les impacts négatifs sur la santé et l'environnement (**Regnault-Roger et al., 2012**).

Pour toutes ces raisons, les scientifiques cherchent aujourd'hui des solutions naturelles, plus sûres et respectueuses de l'environnement (**Isman, 2020**). Parmi ces alternatives, l'utilisation des biopesticides en particulier les huiles essentielles (HE) de plantes attire beaucoup d'attention (**Pavela, 2015**). Ces huiles sont extraites de plantes aromatiques et contiennent des molécules actives, comme les monoterpènes et les sesquiterpènes, qui ont des propriétés insecticides reconnues (**Bakkali et al., 2008**).

Elles sont aussi biodégradables, moins toxiques, et agissent de manière complexe, ce qui réduit les risques de résistance chez les insectes (**Regnault-Roger et al., 2012**).

Des études ont prouvé que certaines huiles essentielles sont efficaces contre plusieurs insectes des produits stockés (**Benelli et Pavela, 2018**). Elles peuvent bloquer leur système nerveux (**Liu et al., 2016**), repousser les insectes avant qu'ils ne s'installent (**Nerio et al., 2010**) ou empêcher les larves de se développer (**Mossa, 2016**).

Dans ce domaine, les espèces du genre *Eucalyptus* sont particulièrement intéressantes (**Regnault-Roger et al., 2012**). Les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* sont largement utilisées grâce à leur composition chimique riche et leur présence dans plusieurs régions du monde (**Ali et al., 2017**).

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet insecticide de bioformulations à base d'huiles essentielles, l'une d'*Eucalyptus globulus* et l'autre d'*Eucalyptus radiata* sur un insecte nuisible très répandu dans les stocks alimentaires : *Tribolium castaneum*. (Herbst, 1797) Nous cherchons à comparer leur efficacité dans le temps selon différents modes d'application (inhalation, contact direct et effet répulsif) et différentes doses.

Cette étude soulève plusieurs questions de recherche :

Est-ce que ces bioformulations sont efficaces et présentent un effet biocide à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* ?

Le mode d'application influence-t-il leur effet insecticide ?

Est-ce que l'efficacité dépend de la dose et du temps d'exposition ?

Existe-t-il une différence significative d'efficacité entre les bioformulations à base d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* contre l'insecte cible ?

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Ce chapitre a pour objectif de poser les bases théoriques nécessaires à la compréhension de ce travail. Il commence par une présentation des insectes ravageurs des denrées stockées, avec un accent particulier sur le genre *Tribolium*, en abordant leur origine, leur biologie, ainsi que leur impact économique et sanitaire. Les différentes méthodes de lutte utilisées pour contrôler ces insectes y sont également décrites. La deuxième partie s'intéresse aux huiles essentielles, en tant qu'alternative naturelle aux insecticides conventionnels, et plus spécifiquement à celles extraites du genre *Eucalyptus*. Enfin, le chapitre se termine par quelques généralités botaniques sur les espèces d'*Eucalyptus* utilisées dans cette étude.

Partie 1 : Les denrées stockées et leurs insectes ravageurs

I.1.1. Importance des denrées stockées

Les denrées stockées, notamment les céréales, jouent un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire mondiale. Elles constituent la principale source de calories et de protéines pour une large part de la population, particulièrement dans les pays en développement où l'agriculture est un pilier économique (**WHO, 2020 ; FAO, 2021**). La gestion efficace de ces stocks permet d'assurer une disponibilité continue des aliments tout au long de l'année, de stabiliser les prix et de réduire les risques de famine (**Abdallah et al., 2019**). En Algérie, les céréales telles que le blé et l'orge représentent la base de l'alimentation et une part essentielle de la production agricole nationale, ce qui accentue l'importance d'un stockage adéquat pour prévenir les pertes post-récolte (**Mansouri et al., 2017**). Cependant, la détérioration des denrées pendant le stockage, causée notamment par des insectes ravageurs, engendre des pertes économiques significatives et menace la qualité nutritionnelle des aliments (**Throne et Phillips, 2010**).

I.1.2. Les insectes ravageurs des denrées stockées

Les insectes ravageurs des denrées stockées accompagnent l'humanité depuis l'essor de l'agriculture et du stockage des récoltes. Dès la sédentarisation des premières civilisations, la conservation des grains et des denrées alimentaires a été un défi majeur, en raison de l'apparition d'infestations par des insectes. Des traces de contamination par des insectes ont été retrouvées dans des sites archéologiques datant de l'Égypte ancienne et de la Mésopotamie, attestant que ces nuisibles étaient déjà une menace pour les réserves alimentaires **(Buckland et Sadler, 1989 ; Panagiotakopulu, 2000 ; Guedes et al., 2011)**

L'expansion du commerce international à travers les siècles a favorisé la dispersion des insectes ravageurs, en facilitant leur introduction dans de nouvelles régions via les cargaisons de céréales, de fruits secs et d'autres denrées **(Phillips et Throne, 2010)**. De nombreuses espèces de coléoptères et de lépidoptères se sont adaptées aux environnements de stockage, développant des stratégies de résistance et des cycles de vie synchronisés avec les conditions des entrepôts et des silos **(Athanassiou et al., 2019)**.

Parmi les insectes ravageurs les plus courants des denrées stockées, on retrouve plusieurs groupes majeurs. Les coléoptères, tels que les bruches (*Callosobruchu spp.*), les charançons (*Sitophilus spp.*) et les *Triboliums* ou *Triboliums* rouges de la farine (*Tribolium spp.*), sont particulièrement problématiques en raison de leur capacité à attaquer directement les grains et à causer des dégâts importants **(Rees, 2004)**. Les lépidoptères, notamment la pyrale des grains (*Sitotroga cerealella*), constituent également une menace sérieuse pour la qualité et la conservation des stocks **(Fields et White, 2002)**. Parmi ces ravageurs, le genre *Tribolium* est reconnu pour sa large distribution et son rôle significatif dans les pertes post-récolte, justifiant ainsi une étude approfondie de sa biologie et de son comportement

I.1.2.1. Le genre *Tribolium*

Le genre *Tribolium* regroupe plusieurs espèces de coléoptères, dont *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum*, qui sont parmi les insectes ravageurs les plus répandus dans les denrées stockées **(Athanassiou et al., 2019)**. Ces insectes sont

particulièrement problématiques en raison de leur capacité d'adaptation et de leur résistance aux insecticides couramment utilisés (**Campbell et al., 2019**).

Tableau 1 : Classification taxonomique du genre *Tribolium*

Rang Taxonomique	Nomenclature
Règne	<i>Animalia</i>
Embranchement	<i>Arthropoda</i>
Sous-embranchement	<i>Hexapoda</i>
Classe	<i>Insecta</i>
Ordre	<i>Coleoptera</i>
Sous-ordre	<i>Polyphaga</i>
Famille	<i>Tenebrionidae</i>
Sous-famille	<i>Tenebrioninae</i>
Tribu	<i>Triboliini</i>
Genre	<i>Tribolium</i>
Espèce	<i>Tribolium castaneum</i>

(Balachowsky, 1962 ; Haines, 1991).

I.1.2.2. Biologie et cycle de vie

Le *Tribolium* suit un cycle de développement holométabole comprenant quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte. La durée du cycle dépend des conditions environnementales, notamment la température et l'humidité, mais peut varier entre 20 et 90 jours (**Guedes et al., 2011**). Les femelles pondent entre 300 et 500 œufs directement sur les grains et autres substrats alimentaires, garantissant ainsi une prolifération rapide des populations dans les stocks infestés (**Hinton, 1945 ; Rees, 2004 ; Phillips et Throne, 2010**).

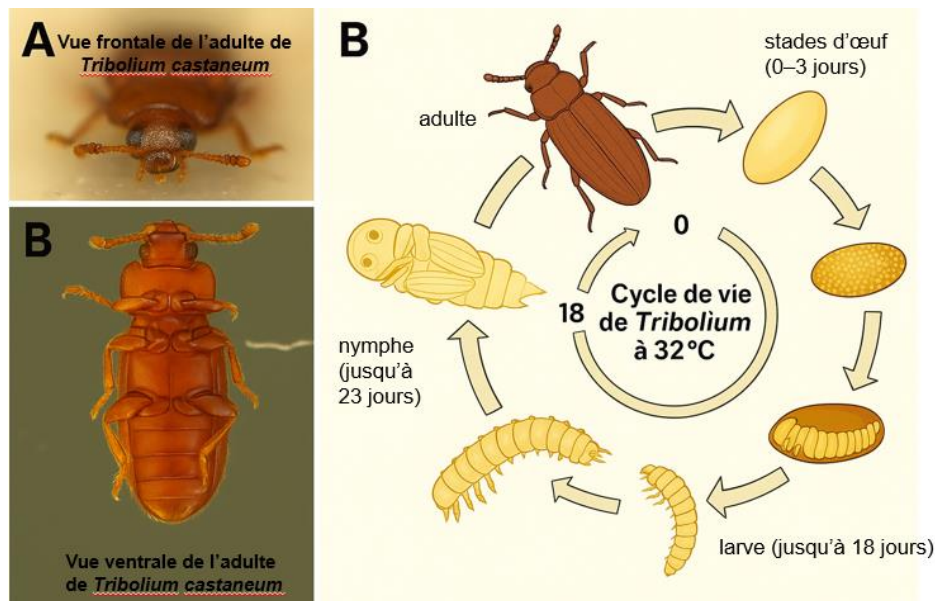


Figure 1. Morphologie et cycle de développement biologique de *Tribolium castaneum* (Guedes et al., 2011)

I.1.3. Impacts des infestations de *Tribolium*

Les infestations de *Tribolium*, notamment *T. castaneum* et *T. confusum*, entraînent des dommages importants sur les denrées stockées, tant au niveau quantitatif que qualitatif. Ces coléoptères se nourrissent des grains de farines et d'autres produits céréaliers, ce qui réduit significativement leur masse et leur valeur marchande. Les larves et les adultes creusent des galeries dans les grains, provoquant leur fragmentation, augmentant la production de poussières et accélérant leur détérioration (Athanassiou et al., 2019).

Outre ces pertes matérielles, ils dégradent également la qualité sanitaire des aliments. Les excréments, les mues et les fragments d'insectes laissent des résidus biologiques rendant les denrées impropres à la consommation humaine et animale (Phillips et Throne, 2010). De plus, ces insectes favorisent la prolifération de moisissures et de champignons toxigènes tels que *Aspergillus flavus* et *Fusarium* spp., responsables de la production de mycotoxines dangereuses comme les aflatoxines et fumonisines (Pitt et Miller, 2017).

Les pertes économiques engendrées sont lourdes pour les producteurs, transformateurs et distributeurs. Les lots infestés doivent souvent être rejetés, traités

ou détruits, ce qui entraîne des coûts supplémentaires importants (**Campbell et al., 2019**). Commercialement, la présence d'insectes ou de mycotoxines au-delà des seuils réglementaires peut bloquer les exportations, faire perdre des marchés et entraîner des sanctions réglementaires (**EFSA, 2018**). À l'échelle mondiale, les pertes post-récolte dues aux ravageurs des stocks sont estimées à environ 10 % de la production céréalière annuelle (**FAO, 2021**).

En Algérie, bien que les données spécifiques sur *Tribolium* soient limitées, les pertes post-récolte demeurent préoccupantes, notamment en raison d'infrastructures de stockage inadéquates et de conditions climatiques défavorables (**Aouissi et al., 2020**). Selon la **FAO (2019)**, les pertes post-récolte en Afrique subsaharienne peuvent atteindre 20 à 30 % pour les céréales, en grande partie à cause des infestations par les ravageurs et des mauvaises conditions de conservation.

I.1.4. Méthodes conventionnelles de lutte

La gestion des infestations de *Tribolium* repose historiquement sur un ensemble de méthodes combinant la lutte chimique, physique, biologique et intégrée. La lutte chimique reste la méthode la plus répandue dans les entrepôts et les silos. Elle repose sur l'utilisation d'insecticides de contact (comme la deltaméthrine, le chlorpyrifos-méthyl), de fumigants (phosphore d'aluminium, dioxyde de soufre), ou d'inhibiteurs de croissance (IGR) comme le méthoprène ou l'hydroprène, qui perturbent le développement des stades larvaires (**Arthur, 1996 ; Subramanyam et Hagstrum, 2000**). Ces traitements sont efficaces à court terme, mais leur usage répété a entraîné l'apparition de résistances chez diverses populations de *Tribolium*, réduisant leur efficacité (**Jagadeesan et al., 2012 ; Opit et al., 2012**).

En outre, les résidus chimiques posent des risques pour la santé humaine, les organismes non ciblés, et l'environnement (**Isman, 2006**).

La lutte physique comprend plusieurs pratiques non chimiques telles que le nettoyage régulier des installations, l'aspiration des poussières, l'aération, le contrôle de l'humidité (maintenue en dessous de 65 %), et surtout l'utilisation de températures extrêmes. Des expositions prolongées à des températures élevées (50–60 °C pendant plusieurs heures) ou basses (< -10 °C pendant plusieurs jours) permettent de tuer les

insectes à tous les stades de développement (**Fields, 2006**). Bien que respectueuses de l'environnement, ces méthodes demandent des infrastructures spécifiques (chambres thermiques, froid industriel) et peuvent être coûteuses à grande échelle.

La lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels pour réguler les populations de ravageurs. Des parasitoïdes tels que *Holepyris sylvanidis* (Hymenoptera) et des agents entomopathogènes comme *Beauveria bassiana* ou *Metarhizium anisopliae* ont montré une efficacité prometteuse contre *Tribolium castaneum* (**Athanassiou et al., 2019 ; Wakil et al., 2021**). Toutefois, leur mise en œuvre est encore limitée dans les conditions de stockage à cause des contraintes d'humidité, de température et d'exposition à la lumière, qui influencent leur survie et leur efficacité (**Athanassiou et al., 2019**).

Selon **Rees (2004)** et la **FAO (2020)**, la lutte intégrée repose sur la combinaison raisonnée de plusieurs approches, incluant la prévention, la surveillance, ainsi que les méthodes physiques, biologiques et chimiques. Elle privilégie les interventions les moins nuisibles à l'environnement et à la santé publique, tout en assurant un contrôle efficace des infestations. Par exemple, un protocole IPM peut comprendre le nettoyage régulier des entrepôts, la surveillance des insectes par piégeage phéromonal, l'utilisation de biopesticides à base d'huiles essentielles, ainsi qu'un traitement chimique ciblé uniquement lorsque les seuils de nuisibilité sont dépassés. Cette stratégie est aujourd'hui largement recommandée comme solution durable pour la gestion des ravageurs des denrées stockées.

Chaque méthode présente des avantages et des limites. Tandis que les produits chimiques offrent une action rapide mais génèrent des résistances et des résidus, les méthodes physiques et biologiques sont plus sûres, mais nécessitent un environnement contrôlé et des coûts logistiques. D'où l'importance croissante des approches intégrées combinant efficacité, durabilité et sécurité alimentaire (**FAO, 2020**).

I.1.5. Résistance aux insecticides chimiques

Jagadeesan et al., (2012) et **Holloway et al., (2016)** ont montré que *Tribolium castaneum* présente une capacité notable à développer une résistance aux

insecticides chimiques, notamment les pyréthréinoïdes et les organophosphorés. Cette résistance repose sur plusieurs mécanismes : modification des sites cibles, augmentation de l'activité des enzymes de détoxification et réduction de la pénétration des molécules actives.

Athie et Mills (2005) et **Khelfaoui et al., (2021)** ont signalé des cas de résistance à la deltaméthrine, au malathion et à la phosphine dans diverses régions du monde, y compris en Algérie. Ces résistances compromettent l'efficacité des traitements classiques et imposent la recherche de solutions alternatives, telles que les biopesticides, dans le cadre d'une stratégie de lutte intégrée (**Opit et al., 2012 ; Arthur, 2020**).

Partie 2 : Les biopesticides

I.2.1. Importance des biopesticides

Les biopesticides représentent une catégorie croissante d'agents de lutte antiparasitaire issus de sources naturelles, tels que des micro-organismes, des extraits végétaux, ou des substances biochimiques. Ils offrent une alternative écologique aux pesticides chimiques traditionnels en limitant la pollution environnementale et en réduisant les risques pour la santé humaine et animale (**Gurusubramanian et al., 2020**). Leur importance est accentuée par la montée des résistances aux insecticides chimiques chez de nombreux ravageurs, ainsi que par les réglementations de plus en plus strictes en matière d'utilisation de pesticides (**Isman, 2020**).

Parmi ces biopesticides, les huiles essentielles sont particulièrement étudiées en raison de leur richesse en composés actifs volatils aux propriétés insecticides, répulsives et fongicides. Elles sont biodégradables, présentent une faible toxicité pour les organismes non ciblés et contribuent à une gestion intégrée durable des ravageurs (**Regnault-Roger et al., 2012**).

I.2.2. Les huiles essentielles

I.2.2.1 Définition

Les huiles essentielles (HE) sont des mélanges complexes de composés volatils, principalement des terpènes, produits naturellement par les plantes. Elles sont localisées dans des structures sécrétrices spécialisées telles que les poils glandulaires, les canaux ou les cellules sécrétrices, que l'on retrouve dans différentes parties végétales : feuilles, fleurs, écorces, fruits, racines, ou résines (**Baser et Buchbauer, 2009**).

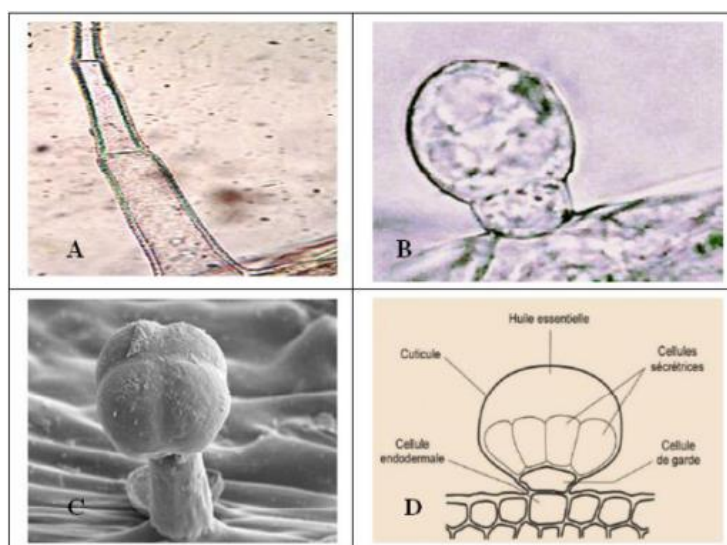


Figure 2. Diversité des structures de sécrétion des huiles essentielles chez les plantes (**Abadlia et Chebbour, 2014**)

(A) Poil sécréteur ; (B) Trichome glandulaire capité ; (C) Trichome glandulaire pelté ; (D) Structure interne d'un trichome glandulaire

Selon la définition de la Pharmacopée Européenne, les huiles essentielles sont des mélanges odorants, généralement incolores ou jaune pâle, obtenus à partir de matières végétales par distillation à la vapeur d'eau, ou, dans certains cas, par expression mécanique (notamment pour les zestes d'agrumes) ou par extraction à froid (**Andriamanantoanina, 1984 ; Bruneton, 1987**). À l'état pur, les huiles essentielles sont hautement concentrées et doivent être manipulées avec précaution. Leur usage s'est fortement développé dans les domaines de la pharmacologie, du cosmétique, de l'agroalimentaire, mais aussi en protection des cultures, en tant que biopesticides d'origine naturelle (**Regnault-Roger et al., 2012**).

I.2.2.2. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont généralement extraites des plantes aromatiques par des procédés permettant de préserver leurs composés volatils. Les principales méthodes d'extraction comprennent :

- **Distillation à la vapeur d'eau** : méthode la plus courante, notamment pour les feuilles d'eucalyptus. Elle consiste à faire traverser de la vapeur d'eau à travers la matière végétale. La vapeur entraîne les molécules volatiles, qui sont ensuite condensées et séparées par décantation (**Baser et al., 2009**).
- **Hydrodistillation** : variante plus simple où le matériel végétal est immergé dans l'eau bouillante. Cette méthode est souvent utilisée en laboratoire pour de petites quantités, mais elle peut altérer certains composants sensibles à une chaleur prolongée (**Guenther, 1948**).
- **Extraction par micro-ondes** : cette technique utilise l'énergie micro-onde pour chauffer sélectivement l'eau intracellulaire, ce qui provoque l'éclatement des glandes sécrétrices et libère les huiles essentielles. Elle présente l'avantage d'être rapide, économe en énergie et de limiter la dégradation thermique des composés sensibles (**Bousbia et al., 2009**).
- **Extraction par Soxhlet** : principalement utilisée en recherche, cette méthode implique une extraction continue avec un solvant chauffé qui circule à travers le matériel végétal. Elle est efficace pour extraire les composés lipophiles mais n'est pas adaptée aux huiles essentielles destinées à l'usage alimentaire ou thérapeutique en raison des solvants organiques utilisés (**Bruneton, 1987**).
- **Extraction par solvants** : bien que peu utilisée pour les huiles essentielles à usage insecticide, cette méthode permet d'obtenir des extraits aromatiques complets (absolues). Elle implique l'emploi de solvants organiques volatils et peut entraîner des résidus indésirables (**Bruneton, 1987**).
- **Extraction par CO₂ supercritique** : méthode moderne qui consiste à utiliser du dioxyde de carbone à l'état supercritique comme solvant. Elle permet d'extraire efficacement les composés thermosensibles sans laisser de résidus, mais elle reste coûteuse et peu répandue à grande échelle pour l'eucalyptus (**Reverchon et De Marco, 2006**).

- **Expression mécanique** : principalement utilisée pour les agrumes (orange, citron, bergamote), cette méthode consiste à exercer une pression mécanique (grattage, râpage ou pressage) sur les zestes afin de libérer les essences contenues dans les poches huileuses de l'écorce. Elle ne nécessite ni chaleur ni solvant, ce qui préserve les composés volatils thermosensibles comme les monoterpènes. Cependant, elle ne s'applique pas aux plantes comme les eucalyptus, dont les huiles essentielles se trouvent dans les feuilles (**Bousbia et al., 2009 ; Guenther, 1972**).

I.2.2.3. Propriétés biologiques des huiles essentielles

En raison de leur richesse en composés bioactifs, les huiles essentielles sont reconnues pour leurs nombreuses propriétés biologiques (**Burt, 2004 ; Bakkali et al., 2008**). Au-delà de leurs usages traditionnels, plusieurs études ont démontré leur efficacité dans la lutte contre divers agents pathogènes et ravageurs, ce qui en fait des alternatives naturelles prometteuses dans le domaine phytosanitaire (**Isman, 2000 ; Regnault-Roger et al., 2012**).

Les huiles essentielles agissent également en perturbant la communication chimique des insectes (phéromones), en affectant leurs comportements d'oviposition, de nutrition et de locomotion (**Tripathi et al., 2009**). Leur mode d'action multiple limite le risque de développement de résistances, contrairement aux insecticides de synthèse.

I.2.3. Formulation des biopesticides

La formulation constitue une étape essentielle dans le développement des biopesticides, car elle conditionne leur stabilité, leur efficacité et leur facilité d'utilisation. Contrairement aux idées reçues, la matière active seule n'est généralement pas suffisante pour garantir une bonne performance sur le terrain. Elle doit être intégrée à une formulation qui comprend des agents complémentaires : dispersants, émulsifiants, agents mouillants ou encore stabilisants (**Miller et al., 2012**).

Ces composants dits inertes n'ont pas d'activité biologique propre, mais ils permettent d'optimiser la répartition du biopesticide, d'en prolonger l'action, et de le protéger des dégradations dues à la lumière ou à l'oxydation. De plus, la formulation

influence directement la compatibilité avec les équipements d'application (**Bencheikh et al., 2018**).

En formulation industrielle, plusieurs formes sont possibles selon le type de biopesticide : poudre mouillable, suspension concentrée, émulsion huile dans eau, granules, etc. Chaque forme est choisie en fonction de la nature de la matière active et de son mode d'action (**Kumar et al., 2019**). Une bonne formulation permet aussi de réduire les doses nécessaires, d'améliorer la précision de l'application, et donc de minimiser les impacts environnementaux.

Partie 3 : Le genre *Eucalyptus* (La plante étudiée)

I.3.1. Historique et origine de la plante

L'eucalyptus (ou gommier) est un arbre sempervirent appartenant à la famille des Myrtaceae. Le nom « *Eucalyptus* » provient du grec *eu* (« bien ») et *kalyptos* (« couvert »), en référence aux pétales et sépales soudés qui recouvrent étroitement le bourgeon floral ; le nom générique signifie donc « bien couvert ». Le terme « gommier » fait allusion à la gomme résineuse rouge que l'arbre exsude lorsqu'il est blessé. Il est également connu sous plusieurs noms communs, notamment *al kalitouss*, *al kafore*, « arbre au koala », « arbre à fièvre » ou encore « arbre à huile de respiration » (**Arar-Houari, 2008**).

Le genre *Eucalyptus* a été décrit pour la première fois en 1792 par le botaniste français Jacques La billardière lors d'une expédition en Tasmanie (Pasquier, 1872). Il fait partie de la grande famille des Myrtaceae, qui comprend environ 72 genres et plus de 300 espèces. Le genre *Eucalyptus* à lui seul regroupe entre 600 et 700 espèces et variétés (**Warot, 2006**). De nombreuses espèces ont été introduites dans diverses régions du monde bénéficiant de conditions climatiques favorables à leur croissance.



Figure 3. Répartition géographique de l'*Eucalyptus* à travers le monde
(Warot, 2006)

I.3.2. Introduction de l'*Eucalyptus* en Algérie et ses usages

L'introduction du genre *Eucalyptus* en Algérie remonte à la période coloniale, autour des années 1850. Les autorités françaises ont alors initié sa plantation dans le but d'assainir les zones marécageuses, notamment dans le nord du pays. Les premières expérimentations ont eu lieu dans la région d'Alger, à Maison-Carrée (actuelle El Harrach), avant d'être étendues à d'autres zones humides du littoral afin de lutter contre les maladies vectorielles telles que le paludisme (**Benabadji, 2005 ; Berrah et al., 2021**).

L'espèce la plus couramment utilisée à cette époque était *Eucalyptus globulus*, en raison de sa croissance rapide, de sa capacité à s'adapter à des sols pauvres, et surtout de son système racinaire profond, favorable au drainage des sols. Par la suite, ces plantations ont également été exploitées pour la production de bois d'œuvre, de pâte à papier, et plus récemment, pour l'extraction d'huile essentielle (**Meddour-Sahar, 2016**).

De nos jours, l'eucalyptus est intégré dans plusieurs programmes nationaux de reboisement en Algérie, notamment dans les zones semi-arides. Il est utilisé pour lutter contre la désertification, améliorer la couverture végétale et fournir des ressources forestières renouvelables (**FAO, 2019**). Sur le plan industriel, l'huile essentielle extraite de ses feuilles est valorisée pour ses propriétés antiseptiques, expectorantes et insecticides. Elle connaît un développement croissant dans les

secteurs de la phytoprotection et de la cosmétique (**Boudy, 1950 ; Tazerouti et al., 2020**).

I.3.3. Description du genre *Eucalyptus*

L'*Eucalyptus* est très varié. Pour une même espèce, les formes peuvent aller du buisson, si les conditions édaphiques et climatiques sont défavorables, au peuplement forestier avec des arbres de 30 à 50 mètres de hauteur en conditions favorables. Certains individus peuvent atteindre 130 mètres de haut et ils constituent également les angiospermes les plus grands du monde (**Boland et al., 2006**).

Certaines espèces existent également sous forme de « mallée », terme australien désignant un arbre présentant plusieurs tiges partant d'un même lignotuber ou organe souterrain lignifié. La croissance des *Eucalyptus* est continue, car ils ne connaissent pas de période d'endormance contrairement à la plupart des espèces ligneuses. Ils sont opportunistes, c'est-à-dire que leur croissance dépend essentiellement de la température moyenne. Elle est maximale en conditions favorables, mais ralentie voire nulle en cas de stress abiotique, tel que le froid ou la sécheresse. Les *Eucalyptus* sont très réactifs après ces stress. D'une part, les bourgeons végétatifs, activés très rapidement après une blessure, donnent de nouvelles tiges. En cas d'incendie, la très forte température favorise la germination des graines enfouies dans le sol, permettant une reprise de végétation beaucoup plus rapide que celle de la plupart des autres plantes. Cette réactivité explique la compétitivité des *Eucalyptus* pour l'occupation de l'espace, en particulier après les incendies, qui ont toujours été très fréquents en Australie (**Melun et Nguyen, 2012**).

Selon le même auteur les *Eucalyptus* sont très réactifs après ces stress. D'une part, les bourgeons végétatifs, activés très rapidement après une blessure, donnent de nouvelles tiges. En cas d'incendie, la très forte température favorise la germination des graines enfouies dans le sol, permettant une reprise de végétation beaucoup plus rapide que celle de la plupart des autres plantes. Cette réactivité explique la compétitivité des *Eucalyptus* pour l'occupation de l'espace, en particulier après les incendies, qui ont toujours été très fréquents en Australie.



Figure 4. Aspect général des Eucalyptus (Melun et Nguyen, 2012)

I.3.4. Classification botanique d'Eucalyptus

Tableau 2 : Classification botanique du genre *Eucalyptus*

Règne	Plantae
Classe	Magnoliopsida (dicotylédones)
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Myrtales
Famille	Myrtaceae

(Brooker et Kleinig, 2006 ; Baser et Buchbauer, 2009)

I.3.5. Caractéristiques morphologiques

I.3.5.1. Les feuilles :

Les feuilles d'*Eucalyptus* présentent un polymorphisme marqué selon le stade de développement de la plante. Chez les jeunes individus, les feuilles sont généralement opposées, sessiles, largement ovales, et présentent une teinte bleu-gris. Elles sont souvent recouvertes d'une fine couche cireuse, qui contribue à limiter la perte d'eau par transpiration (Mekelleche, 2015).

À l'âge adulte, les feuilles deviennent alternes, pétiolées, falciformes (en forme de faucille), et peuvent atteindre 15 cm de long sur 1,5 cm de large. Elles adoptent une couleur vert foncé, avec une face supérieure plus brillante que l'inférieure. Leur limbe est épais, coriace, et riche en glandes sécrétrices contenant les huiles essentielles,

notamment le 1,8-cinéole (ou eucalyptol), principal composé bioactif (**Southwell et al., 2003**).

La disposition verticale des feuilles chez certaines espèces permet de réduire l'exposition directe au soleil, limitant ainsi l'évaporation. Ce mécanisme d'adaptation est typique des plantes xérophiiles des milieux arides ou méditerranéens (**Brooker et Kleinig, 2006**).

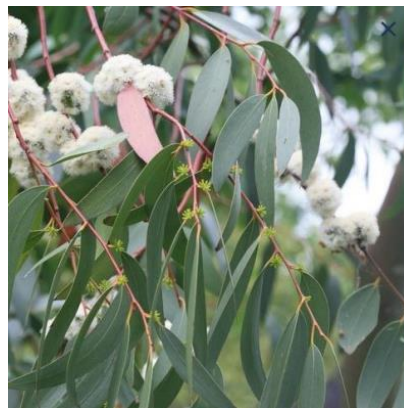


Figure 5. Feuilles de d'*eucalyptus commun* (**Mekelleche, 2015**)

I.3.5.2. Les fleurs :

Les fleurs d'Eucalyptus sont généralement hermaphrodites, regroupées en ombelles axillaires portant de 3 à 20 boutons floraux selon l'espèce (**Fagg et Parsons, 2011**). Avant l'épanouissement, les fleurs sont enfermées dans un opercule (calyptre), formé par la soudure des sépales et des pétales, qui tombe au moment de l'ouverture. Cette structure est à l'origine du nom *Eucalyptus*, qui signifie « bien couvert » (**Brooker, 2000**).

La floraison a lieu généralement au printemps ou en été, selon le climat local. Les fleurs sont riches en étamines proéminentes, souvent crème à jaune pâle, très attractives pour les insectes pollinisateurs, notamment les abeilles. Le nectar produit constitue une source importante pour la production du miel d'eucalyptus, réputé pour ses propriétés antiseptiques et balsamiques (**Sadlon et Lamson, 2010 ; Mekelleche, 2015**).



Figure 6. Fleurs d'*eucalyptus commun* (Faucon et al., 2015)

I.3.5.3. Les fruits et les graines :

Le fruit de l'*Eucalyptus* est une capsule ligneuse, de forme globuleuse à anguleuse, souvent verruqueuse, qui passe du vert glauque au brun à maturité. Il s'ouvre naturellement par trois à cinq valves pour libérer les graines. Ces ouvertures forment souvent une étoile caractéristique à l'extrémité du fruit (Djellato, 2018).

Chaque fruit contient plusieurs graines brunes foncé, petites et légères, facilitant leur dissémination par le vent (anémochorie). Certaines espèces présentent aussi une stratégie de dissémination post-incendie, où la chaleur stimule l'ouverture des capsules enfouies dans le sol (Keeley et al., 2011). Ce mécanisme confère aux eucalyptus un avantage écologique après les incendies, fréquents dans leur habitat naturel australien (Keeley, 2012).

Chapitre II

Matériel et Méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est de proposer des bioproduits en tant qu'alternatives naturelles aux insecticides de synthèse dans la protection des denrées alimentaires en évaluant à différentes doses et différents modes d'action le pouvoir insecticide de deux huiles essentielles extraites d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata*, sur le ravageur des denrées stockées *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797).

II.1. Présentation de la zone de récolte du matériel végétal

II.1.1. Meliana Aïn Defla

La région de Meliana est située dans la wilaya de Aïn Defla, au nord de l'Algérie. Cette localité se trouve à environ 114 km au sud-ouest d'Alger, à une altitude moyenne de 715 mètres. Elle bénéficie d'un climat caractérisé par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. (Office National de la Météorologie, 2020).

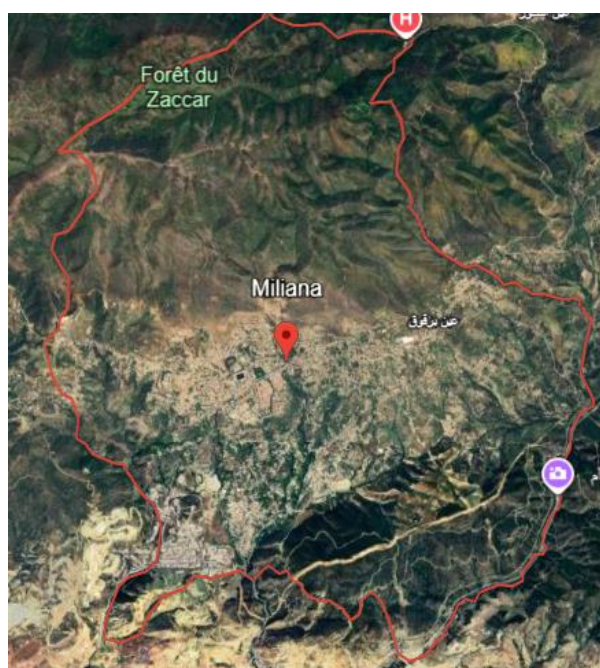


Figure 7. Carte de localisation régionale de Meliana (Google Earth, 2025)

II.1.2. Synthèse climatique

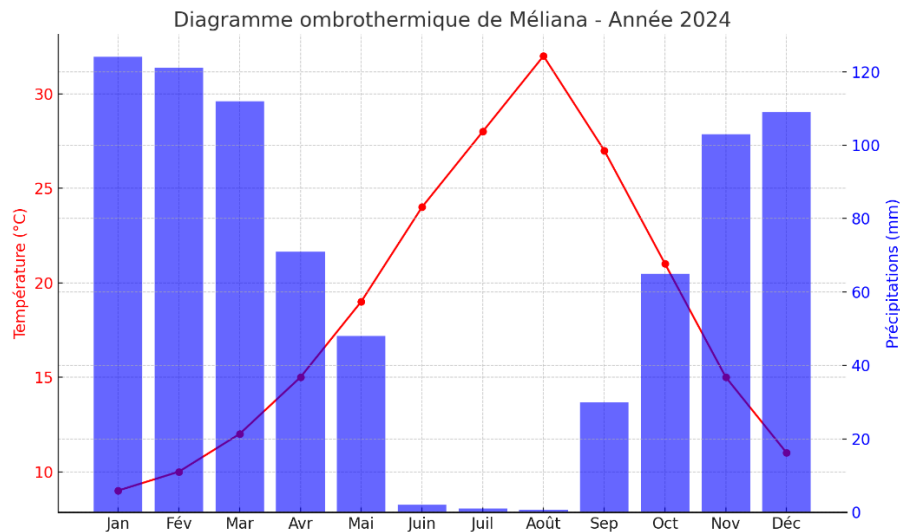


Figure 8. Diagramme ombrothermique de la région de Méliana (Aïn Defla) (Weather Atlas, 2024)

D'après le diagramme ci-dessus, on constate une période sèche d'environ 3 mois, s'étalant de juin à août, marquée par une quasi-absence de précipitations. À l'inverse, la période froide et humide s'étend sur environ 5 mois, allant de novembre à mars, avec des précipitations importantes et des températures plus basses.,

II.2. Lieu de l'expérimentation

L'étude est réalisée au niveau du laboratoire de Phytopharmacie du département des Biotechnologies et agroécologie (BAE) de la faculté SNV de l'université de Blida 1.

II.3. Matériel utilisé

II.3.1. Matériel de laboratoire

- Boîtes de pétri
- Flacons stériles en plastique
- Bêchers
- Papier Whatman
- Papier parafilm
- Des pinces

- Des pipettes graduées
- Un pulvérisateur manuel

II.3.2. Matériel biologique

II.3.2.1. Matériel animal

Les insectes utilisés dans cette étude sont des adultes de *Tribolium castaneum* (*Tribolium* rouge de la farine), un ravageur fréquent des denrées stockées. Ils ont été élevés dans des boîtes en plastique contenant de la farine de blé comme substrat alimentaire. L'élevage a été conservé à température ambiante, dans un environnement sec et à l'abri de la lumière.



Figure 9. Élevage de *Tribolium castaneum* (originale, 2025)

II.3.2.2 Matériel végétal

La matière végétale d'*Eucalyptus radiata* est récoltée durant le mois de février 2025 dans la région de Méliana (wilaya de Aïn Defla), sur des arbres adultes en bon état sanitaire, issus d'une zone non traitée chimiquement. La récolte a été réalisée par coupe de branches, suivie d'un détachement manuel des feuilles, permettant d'obtenir environ 20 kg de matière végétale. Les feuilles ont ensuite été séchées à l'air libre, à l'ombre, dans un endroit sec et bien ventilé, afin de préserver leurs composés volatils en vue de l'extraction. L'huile essentielle de *Eucalyptus globulus*, quant à elle, nous a été gracieusement fournie par le laboratoire de phytopharmacie du département (BAE).



Figure 10. Récolte de la partie aérienne d'*Eucalyptus radiata* (originale, 2025)

(A) détachement des branches ; (B) masse de la récolte

II.4. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata* a été réalisée avec un appareil industriel d'hydrodistillation conçu pour le traitement de grandes quantités de matière végétale. Cette technique repose sur la méthode d'entraînement à la vapeur d'eau, qui ne met pas en contact direct le matériel végétal (*Eucalyptus radiata*) avec l'eau. Ce dernier repose sur une grille ou une plaque perforée, située à une distance adéquate du fond de la cuve.

La cuve a été remplie avec 20 kg de feuilles sèches d'*Eucalyptus radiata*, tandis que la partie inférieure contenait une quantité suffisante d'eau portée à ébullition. Sous l'effet de la chaleur, l'eau se transforme en vapeur et traverse la matière végétale, entraînant les composés volatils aromatiques vers un système de refroidissement.

La vapeur chargée en huile essentielle se condense ensuite dans un serpentin refroidi, retournant à l'état liquide. Le distillat est recueilli dans un essencier en verre, puis transféré dans une ampoule à décanter, où il se sépare en deux phases non miscibles en raison de leur différence de densité : une phase aqueuse inférieure (hydrolat) et une phase huileuse supérieure (huile essentielle).

L'huile essentielle obtenue a été conservée dans des flacons en verre, à l'abri de la lumière et de l'humidité.



Figure 11. Dispositif d'extraction par hydro distillation (originale, 2025)

II.5. Méthodes

II.5.1. Estimation du rendement en huile essentielle

Selon **Belyagoubi (2006)**, le rendement en huile essentielle correspond au rapport entre le volume d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale utilisée lors de l'hydrodistillation. Ce paramètre constitue un indicateur essentiel pour évaluer l'efficacité du procédé d'extraction. Il est généralement exprimé en pourcentage (%) et peut être déterminé à partir de la formule suivante :

$$\text{Rd HE (\%)} = (V/M \text{ MV}) \times 100$$

- Rd HE (%) : rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage.
- V : volume d'huile essentielle en (ml)
- M MV : masse de la matière végétale utilisée (g).

II.5.2. Analyse chromatographique

Dans le but de confirmer l'authenticité de l'huile essentielle extraite de *Eucalyptus radiata*, un échantillon de 10 ml a été envoyé à un laboratoire spécialisé (Universal Lab) situé à Bouzaréah (Alger) pour être soumis à une analyse chromatographique de type GC-MS (chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse). Cette technique combine deux principes : la séparation des composés volatils présents dans l'échantillon par chromatographie en phase gazeuse,

suivie de leur identification précise par spectrométrie de masse, qui repose sur la mesure de leur masse moléculaire et de leur fragmentation.

Cette analyse a permis d'identifier le profil global de l'échantillon et de s'assurer qu'il correspond bien à celui d'une huile essentielle de *Eucalyptus radiata*. Elle a constitué une étape essentielle pour garantir la fiabilité du matériel utilisé dans les tests biologiques de cette étude, en confirmant que l'huile testée ne contenait ni contaminants, ni mélanges, ni dégradations susceptibles de fausser les résultats expérimentaux.

II.5.3. Formulation des bioproduits et Préparation des doses

Les huiles essentielles d'*Eucalyptus radiata* et d'*Eucalyptus globulus* ont été formulées à une concentration de 2 % au laboratoire de Phytopharmacie. La préparation, réalisée selon le protocole de **Moussaoui et al. (2014)**, intègre un tensioactif naturel et un agent protecteur afin d'assurer la stabilité du mélange, faciliter son application et renforcer son efficacité contre les adultes de *Tribolium castaneum*.



Figure 12. Bioformulations liquides à base d'huiles essentielles d'*Eucalyptus radiata* et *Eucalyptus globulus* (Originale, 2025)

(A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

Pour chacune des huiles essentielles, trois doses ont été préparées à partir de la solution mère formulée à 2 % de matière active. Pour la première dose, 50 ml de la

solution mère ont été prélevés sans dilution. La deuxième dose a été obtenue en mélangeant 25 ml de la solution mère avec 25 ml d'eau distillée. Quant à la troisième dose, elle a été préparée en mélangeant 17,5 ml de la solution mère avec 32,5 ml d'eau distillée.



Figure 13. Différentes doses des deux huiles essentielles formulées
(Originale, 2025).

(A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

Tableau 3 : Tableau récapitulatif de la préparation des différentes doses

Dose	Volume solution mère (ml)	Volume eau (ml)	Volume total (ml)	Concentration estimée (%)
D1	50	0	50	2%
D2	25	25	50	1%
D3	17,5	32,5	50	0,7%

II. 6. Les tests de toxicité

Cette section décrit les tests biologiques réalisés afin d'évaluer l'effet insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus radiata* et d'*Eucalyptus globulus* sur les adultes de *Tribolium castaneum*. Trois méthodes d'application ont été réalisées : contact direct, contact indirect (résiduel), et inhalation.

Pour chaque mode, les trois doses (D1, D2, D3) sont testées. Un témoin négatif qui consiste à traiter les individus cibles uniquement avec de l'eau distillée, a été

intégré dans tous les essais afin de confirmer l'effet insecticide et de corriger les mortalités naturelles.

Chaque traitement, y compris le témoin, a été répété trois fois, avec vingt insectes adultes par répétition (soit 60 individus par dose et par témoin). Les mortalités ont été enregistrées à 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 7h, 8h et 24h après l'application des traitements.

II. 6.1. Test de toxicité par contact direct

Ce test consiste à exposer directement les adultes de *Tribolium castaneum* à la bioformulation d'huile essentielle par pulvérisation. Les insectes sont placés dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre contenant au fond du papier Whatman, puis 1,5 ml de la solution (D1, D2 ou D3) est vaporisé directement à l'aide d'un pulvérisateur manuel. Les boîtes sont ensuite fermées avec du parafilm afin d'éviter toute évaporation des molécules actives. Cette méthode est inspirée du protocole utilisé par **Tapondjou et al. (2005)** pour l'évaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles en application directe.

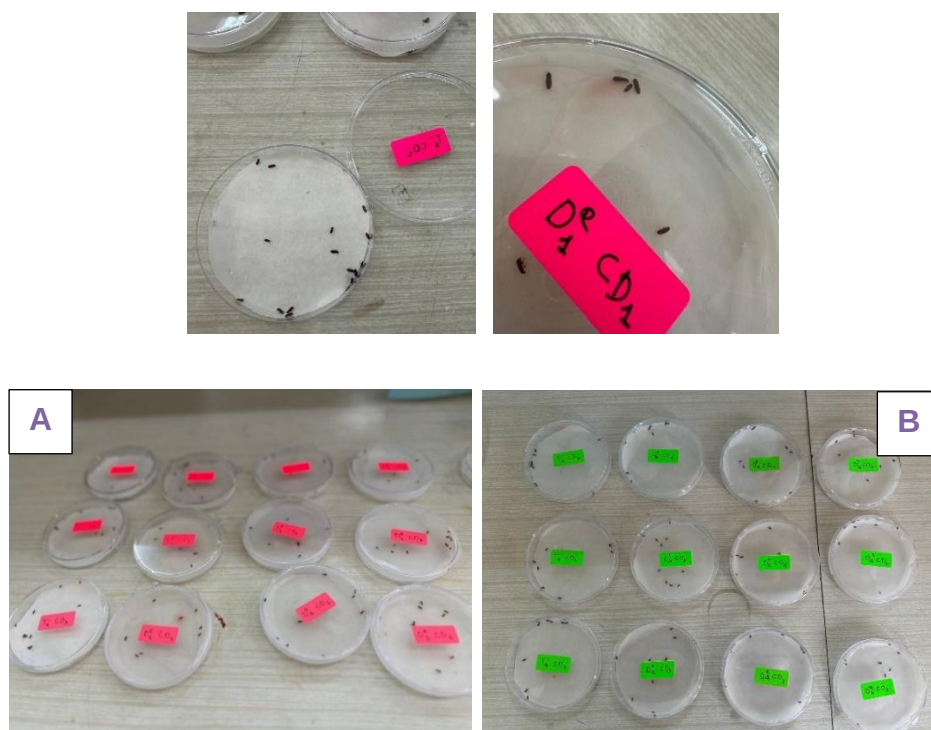


Figure 14. Application des traitements par mode contact direct (**originale, 2025**)

(A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

II. 6.2. Test de toxicité par contact indirect (résiduel)

Cette méthode permet d'évaluer la toxicité des résidus laissés par l'huile essentielle sur une surface traitée. Pour cela, 1,5 ml de la solution est réparti uniformément sur le fond de boîtes de Pétri recouvert de papier Whatman. Après séchage complet du support, les adultes de *Tribolium castaneum* sont introduits dans les boîtes, qui sont ensuite fermées avec du parafilm.

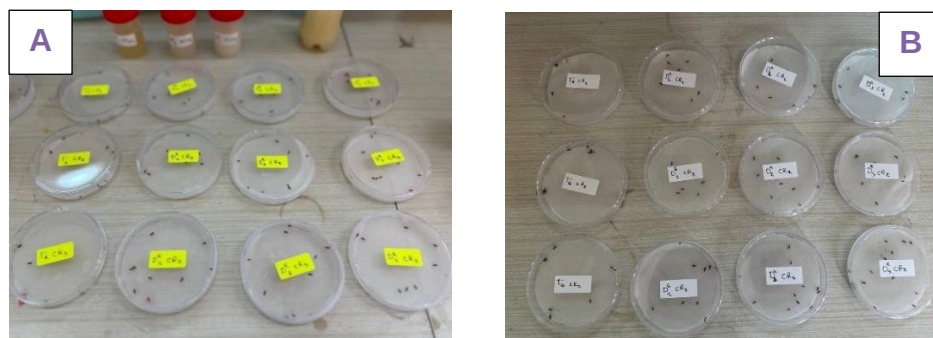


Figure 15. Application des traitements par mode contact indirect (résiduel)
(originale, 2025)

(A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

II. 6.3. Test de toxicité par inhalation

Cette méthode vise à évaluer l'effet toxique des huiles essentielles par voie d'inhalation, sans contact. Le test est réalisé dans des flacons stériles en plastique, à l'intérieur desquels un coton-tige imbibé de 1,5 ml de la solution (D1, D2 ou D3) est fixé au couvercle. Les insectes adultes sont placés au fond du flacon de manière à éviter tout contact avec la substance. Le flacon est ensuite hermétiquement fermé. Cette méthode s'inspire du protocole décrit par **Abdelgaleil et al. (2016)**, qui ont évalué l'effet des vapeurs d'huiles essentielles sur des insectes ravageurs.



Figure 16. Application des traitements par inhalation (**originale, 2025**)

(A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

II. 7. Analyse des données

L'analyse des données a été réalisée afin de déterminer l'effet insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* sur *Tribolium castaneum* à travers plusieurs paramètres statistiques : mortalité observée, mortalité corrigée, doses létales (DL₅₀), temps létaux (TL₅₀), et analyse de la variance de type ANOVA

II. 7.1. Mortalité observée

La mortalité observée a été calculée comme le pourcentage d'individus morts par rapport au nombre total d'insectes traités pour chaque concentration, chaque huile essentielle et chaque modalité d'exposition (contact direct, contact indirect et inhalation).

La formule utilisée est la suivante :

$\text{Mortalité observée} = 100 \times \frac{\text{Nombre des individus morts}}{\text{Nombre total des individus}}$
--

II. 7.2. Mortalité corrigée

La mortalité observée chez le témoin (non traité) a été prise en compte pour corriger les mortalités dans les lots traités :

$$MC \% = \frac{(M - Mt \times 100)}{(100 - Mt)}$$

MC (%) : le pourcentage de mortalité corrigée.

M (%) : le Pourcentage des morts dans la population traitée.

Mt (%) : le Pourcentage des morts dans la population témoin.

II. 7.3. Doses létales 50

La dose létale 50 (DL₅₀), correspondant à la dose provoquant la mort de 50 % des insectes testés, a été déterminée par l'analyse probit.

Les mortalités corrigées ont été transformées en valeurs de probits à l'aide de la table de **(Bliss et Cavalier, 1976)** puis tracées en fonction des logarithmes décimaux des doses appliquées. La droite de régression obtenue (de type $Y = ax + b$) a permis de calculer la DL₅₀ en remplaçant Y par 5, correspondant à 50 % de mortalité, selon la méthode recommandée.

II. 7.4. Temps létaux 50

Le temps léthal 50 (TL₅₀), défini comme le délai nécessaire pour provoquer la mort de 50 % des individus exposés à une dose donnée, a été déterminé à l'aide de l'analyse probit.

Les pourcentages de mortalité, corrigés par la formule de Schneider, ont été convertis en probits à l'aide de la table de Ramade (2007). Ces valeurs ont ensuite été représentées en fonction des logarithmes des temps d'exposition. La droite de régression ainsi obtenue ($Y = ax + b$) a permis d'estimer le TL₅₀ en fixant Y à 5, valeur correspondant à 50 % de mortalité.

II. 7.5. Analyse statistique

Une analyse de la variance (ANOVA) a été appliquée en utilisant le logiciel PAST version 4.13 **(Hammer et al., 2001)**, pour évaluer l'effet des différents facteurs (type d'huile essentielle, dose, modalité d'exposition et temps) sur la mortalité des insectes

Chapitre III

Résultats

Chapitre III: Résultats

Cette partie présente l'ensemble des résultats obtenus lors de l'évaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* sur les adultes de *Tribolium castaneum*. Les expérimentations ont été menées selon trois modes d'exposition : par contact direct, par contact indirect et par inhalation. Les effets des différentes doses et du temps d'exposition ont été analysés afin de déterminer l'efficacité de chaque huile essentielle.

III.1. Rendement d'extraction de l'huile essentielle d'*Eucalyptus radiata*

- L'extraction par hydro distillation réalisée sur 20 kg de feuilles d'Eucalyptus a permis d'obtenir 50 ml d'huile essentielle, soit un rendement d'extraction de 0,25 %. Ce rendement reste dans les normes attendues pour ce type de plante aromatique, bien que pouvant varier selon les conditions de récolte, de stockage et de distillation.

$$\text{Rendement} = \left(\frac{50}{20000} \right) \times 100 = 0,25\%$$

III.2. Analyse chromatographique

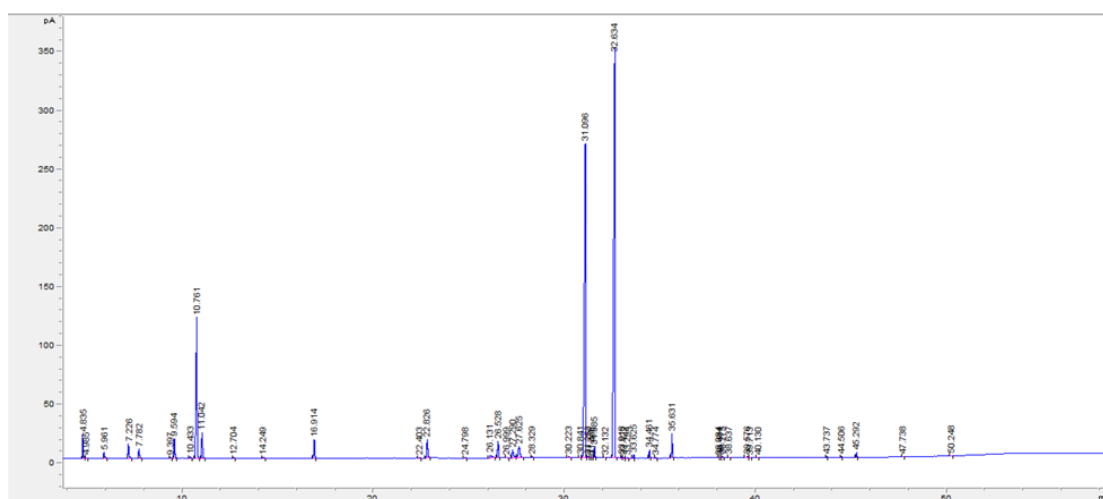


Figure 17. Courbe de l'analyse par Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (GC-MS) (originale 2025)

L'analyse chromatographique par GC-MS de l'échantillon a permis d'identifier les principaux composants volatils de l'huile essentielle d'*Eucalyptus* ?????. Le composé majoritaire est le 1,8-cinéole, représentant plus de 70 % du profil chimique, confirmant qu'il s'agit d'une huile essentielle d'*Eucalyptus radiata*.

Outre le 1,8-cinéole, identifié comme composé majoritaire l'analyse effectuée par le laboratoire a permis de détecter plusieurs autres constituants dans l'huile.

Les principaux composés minoritaires identifiés sont l' α -pinène, le limonène, le sabinène, le γ -terpinène et le terpinen-4-ol. Ces composants ont été retrouvés en proportions variables, chacun représentant généralement moins de 10 % du total.

III.3. Mortalité observée (MO %) et mortalité corrigée (MC %)

Au cours des différentes expérimentations, la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* a été enregistrée à intervalles réguliers (1 h, 2 h, ..., 24 h) pour chaque formulation d'huile essentielle (*Eucalyptus globulus* et *Eucalyptus radiata*), de dose (D1, D2, D3) et de mode d'exposition (contact direct, contact indirect et inhalation). Ces données brutes sont exprimées en pourcentages de mortalité observée (MO %).

Cependant, une certaine mortalité a également été constatée dans les témoins non traités. Afin d'évaluer l'effet réel des traitements appliqués, les pourcentages de mortalité ont été corrigés selon la formule d'Abbott (**Abbott, 1925**), qui permet de neutraliser l'influence des décès d'origine naturelle.

III.4. Évolution temporelle de l'effet du mode d'application des deux d'huiles essentielles formulées sur la mortalité du *Tribolium castaneum*

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques illustrant l'évolution temporelle de la mortalité, ce qui permet de visualiser la vitesse d'action, l'intensité de l'effet selon la dose, ainsi que les différences d'efficacité entre les huiles et modes d'exposition.

III.4.1.1. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par contact direct

Selon les résultats graphiques des figures 19 et 20, constate que pour les deux huiles essentielles, la mortalité augmente progressivement au cours du temps par contact direct. Comparativement au témoin, qui présente des mortalités très faibles,

Eucalyptus radiata affiche une efficacité plus rapide et plus élevée que *Eucalyptus globulus*, notamment à la faible dose (D3), où elle atteint 100 % à 24 h contre seulement 67,6 %. De même, à doses D1 et D2, *E. radiata* atteint des taux plus élevés dès 4 h et conserve une avance jusqu'à 24 h (fig.18 ; fig. 19). On note également que les individus sont plus sensibles aux doses moyennes et fortes de *E. radiata* qu'à celles de *E. globulus*. Ainsi, l'huile essentielle de *E. radiata* agit plus vite et plus efficacement que celle de *E. globulus* par contact direct.

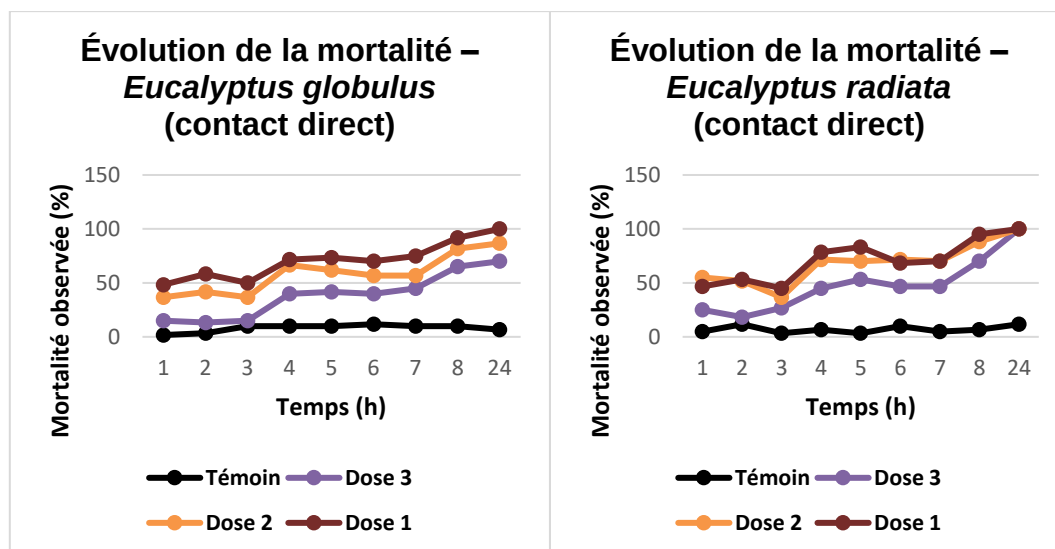


Figure 18. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité observée du *Tribolium castaneum* par contact direct

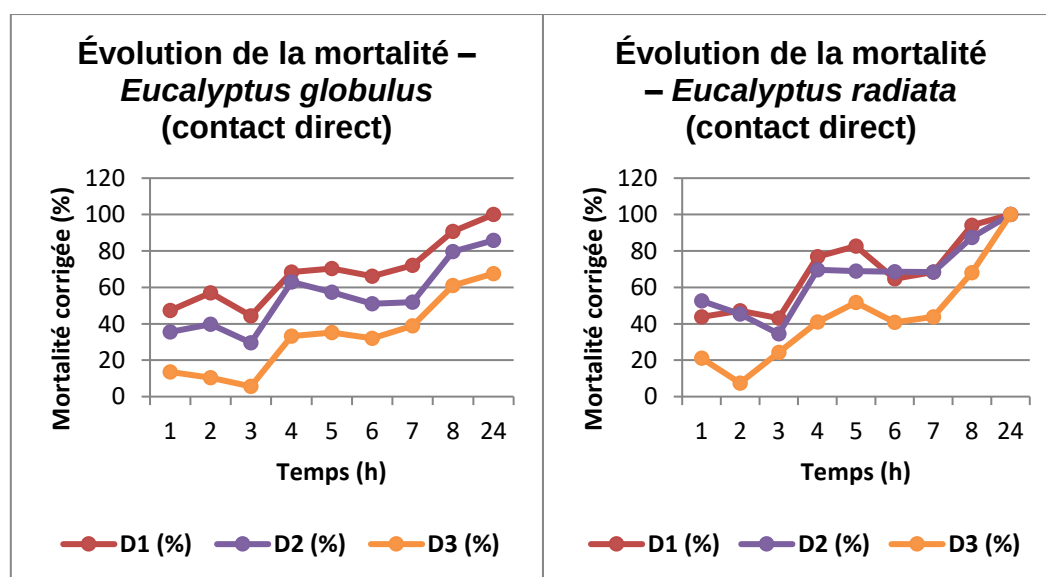


Figure 19. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* par contact direct

III.4.2. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par contact indirect (résiduel)

Les résultats montrent une progression de la mortalité dans le temps pour les deux huiles essentielles, avec des différences selon les doses. Globalement, *Eucalyptus radiata* entraîne des mortalités légèrement plus élevées que l'*E. globulus*, en particulier à la dose la plus faible (D3), où elle atteint 79,47 % à 24 h, contre 67,17 % pour *E. globulus*.

Aux doses moyennes et fortes (D1 et D2), les deux huiles montrent une efficacité comparable, avec une mortalité finale à 24 h de 100 % pour D1 et autour de 90 % pour D2. Toutefois, *E. radiata* induit une mortalité plus régulière dès les premières heures, tandis que les valeurs de *E. globulus* sont plus fluctuantes (fig. 20 et 21). On note également que les individus sont plus sensibles à *E. radiata* à faible dose, ce qui indique une efficacité légèrement supérieure par contact indirect. Ainsi, la vitesse et l'intensité d'action sont globalement en faveur de *Eucalyptus radiata* dans ce mode d'exposition.

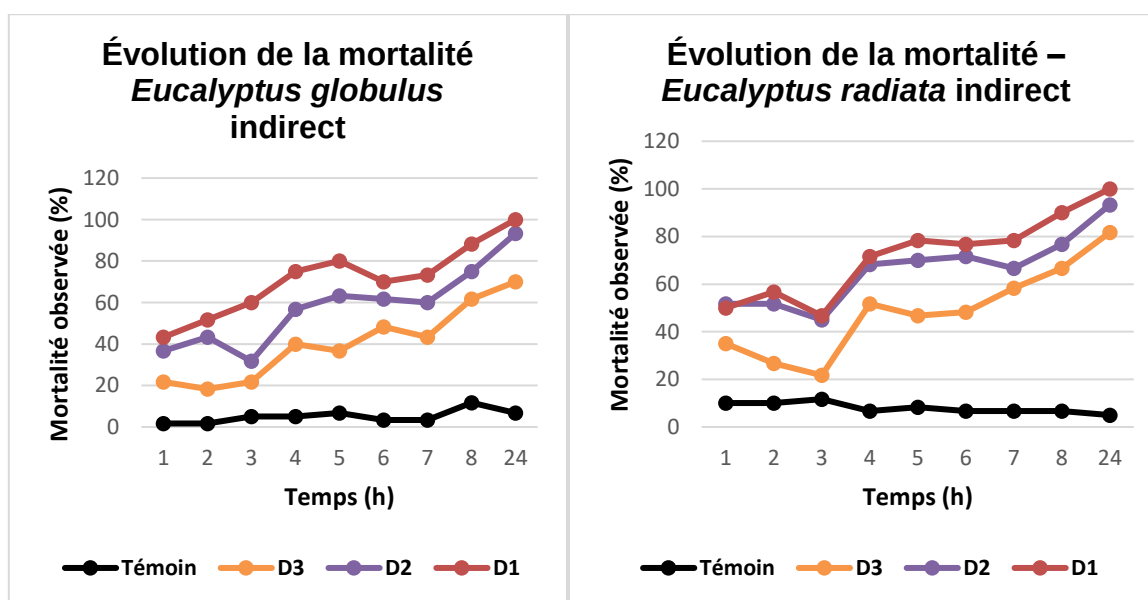


Figure 20. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité observée du *Tribolium castaneum* par contact résiduel

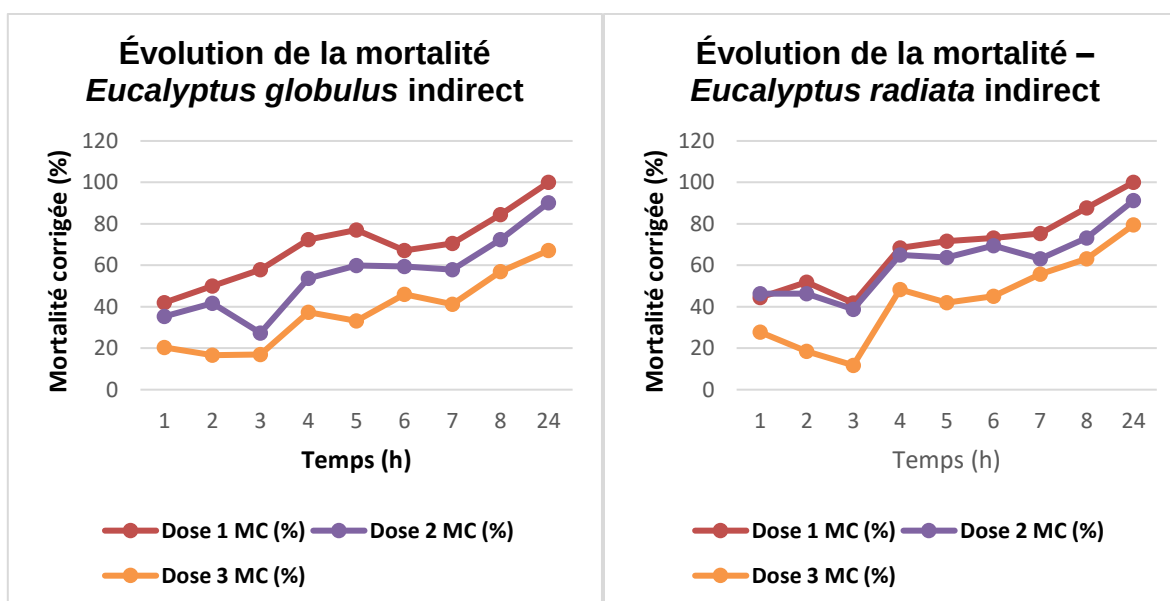


Figure 21. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* par contact résiduel

III.4.3. Évolution temporelle de la mortalité observée et mortalité corrigée par inhalation

Les résultats relatifs à l'estimation de l'effet biocide des deux huiles essentielles sur les adultes de *Tribolium castaneum* par inhalation montrent une progression claire de la mortalité dans le temps (fig. 22 et 23). Néanmoins, *Eucalyptus radiata* se distingue par une efficacité globalement supérieure, surtout aux faibles doses par rapport à *E. globulus* dès les premières heures, les doses D1 et D2 de *E. radiata* induisent des mortalités plus élevées que celles de l'*E. globulus*. À la dose D3, l'écart est aussi notable, notamment à 8h (65,66 % pour *E. radiata* contre 60,33 % pour *E. globulus*), et devient plus marqué avec des valeurs respectives de 100 % et seulement 69,23 % à 24h

Les individus semblent donc plus sensibles à *E. radiata* par inhalation, en particulier à dose faible et intermédiaire. On constate également que l'action de *E. radiata* est plus régulière et rapide, avec des mortalités qui progressent de façon constante jusqu'à 100 % à 24h pour toutes les doses. Ainsi, l'inhalation du bioproduit à base d'*Eucalyptus radiata* est plus efficace, notamment à faible dose, ce qui en fait un mode d'application particulièrement performant.

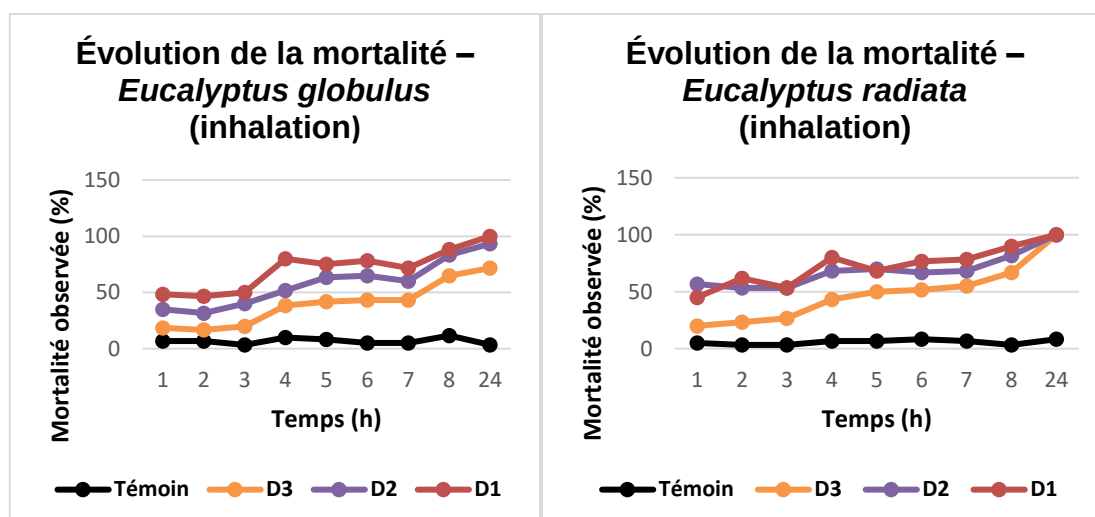


Figure 22. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité observée du *Tribolium castaneum* par inhalation

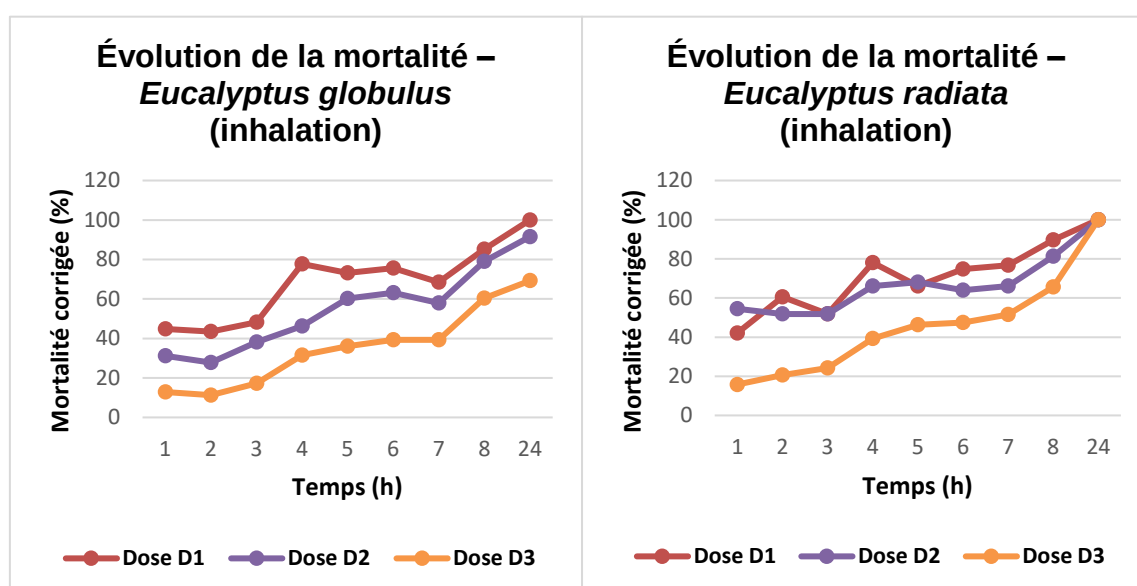


Figure 23. Courbes de l'évolution temporelle de la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* par inhalation

III.5. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du *Tribolium castaneum* à 24h

L'étude de l'effet dose à 24 heures permet d'évaluer la relation entre la concentration des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* et la mortalité corrigée (MC %) des adultes de *Tribolium castaneum*. Cette analyse est

cruciale pour comprendre comment la dose influence l'efficacité insecticide et pour identifier les doses minimales nécessaires pour obtenir un effet significatif.

Les résultats sont présentés sous forme de courbes illustrant la mortalité corrigée à 24 h pour chaque dose testée, selon les trois modes d'exposition : contact direct, contact indirect et inhalation. Cette représentation facilite la comparaison de l'efficacité des deux huiles et l'évaluation de leur potentiel insecticide en fonction de la dose appliquée.

III.5.1. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du *Tribolium castaneum* à 24 h par contact direct

La mortalité à 24 h par contact direct augmente avec la dose pour *Eucalyptus globulus*, allant de 67,6 % (faible dose) D3 à 100 % (forte dose) D1. En revanche, *Eucalyptus radiata* atteint 100 % de mortalité à toutes les doses, montrant une efficacité constante quel que soit le dosage (fig. 24).

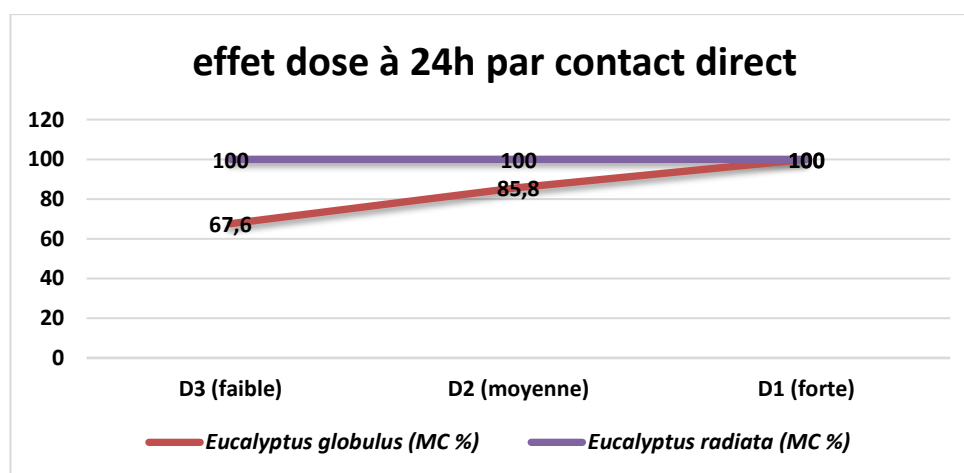


Figure 24. Courbes de l'effet dose des deux huiles essentielles formulées à 24 h par contact direct

III.5.2. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du *Tribolium castaneum* à 24 h par contact indirect (Résiduel)

De même que pour le contact direct, la mortalité à 24 h par contact indirect augmente avec la dose pour *Eucalyptus globulus* (67,17 % à 100 %), tandis que *Eucalyptus radiata* atteint 100 % quel que soit le dosage (fig. 25).

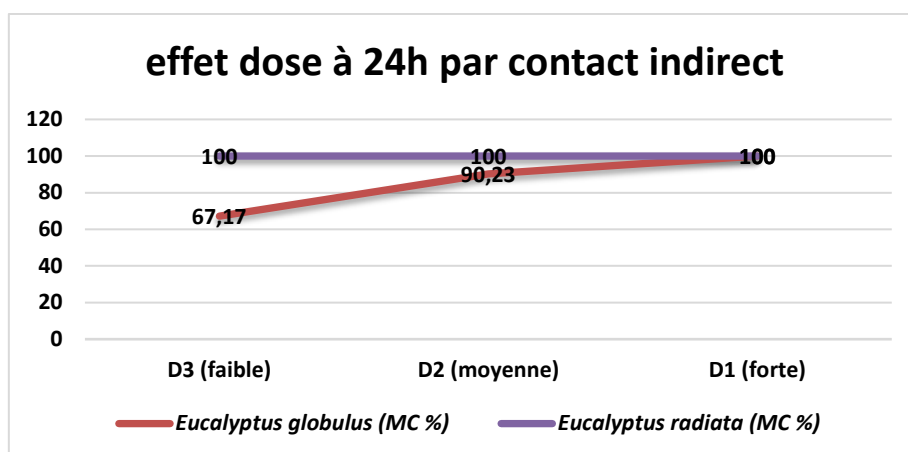


Figure 25. Courbes de l'effet dose des deux huiles essentielles formulées à 24 h par contact indirect

III.5.3. Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité du *Tribolium castaneum* à 24 h par inhalation

Selon la figure 26, la mortalité à 24 h par inhalation augmente avec la dose pour *Eucalyptus globulus*, passant de 69,23 % à 100 % alors que pour *Eucalyptus radiata*, la mortalité atteint 100 % à toutes les doses, confirmant une efficacité maximale indépendante du dosage. *E. radiata* s'avère plus efficace que *E. globulus*, notamment à faible dose.

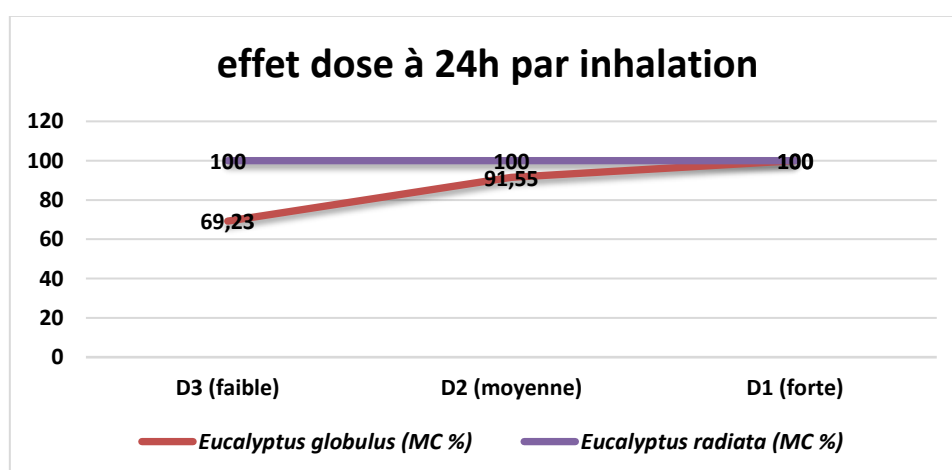


Figure 26. Courbes de l'effet dose des deux huiles essentielles formulées à 24 h par inhalation

III.6. Comparaison entre les différents modes d'application des deux huiles essentielles formulées à dose fixe à 24h

L'analyse comparative des modes d'application des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et *Eucalyptus radiata* à dose fixe (fig.27) vise à identifier la méthode la plus efficace pour lutter contre *Tribolium castaneum*.

À la dose la plus élevée D1, la mortalité atteint 100 % à 24 h quel que soit le mode, rendant la distinction impossible. C'est pourquoi la comparaison a été réalisée à la dose D2 à 24 h, permettant de mieux différencier l'efficacité des modes (contact direct, contact indirect et inhalation).

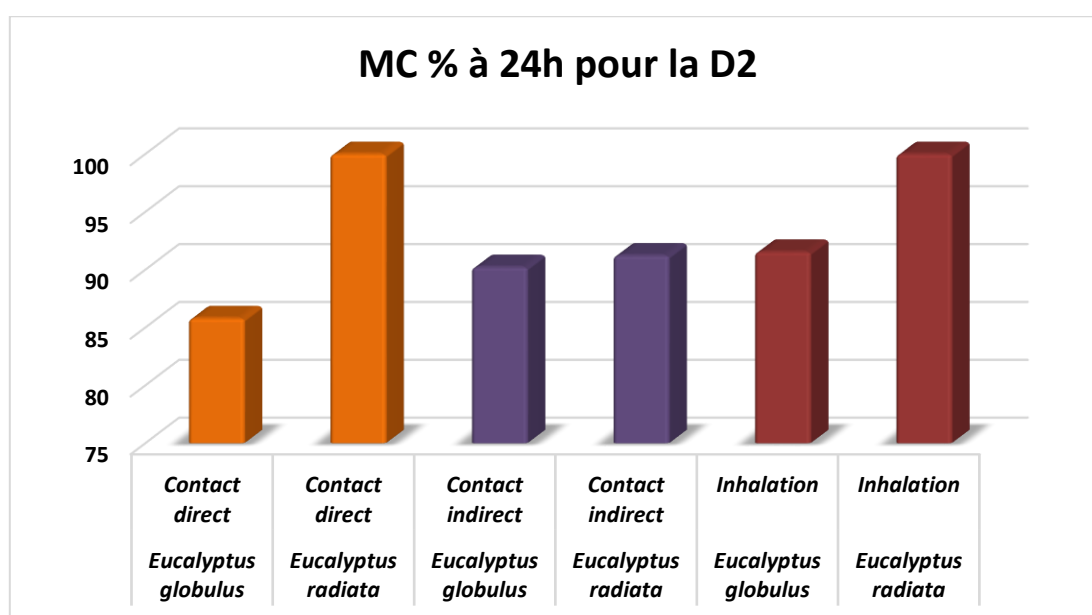


Figure 27. Histogramme de comparaison entre les modes d'application des deux huiles essentielles formulées à dose fixe à 24h

D'après l'histogramme de la figure 27 représentant l'effet comparatif des différents modes d'applications des deux bioformulations sur le taux de mortalité corrigée à la dose moyenne D2 et après 24 heures d'exposition, on constate que les deux huiles essentielles testées ont entraîné des taux de mortalité élevés, mais avec des différences notables selon le mode d'application.

Pour l'*Eucalyptus radiata*, les mortalités sont très homogènes et élevées, atteignant 100 % en contact direct et en inhalation, et 91,23 % en contact indirect. Cette régularité indique que cette huile est efficace quel que soit le mode utilisé.

En revanche, l'*Eucalyptus globulus* présente une efficacité plus variable. Le contact direct affiche les résultats les plus faibles (85,8 %), tandis que le contact indirect (90,23 %) et l'inhalation (91,55 %) permettent d'obtenir de meilleurs taux de mortalité. Cela montre que, pour cette huile, le mode d'application influence davantage les résultats.

III.7 Analyses statistiques

Les analyses de la variance (ANOVA) ont été menées dans le but d'évaluer l'effet des huiles essentielles formulées, des doses appliquées et des modes d'application sur la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum*. L'approche statistique a consisté à appliquer des ANOVA à un facteur pour identifier d'éventuelles différences significatives entre les modalités testées.

III.7.1 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée par contact direct

Tableau 4 : Résultats des analyses de type ANOVA par contact direct

A) *Eucalyptus Radiata* ; (B) *Eucalyptus Globulus*

One-way ANOVA A					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	3302,98	2	1651,49	3,065	0,06522
Within groups:	12929,9	24	538,746		
Total:	16232,9	26			

One-way ANOVA B					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	5758,63	2	2879,31	7,472	0,003
Within groups:	9248	24	385,333		
Total:	15006,6	26			

Deux ANOVA à un facteur ont été réalisées pour comparer l'effet de deux bioformulations, à base d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata*, sur la mortalité

corrigée des adultes de *Tribolium castaneum*, selon trois doses différentes appliquées par contact direct (Tab. 4).

Les résultats obtenus montrent que l'effet de la dose varie selon la bioformulation utilisée. Pour celle à base d'*Eucalyptus globulus*, l'effet de la dose est significatif ($p = 0,003$ avec $p < 0,05$), traduisant une relation dose-dépendante marquée, avec une toxicité croissante à mesure que la concentration augmente, comme le confirment les box plots (fig. 28).

En revanche, pour la bioformulation à base d'*Eucalyptus radiata*, aucune différence significative entre les doses n'a été observée ($p = 0,06522$), bien qu'une tendance à l'augmentation de la mortalité soit visible graphiquement (fig. 28).

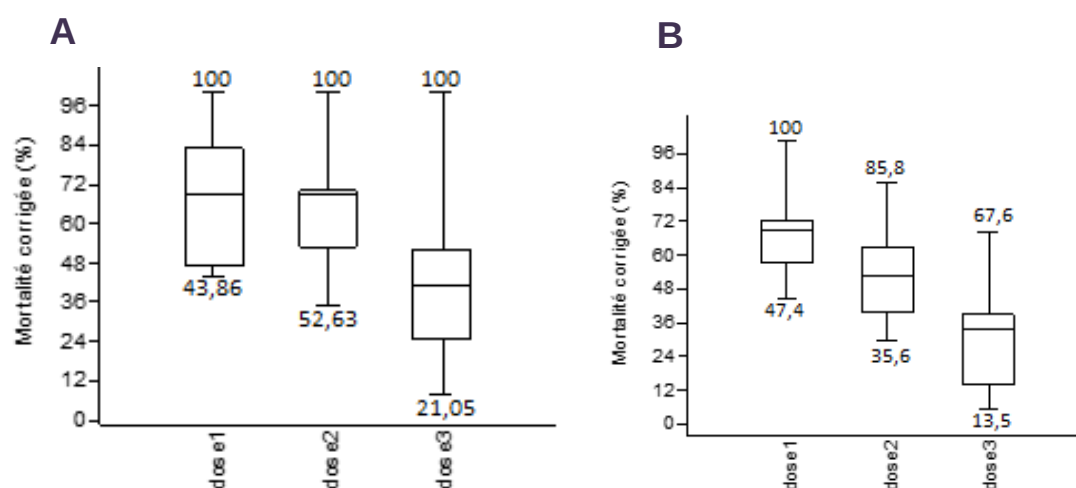


Figure 28. L'Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* par contact direct

(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

III.7.2 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles sur la mortalité corrigée par contact indirect.

Tableau 5 : Résultats des analyses de type ANOVA par contact indirect

(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

One-way ANOVA A					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	2969,74	2	1484,87	4,039	0,03076
Within groups:	8822,93	24	367,622		
Total:	11792,7	26			

One-way ANOVA B					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	4548,86	2	2274,43	6,883	0,004337
Within groups:	7930,07	24	330,42		
Total:	12478,9	26			

Deux ANOVA à un facteur ont été effectuées pour comparer l'effet des deux bioformulations, à base d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata*, sur la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* selon les doses appliquées par la méthode de contact résiduel

Les résultats de l'analyse (Tab. 5) ont révélé un effet significatif de la dose pour les deux bioformulations testées. Pour celle à base d'*Eucalyptus radiata*, une différence significative entre les doses a été observée ($p = 0,03076$ avec $p < 0,05$). De même, la bioformulation à base d'*Eucalyptus globulus* a présenté un effet hautement significatif ($p = 0,004337$).

Ces résultats indiquent qu'en application par contact indirect, les deux bioformulations exercent un effet insecticide dépendant de la concentration, avec une mortalité corrigée qui augmente en fonction des doses appliquées. Cette tendance est clairement visualisée à travers les boxplots, qui mettent en évidence la progression des taux de mortalité selon les concentrations (fig. 29).

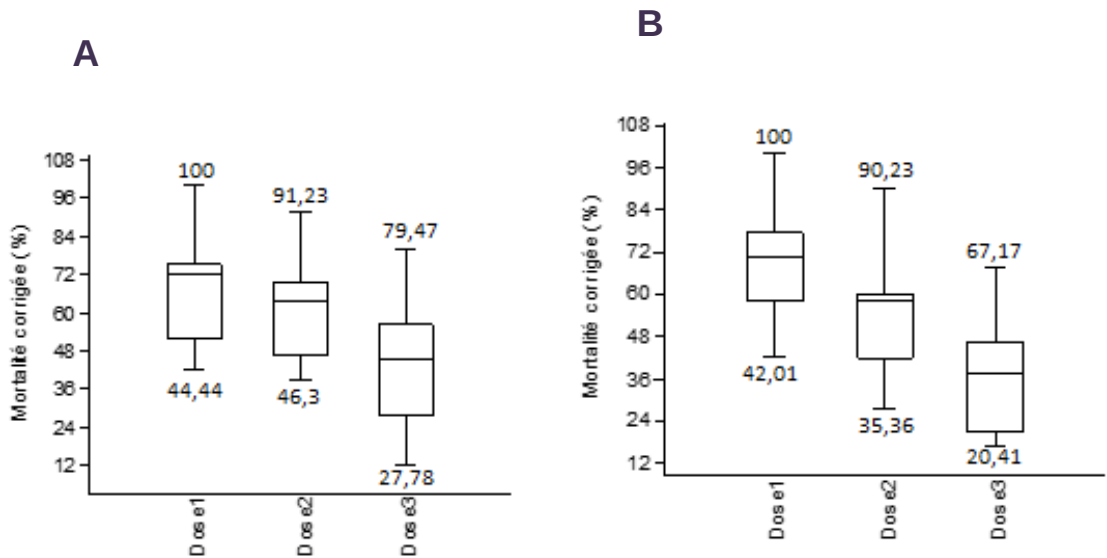


Figure 29. L'Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée du *Tribolium castaneum* par contact indirect
(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

III.7.3 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles sur la mortalité corrigée par inhalation

Tableau 6 : Résultats des analyses de type ANOVA *par inhalation*.
(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

One-way ANOVA					
A					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	3359,84	2	1679,92	4,048	0,03055
Within groups:	9959,53	24	414,98		
Total:	13319,4	26			

One-way ANOVA					
B					
	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	5046,88	2	2523,44	6,094	0,007238
Within groups:	9937,29	24	414,054		
Total:	14984,2	26			

Deux ANOVA à un facteur ont été réalisées pour comparer l'effet des deux bioformulations, à base d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata*, sur la mortalité

corrigée de *Tribolium castaneum* selon les doses appliquées par la méthode d'inhalation.

L'analyse de la variance de type ANOVA (Tab. 6), a révélé un effet significatif de la dose pour les deux bioformulations testées. Pour celle à base d'*Eucalyptus radiata*, l'effet dose est significatif ($p = 0,03055$ avec $p < 0,05$) traduisant une variation notable des mortalités corrigées selon la concentration. De même, la bioformulation à base d'*Eucalyptus globulus* présente une significativité encore plus marquée ($p = 0,007238$) indiquant un effet fortement dépendant de la dose appliquée.

Ces résultats confirment que le mode d'inhalation permet une action insecticide efficace pour les deux bioformulations, avec une mortalité augmentant proportionnellement avec la dose. Les box plots associés illustrent clairement cette relation dose-effet (fig. 30) suggérant que l'exposition par voie aérienne constitue une voie d'administration particulièrement efficace pour ces composés volatils.

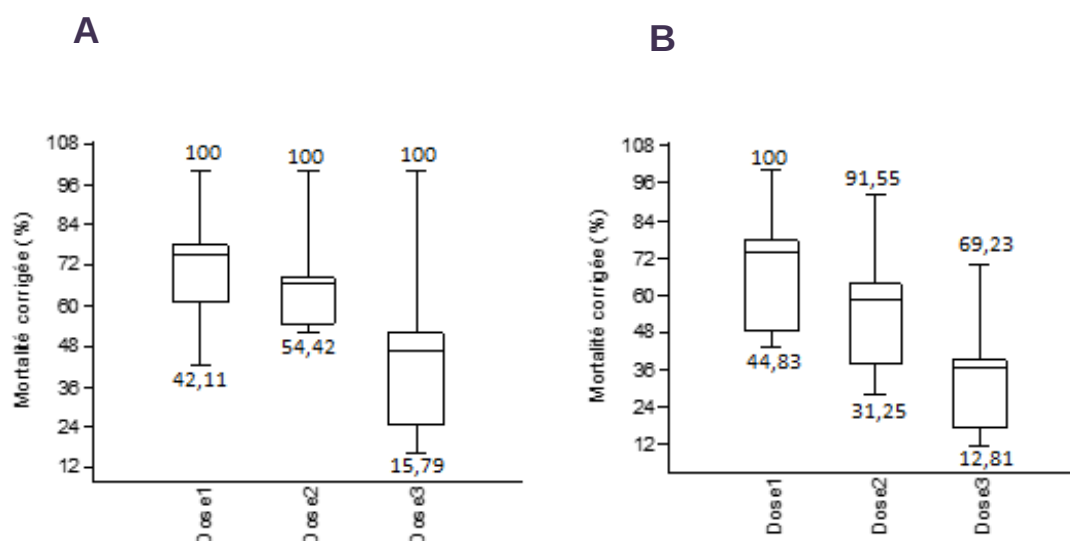
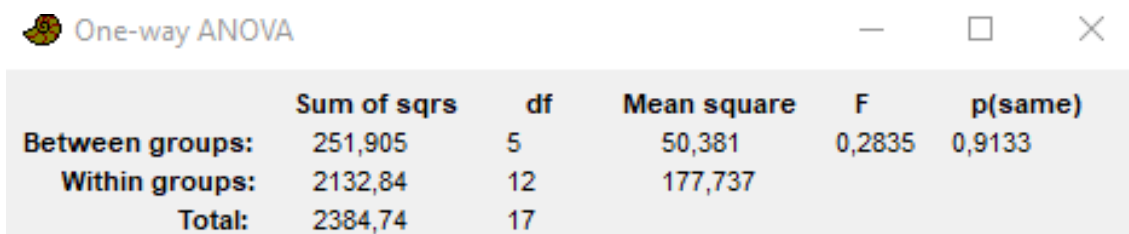


Figure 30. L'Effet dose des huiles essentielles sur la mortalité corrigée de *Tribolium castaneum* par inhalation

(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

III.7.4 Analyse de la variance (ANOVA) de l'effet des huiles essentielles formulées sur la mortalité corrigée selon le mode d'application

Tableau 7 : Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) des mortalités corrigées selon le mode d'application



	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	251,905	5	50,381	0,2835	0,9133
Within groups:	2132,84	12	177,737		
Total:	2384,74	17			

Une ANOVA à un facteur a été réalisée pour comparer l'effet combiné des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata*, appliquées selon les trois modes testés (contact direct, contact indirect et inhalation), sur la mortalité corrigée des adultes de *Tribolium castaneum* (Tab.7).

L'analyse de la variance a été réalisée à partir des mortalités corrigées enregistrées à 8 heures, car lorsque toutes les valeurs atteignent 100 %, il n'est plus possible d'effectuer une analyse statistique valide. L'absence de variation entre les groupes empêche en effet l'ANOVA de détecter d'éventuelles différences significatives.

Les résultats obtenus montrent que l'effet du mode d'application ne varie pas significativement selon l'huile essentielle utilisée. L'ANOVA à un facteur n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre les six modalités testées (GCD : *Eucalyptus globulus* par contact direct) ; GCIN : *Eucalyptus globulus* par contact indirect ; GI : *Eucalyptus globulus* par inhalation ; RCD : *Eucalyptus radiata* par contact direct ; RCIN : *Eucalyptus radiata* par contact indirect et RI : *Eucalyptus radiata* par inhalation) avec une probabilité ($P = 0,9133$; $P > 0,05$). Toutefois, les box plots révèlent une légère variation visuelle, notamment au niveau du groupe RC (*Eucalyptus radiata* par contact direct), qui semble induire une mortalité corrigée plus élevée que les autres (fig.31). Cette différence apparente n'a cependant pas été confirmée statistiquement, ce qui suggère qu'aucun mode d'application ne présente d'effet significatif dans les conditions expérimentales.

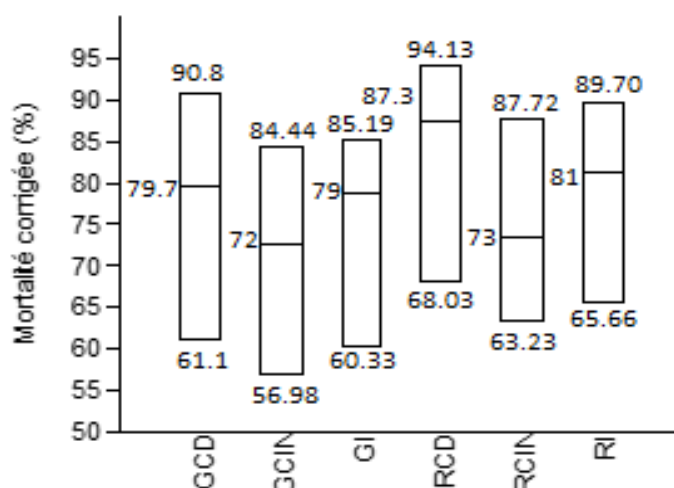


Figure 31. Effet du mode d'application des huiles essentielles sur la mortalité corrigée de *Tribolium castaneum*

GCD : Globulus contact direct ; GCIN : Globulus contact indirect ; GI : Globulus inhalation ; RCD : Radiata contact direct ; RCIN : Radiata contact indirect ; RI : Radiata inhalation

III.8. Détermination de la DL50 et de la TL50

La détermination de la dose létale 50 % (DL50) et du temps léthal 50 % (TL50) constitue une étape clé pour quantifier précisément l'efficacité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* contre les populations de *Tribolium castaneum*.

La DL₅₀ Correspondant à la dose de l'huile essentielle provoquant la mort de 50 % des insectes à 24 heures est calculée pour chaque mode d'exposition (contact direct, contact indirect, inhalation) et pour chaque bioformulation d'huile essentielle.

De même la TL₅₀ relative au temps nécessaire pour tuer 50 % des insectes à une dose fixe est déterminée pour chaque mode d'exposition et chaque huile essentielle testée.

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux récapitulatifs permettant une comparaison facile des performances des huiles essentielles formulées selon les modes d'application.

Tableau 8. Les valeurs de la (DL_{50}) des deux bioformulations selon le mode d'application

(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

A		B	
Mode d'exposition	DL_{50} (g/ml)	Mode d'exposition	DL_{50} (g/ml)
Contact direct	0.27	Contact direct	0.33
Contact indirect	0.27	Contact indirect	0.35
Inhalation	0.26	Inhalation	0.28

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessus, montrent clairement que l'huile essentielle d'*E. radiata* présente une efficacité insecticide plus marquée que celle d'*E. globulus*, avec des valeurs de DL_{50} systématiquement plus faibles dans les trois modes d'exposition (0,27 g/ml en contact direct, 0,27 g/ml en contact indirect et 0,26 g/ml en inhalation, contre 0,33 ; 0,35 et 0,28 g/ml pour *E. globulus*). Cette différence indique une toxicité plus élevée à concentration équivalente, ce qui en fait une solution efficace même à faibles doses

Tableau 9. Les valeurs de (TL_{50}) des deux bioformulations selon le mode d'application

(A) *Eucalyptus radiata* ; (B) *Eucalyptus globulus*

Mode d'exposition	Dose	(A) TL_{50} (h) (<i>E. radiata</i>)	(B) TL_{50} (h) (<i>E. globulus</i>)
Contact direct	D1	1.26	2.17
	D2	1.73	2.37
	D3	5.04	6.38
Contact indirect	D1	1.46	2.23
	D2	2.39	2.58
	D3	3.86	6.32
Inhalation	D1	1.93	1.54
	D2	3.13	1.03
	D3	5.67	6.12

Selon les résultats obtenus dans le tableau 9, cette supériorité de toxicité est clairement mise en évidence par l'analyse des TL_{50} . En effet, *Eucalyptus radiata* montre une vitesse d'action plus rapide que *E. globulus* dans presque tous les cas.

En contact direct, à dose forte (D1), le TL_{50} de *E. radiata* est de 1,26 h, contre 2,17 h pour *E. globules*, Cette tendance se confirme à dose moyenne (D2) avec 1,73 h contre 2,37 h, et à dose faible (D3) avec 5,04 h contre 6,38 h, ce qui montre une efficacité constante de *E. radiata*.

En contact indirect, le TL_{50} d'*E. radiata* est également plus performant. À D1, il est de 1,46 h contre 2,23 h pour *E. globulus* ; à D2, 2,39 h contre 2,58 h ; et surtout à D3 qui affiche 3,86 h contre 6,32 h, soit une différence marquée.

Ces différences suggèrent que la bioformulation d'*E. radiata* bénéficie d'une meilleure diffusion et volatilité de ses composés actifs, particulièrement en mode contact, ce qui lui confère une action plus rapide et plus efficace contre *Tribolium castaneum* dans la majorité des cas.

Chapitre IV

Discussion

Chapitre IV : Discussion

Le choix de comparer spécifiquement les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* repose à la fois sur des considérations scientifiques, économiques et environnementales. Ces deux espèces sont largement cultivées dans diverses régions d'Algérie, notamment *E. globulus*, qui est historiquement utilisée en aromathérapie et en médecine traditionnelle (**Boughediri et al., 2015 ; Benjama et al., 2021**) *E. radiata*, quant à elle, est une espèce plus récente mais prometteuse, en raison de sa forte teneur en 1,8-cinéole et de sa meilleure tolérance aux conditions climatiques (**Batish et al., 2008 ; Abdelgaleil et al., 2016**). Comparer leur efficacité permet ainsi de valoriser des ressources végétales locales et de proposer des alternatives naturelles aux insecticides chimiques.

Le rendement d'extraction correspond au pourcentage d'huile essentielle obtenu à partir de la biomasse végétale traitée, selon la formule classique décrite par **Williams et al., (1994)**. Dans cette étude, le rendement d'extraction de l'huile essentielle de *Eucalyptus radiata* est de 0,25 %, obtenu par hydrodistillation à partir de 20 kg de feuilles sèches. Ce rendement est conforme aux valeurs rapportées dans la littérature pour le genre *Eucalyptus*, notamment chez *Eucalyptus globulus*, où les rendements varient généralement entre 0,2 % et 1 % (**Boutekedjiret et al., 2003**).

À titre comparatif, certaines plantes issues d'autres familles, comme *Senecio angulatus* (Asteraceae) ou *Croton geayi* (Euphorbiaceae), produisent des rendements très inférieurs, de l'ordre de 0,006 % à 0,03 %, ce qui confirme que les espèces du genre *Eucalyptus* sont globalement plus riches en composés volatils (**Aalberser et al., 1991 ; Usman et al., 2013**). Ces variations peuvent s'expliquer par des facteurs bioclimatiques, génétiques et technologiques, comme l'humidité du végétal, le stade de récolte ou encore le type d'extracteur utilisé (**Figueiredo et al., 2008 ; Zaouali et al., 2010**).

Dans notre cas, les essais ont porté sur des bioformulations liquides préparées à partir des huiles essentielles d'*E. globulus* et d'*E. radiata*. Ces formulations incluent non seulement l'huile essentielle comme matière active, mais également un tensioactif naturel, dans le but d'améliorer leur stabilité, leur dispersion, et leur efficacité entomotoxique. Ce choix technique s'inspire des méthodes actuelles de

développement de bioproduits phytosanitaires respectueux de l'environnement (**Bencheikh et al., 2018 ; Kumar et al., 2019**).

Les huiles essentielles, en tant qu'agents naturels de défense produits par les plantes, sont reconnues pour leurs propriétés insecticides, fongicides et répulsives (**Batish et al., 2008 ; Kellouche et al., 2010**). Selon **Cseke et al., (1999)**, elles sont composées de métabolites secondaires comme les monoterpènes ou les phénols, qui perturbent le système nerveux des insectes cibles. Ces effets peuvent être renforcés par la formulation, car le tensioactif facilite la pénétration cuticulaire ou respiratoire chez l'insecte (**Isman, 2006**).

Cette efficacité accrue reviendrait également à la formulation du bioproduit, qui favorise la répartition homogène de l'huile essentielle, augmente sa biodisponibilité, et renforce sa capacité à atteindre les cibles biologiques.

Cependant, les résultats montrent que les bioproduits formulés à base d'*E. globulus* et surtout d'*E. radiata* présentent une activité insecticide significative contre les adultes de *Tribolium castaneum* avec une suprématie de toxicité de la bioformulation d'huile essentielle d'*E. radiata*, qui a entraîné 100 % de mortalité à 24 h, quel que soit le mode d'exposition, même à la plus faible dose (D3 = 0,7 %). Ce niveau d'efficacité rejoint les travaux de **Shaaya et al., (1991)**, qui ont signalé des effets létaux rapides avec les huiles essentielles de thym, de basilic et de lavande sur des ravageurs des stocks.

L'efficacité marquée d'*E. radiata* serait probablement liée à sa composition riche en 1,8-cinéole (70 %), un monoterpène oxygéné bien connu pour ses propriétés neurotoxiques chez les insectes (**Enan, 2001**), ainsi qu'à la présence d'autres composés actifs comme le limonène, l' α -pinène, ou encore le terpinen-4-ol (**Gong et al., 2020 ; Plata-Rueda et al., 2020**).

Concernant les modes d'application, le contact direct s'est révélé le plus efficace, suivi de l'inhalation, puis du contact indirect. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par **Papachristos et Stamopoulos (2002)** et **Tripathi et al., (2003)**, qui ont montré que le contact immédiat avec une surface traitée permet une

pénétration rapide des composés actifs à travers la cuticule de l'insecte, provoquant une action toxique directe. En revanche, le mode résiduel (contact indirect) repose essentiellement sur la persistance des composés sur le support, de même que sur la capacité de l'insecte à rester exposé suffisamment longtemps, ce qui peut réduire son efficacité.

Le mode de traitement par inhalation présente une efficacité moyenne par rapport aux autres modes. Il agit lorsque les insectes respirent les vapeurs des huiles essentielles à travers leurs petits orifices respiratoires appelés spiracles. Ce mode est surtout efficace avec des molécules très volatiles, comme les monoterpènes, qui s'évaporent facilement dans l'air. Les composés se répartissent alors de façon homogène dans un espace fermé, ce qui peut entraîner une action toxique sur l'insecte. Cependant, l'efficacité de cette méthode dépend de plusieurs facteurs : la concentration des vapeurs, la taille de l'espace traité, le temps d'exposition, et la sensibilité de l'insecte concerné (**Nerio et al., 2009 ; Regnault-Roger et al., 2012**). Dans un environnement fermé, comme un silo ou un récipient de stockage, le mode d'inhalation peut donc représenter une solution intéressante, car il ne nécessite pas de contact direct avec les aliments.

Les données de la DL₅₀ (dose létale 50 %) confirment que le bioproduit à base d'*E. radiata* est plus toxique que celui d'*E. globulus*, avec des DL₅₀ plus faibles dans les trois modalités (0,27 g/ml en contact direct pour *E. radiata* contre 0,33 g/ml pour *E. globulus*).

De même, les TL₅₀ (temps létaux 50 %) ont révélé une vitesse d'action plus rapide pour *Eucalyptus radiata*, notamment en inhalation à dose moyenne (TL₅₀ = 1,03 h) comparé à celle de *E. globulus* (TL₅₀ = 3,13 h). Ce délai court est en partie dû à la bonne volatilité du 1,8-cinéole, mais aussi à l'effet optimisé de la bioformulation, comme suggéré par **Khalfi-Habes et al., (2010)** dans leurs travaux sur les huiles essentielles de thym, origan et romarin.

Sur le plan chimique, l'huile essentielle de *E. globulus* est généralement riche en 1,8-cinéole, dont la teneur varie entre 55 % et 85 %, selon l'origine géographique, accompagnée de composés comme l' α -pinène, le p-cymène et le limonène (**Djellouli et al., 2022 ; Ben El Hadj Ali et al., 2015**). En comparaison, *E. radiata* contient

également une forte proportion de 1,8-cinéole (57 à 71 %), mais présente une teneur plus élevée en α -pinène (jusqu'à 21 %), ce qui pourrait renforcer son activité insecticide (**Regnault-Roger et al., 2012**). Ces différences de composition peuvent expliquer la toxicité plus rapide observée chez *E. radiata*, notamment par inhalation, où la volatilité et la nature des monoterpènes jouent un rôle crucial dans l'absorption et l'action sur l'insecte.

Cette étude met en évidence le fort potentiel des bioproduits formulés à base d'huiles essentielles d'eucalyptus, en particulier celui d'*E. radiata*, comme alternative naturelle, efficace et rapide contre les ravageurs des denrées stockées. Leur performance à faible dose et leur rapidité d'action en font de bonnes options pour les méthodes de lutte biologique ou intégrée.

Conclusion

Conclusion

La présente étude vise à comparer l'efficacité insecticide de deux bioproduits formulés à base d'huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et d'*Eucalyptus radiata* sur les adultes de *Tribolium castaneum*, un ravageur majeur des denrées alimentaires stockées. Cette évaluation, conduite au laboratoire, a été réalisée selon trois modes d'application (contact direct, résiduel et inhalation) et trois doses (D1, D2 et D3) à travers l'analyse des paramètres de mortalité, de DL_{50} et de TL_{50} .

L'analyse comparative de l'efficacité temporelle des deux bioformulations a montré qu'à doses égales, l'huile essentielle d'*E. radiata* se distingue par sa supériorité en termes de toxicité et de rapidité d'action. Cependant, elle induit des mortalités plus élevées que ceux d'*E. globulus*, notamment à faible dose et selon le mode d'application (100 % pour *E. radiata*, 67,6 % pour *E. globulus* par contact direct ; 79,47 % et 67,17 % par contact indirect ; 100 % et 69,23 % par inhalation). Elle présente également des temps létaux plus courts (5,04 h et 6,38 h en contact direct ; 3,86 h et 6,32 h en contact indirect ; 5,67 h et 6,12 h par inhalation)

Les modes d'application par contact direct et par inhalation se sont révélés les plus efficaces au cours des tests réalisés. Ils ont entraîné des taux de mortalité significativement plus élevés par rapport au mode de contact résiduel, ce qui témoigne d'une meilleure capacité des huiles essentielles à atteindre et affecter les insectes dans ces conditions. Cette double efficacité suggère que ces deux modes d'exposition représentent des voies d'application particulièrement intéressantes dans une optique de lutte contre *Tribolium castaneum*. Par ailleurs, il ressort que le mode d'application influence davantage l'efficacité d'*E. globulus*, comme le montrent les mortalités corrigées à la dose D2 après 24 heures, qui atteignent 85,8 % par contact direct, 90,23 % par contact indirect et 91,55 % par inhalation, alors que l'*E. radiata* reste performant dans toutes les conditions testées.

Ce travail souligne le potentiel des huiles essentielles, notamment celle d'*E. radiata*, comme alternative naturelle, efficace et stable aux insecticides chimiques. Elles offrent une solution durable et prometteuse pour l'agroécologie.

Pour approfondir cette recherche et envisager son application à l'échelle industrielle, plusieurs axes peuvent être explorés :

1. Étudier l'effet des formulations sur d'autres stades de développement de l'insecte (larves, œufs) afin d'évaluer l'efficacité globale du traitement.
2. Appliquer le traitement par inhalation à base d'*Eucalyptus radiata* sur des denrées alimentaires infestées, telles que la farine, sans contact direct, afin d'évaluer la mortalité des insectes dans un support alimentaire réel. Ce mode d'application a été privilégié car il s'est révélé le mieux adapté dans le contexte de la lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Il permet une action rapide des composés volatils, tout en évitant un contact direct avec l'aliment, ce qui réduit les risques de modification du goût, de l'odeur ou de la qualité de la farine. Cette approche constituerait une étape cruciale pour valider l'usage pratique du bioproduit dans un contexte de stockage industriel.
3. Mener des analyses chimiques approfondies pour identifier les composés actifs responsables de l'effet insecticide.
4. Évaluer l'impact du traitement sur la qualité technologique et nutritionnelle de la farine traitée, à travers différentes analyses couramment utilisées. Cela inclut des paramètres physico-chimiques (humidité, protéines, gluten, pH, cendres), des analyses rhéologiques (alvéographe, farinographe), ainsi que des tests sensoriels et technologiques (couleur, goût, odeur, texture). Ces évaluations sont essentielles pour garantir que le traitement n'altère pas la qualité fonctionnelle de la farine.
5. Évaluer la stabilité du bioproduit à base de *E. radiata* selon différentes conditions de stockage (température, durée, exposition à la lumière) afin de garantir une efficacité constante dans le temps.

Références

bibliographiques

A

- **Abadlia, S., & Chebbour, A. (2014).** *Production des huiles essentielles : mécanismes de biosynthèse, méthodes d'extraction et analyse*. Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen.
- **Abdallah, R., Hassan, A. A., & Mohamed, E. A. (2019).** Post-harvest losses of cereals and pulses and their impacts on food security. *African Journal of Food Science*, 13(2), 37–42.
- **Abdelgaleil, S. A. M., Mohamed, M. I. E., Badawy, M. E. I., & El-Arami, S. A. A. (2016).** Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Pest Science*, 89, 219–229. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-015-0673-z>
- **Aggarwal, K. K., Tripathi, A. K., Prajapati, V., & Kumar, S. (2001).** Toxicity of 1,8 cineole towards three species of stored-product coleopterans. *International Journal of Tropical Insect Science*, 21(2), 155–160. <https://link.springer.com/article/10.1017/S1742758400020208>
- **Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009).** Impact of pesticides use in agriculture : Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2(1), 1–12. <https://sciendo.com/article/10.2478/v10102-009-0001-7>
- **Ali, A., Tabanca, N., Demirci, B., Baldin, E., & Wedge, D. E. (2017).** Chemical composition and biological activity of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus radiata* essential oils. *Natural Product Communications*, 12(8), 1241–1244.
- **Aalberser, G., Johnson, K., & Smith, B. (1991).** Essential oil yield in *Croton geayi* leaves: Seasonal variation. *Phytotherapy Research*, 5(1), 20–23. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.2650050106>
- **Andriamanantoanina, H. (1984).** *Contribution à l'étude des huiles essentielles utilisées dans la pharmacopée traditionnelle malgache* [Thèse de doctorat, Université de Madagascar].
- **Aouissi, H. A., Belattar, A., & Laouer, H. (2020).** Post-harvest cereal losses in Algeria : Current situation and strategies for reduction. *African Journal of Agricultural Research*, 15(6), 825–832.
- **Arthur, F. H. (1996).** Grain protectants: Current status and prospects for the future. *Journal of Stored Products Research*, 32(4), 293–302.

- **Arthur, F. H. (2020).** Insect resistance to fumigants and structural insecticides in stored product and food industry pest management. *Insects*, 11(9), 613.
- **Athie, I., & Mills, K. A. (2005).** Resistance to phosphine in stored grain insect pests in Brazil. *Journal of Stored Products Research*, 41(3), 295–303.

B

- **Baccari, R., Mahrous, E., & Marzouk, B. (2020).** Insecticidal activity of *Ferula tunetana* essential oil against *Tribolium castaneum*. *Industrial Crops and Products*, 154, 112536.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669020306928>
- **Bakkali, F., Averbek, S., Averbek, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691507004541>
- **Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2009).** *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications*. CRC Press.
- **Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Kaur, S. (2008).** Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, 256(12), 2166–2174.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112708006166>
- **Benabadji, N. (2005).** Les grandes étapes de l'introduction et de l'acclimatation des espèces végétales en Algérie. *Revue des Sciences et Technologies*, 23, 87–96.
- **Bencheikh, H., Allali, H., & Benmehdi, H. (2018).** Formulation et caractérisation de biopesticides à base d'huiles essentielles. *Journal Algérien des Régions Arides*, 16(2), 17–25.
- **Bencheikh, H., Khelifi, L., & Bourliva, A. (2018).** Formulation of biopesticides based on essential oils for post-harvest protection. *Journal of Plant Protection Research*, 58(3), 239–246. <https://www.plantprotection.pl>
- **Benelli, G., & Pavela, R. (2018).** Repellence of essential oils and selected compounds against ticks – A systematic review. *Acta Tropica*, 179, 47–54.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8617816/>

- **Benfarhat, N. (2013).** *Évaluation des huiles essentielles d'origan, thym et romarin contre Tribolium castaneum* [Thèse de doctorat, Université d'Alger].
- **Benjama, A., Ould El Hadj-Khelil, A., & Kabouche, A. (2021).** Composition chimique et propriétés biologiques des huiles essentielles d'espèces d'eucalyptus cultivées en Algérie. *Phytothérapie*, 19, 216–225.
- **Boughediri, L., Touahria, M., & Ladjel, S. (2015).** Étude comparative des huiles essentielles de trois espèces d'eucalyptus. *Revue des Bioressources*, 5(1), 19–26.
- **Ben El Hadj Ali, I., Mekki, I., Zaouali, Y., & Marzouk, B. (2015).** Variation in essential oil composition of *Eucalyptus globulus* leaves collected at different ages. *Journal of Essential Oil Research*, 27(5), 423–430.

C

- **Campbell, J. F., Arthur, F. H., & Mullen, M. A. (2019).** Insect management in food processing facilities. In C. G. Athanassiou & F. H. Arthur (Eds.), *Recent advances in stored product protection* (pp. 363–382). Springer.
- **Cseke, L. J., & Kaufman, P. B. (1999).** Biological activities of essential oils. In P. B. Kaufman (Ed.), *Natural products from plant sources* (pp. 445–461). CRC Press.

D

- **Djellato, A. (2018).** *Étude morphologique et écologique de quelques espèces d'eucalyptus introduites en Algérie* [Mémoire de Master, Université de Bejaïa].
- **Djellouli, A., Djellouli, S., Bensouici, C., & Boukhatem, M.N. (2022).** Chemical composition and insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* essential oil against *Tribolium castaneum*. *Natural Product Research*, 36(1), 83–87.

E

- **EFSA (European Food Safety Authority). (2018).** Risks for animal and human health related to the presence of fumonisins in food and feed. *EFSA Journal*, 16(5), e05242.
- **Enan, E. (2001).** Insecticidal activity of essential oils: Octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 130(3), 325–337.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1532045601002551>

F

- **FAO. (2015).** *The state of food and agriculture : Social protection and agriculture : Breaking the cycle of rural poverty*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **FAO. (2019).** *L'état des forêts en Méditerranée 2018*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- **FAO. (2020).** *Integrated pest management strategies and policies for sustainable agriculture*. FAO.
- **FAO. (2021).** *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*. <https://openknowledge.fao.org/bitstreams/1c38676f-f5f7-47cf-81b3-f4c9794eba8a/download>
- **Fagg, M., & Parsons, M. (2011).** *Eucalypts: A celebration*. Allen & Unwin.
- **Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Smadja, J., & Chemat, F. (2006).** An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from aromatic plants. *Journal of Chromatography A*, 1112(1–2), 121–126. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967305024234>
- **Fields, P. G. (2006).** Effect of low and high temperatures on stored-product insects. In J. W. Heaps (Ed.), *Insect management for food storage and processing* (2nd ed., pp. 195–224). AACC International.
- **Fields, P. G., & White, N. D. G. (2002).** Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 331–359.
- **Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., & Pedro, L. G. (2008).** Factors affecting secondary metabolite production in aromatic plants. *Industrial Crops and Products*, 27(2), 106–118. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8706428/>

G

- **Gong, J., & Ren, Y. (2020).** Synergistic insecticidal activity of monoterpenes in essential oils. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104591. <https://sci-hub.se/10.1016/j.pestbp.2020.104591>

- **Guedes, R. N. C., Lorini, I., & Moino, A. (2011).** Integrated pest management in stored products in Brazil : Current status and prospects. *Stewart Postharvest Review*, 7(2), 1–8.
- **Guenther, E. (1948).** *The essential oils: History–origin in plants–production–analysis*. D. Van Nostrand Company.
- **Guenther, E. (1972).** *The essential oils* (Vols. I–VI). Robert E. Krieger Publishing Company.
- **Gurusubramanian, G., Kumar, N. S., Krishnan, M., & Dutta, P. (2020).** Botanical biopesticides : Scope and limitations. In A. K. Dhawan et al. (Eds.), *Biopesticides in sustainable agriculture* (pp. 113–138). Springer.

H

- **Haines, C. P. (1991).** *Insects and arachnids of tropical stored products: Their biology and identification* (2nd ed.). Natural Resources Institute.
- **Hamoudi, A. (2000).** *Étude de l'effet insecticide de quelques huiles essentielles sur Tribolium castaneum* [Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen].
- **Hinton, H. E. (1945).** *A monograph of the beetles associated with stored products* (Vol. 1). British Museum (Natural History).
- **Holloway, J. C., Opit, G. P., & Phillips, T. W. (2016).** Resistance status of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) collected from retail pet food stores. *Journal of Stored Products Research*, 68, 36–45.

I

- **Isman, M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608.
- **Isman, M. B. (2006).** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66.
- <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- **Isman, M. B. (2020).** Botanical insecticides in the twenty-first century—Fulfilling their promise ? *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11064588/>

J

- **Jagadeesan, R., Collins, P. J., Ebert, P. R., & Schlipalius, D. I. (2012).** Genetic analysis of phosphine resistance in the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. *Pest Management Science*, 68(9), 1124–1130.

K

- **Keeley, J. E. (2012).** Ecology and evolution of pine life histories. *Annals of Forest Science*, 69(4), 445–453.
- **Keeley, J. E., Pausas, J. G., Rundel, P. W., Bond, W. J., & Bradstock, R. A. (2011).** Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406–411.
- **Khelfaoui, H., Berchi, S., & Mekki, A. (2021).** Évaluation de la résistance aux insecticides chez *Tribolium castaneum* dans des stocks de blé en Algérie. *Algérie Science et Technologie*, 54, 29–38.
- **Khalfi-Habes, C., Benouda, M., & Maoka, T. (2010).** Contact and fumigant toxicity of essential oils of Lamiaceae against *Rhyzopertha dominica*. *Journal of Stored Products Research*, 46(1), 34–40.
<https://sci-hub.se/10.1016/j.jspr.2009.10.003>
- **Khosravi, R., & Sendi, J. J. (2013).** Effect of *Eucalyptus* essential oils on biological parameters of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Plant Protection Research*, 53(4), 339–344.
<https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0050>
- **Kim, S. I., Roh, J. Y., Kim, D. H., Lee, H. S., & Ahn, Y. J. (2003).** Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *Journal of Stored Products Research*, 39(3), 293–303.

L

- **Lakrous, K. (2017).** *Évaluation de l'activité insecticide et répulsive de l'huile essentielle de Rosmarinus officinalis* [Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou].

- **Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004).** Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: Comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043(2), 323–327. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15330107/>
- **Lucia, A., Zerba, E., & Masuh, H. (2009).** Composition and biological activities of essential oils from *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus radiata* (Myrtaceae) against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 104, 1103–1108. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1295-4>

M

- **Majdoube, M., El Bouajaji, M., & Ait El Cadi, M. (2013).** Activité insecticide et répulsive de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis*. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 82, 153–160.
- **Mansouri, H., Bouaziz, A., & Touahria, M. (2017).** Stockage et conservation des céréales en Algérie : État des lieux et perspectives. *Revue Agriculture*, 30(1), 15–24.
- **Medour-Sahar, O. (2016).** L'eucalyptus : Un atout pour la foresterie en Algérie ? *Revue Forêt Méditerranéenne*, 37(4), 347–353.
- **Mekelleche, S. (2015).** *Étude phytochimique et biologique des huiles essentielles de Eucalyptus globulus récolté à l'Est algérien* [Mémoire de Master, Université de Constantine 1].
- **Melun, R., & Nguyen, M. (2012).** *Les eucalyptus : Adaptations écologiques et perspectives de reboisement*. Éditions L'Harmattan.
- **Miller, G. T., Spoolman, S., & Withgott, J. (2012).** *Environmental science*. Cengage Learning.
- **Mossa, A. T. H. (2016).** Green pesticides : Essential oils as biopesticides in insect-pest management. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(5), 354–378. <https://scialert.net/fulltext/?doi=jest.2016.354.378>

N

- **Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010).** Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1), 372–378.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6189689/>

O

- **Opit, G. P., Phillips, T. W., Aikins, M. J., & Hasan, M. M. (2012).** Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1107–1114.
- **Office National de la Météorologie. (2020).** Données climatiques de la région de Miliana. Alger : ONM. Consulté sur <http://www.meteo.dz>

P

- **Panagiotakopulu, E. (2000).** *Archaeology and entomology in the Eastern Mediterranean: Research into the history of insect synanthropy in the Aegean*. British Archaeological Reports International Series, 836. Oxford: Archaeopress.
- **Papachristos, D. P., & Stamopoulos, D. C. (2002).** Toxicity and repellency of essential oils to stored-product pests. *Journal of Economic Entomology*, 95(4), 823–830.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X01000078>
- **Pasquier, J. (1872).** *Voyage en Tasmanie : découverte des eucalyptus*. Archives du Muséum national d'histoire naturelle.
- **Pavela, R. (2015).** Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. *Industrial Crops and Products*, 76, 174–187.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.050>
- **Phillips, T. W., & Throne, J. E. (2010).** Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology*, 55, 375–397.
- **Pitt, J. I., & Miller, J. D. (2017).** A concise history of mycotoxin research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(33), 7021–7033.
- **Plata Rueda, A., Santana Cantillo, (2020).** Monoterpenes as botanical insecticides: A review of mode of action. *Journal of Pesticide Science*, 45(2), 67–78. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D20-005>

- **Prates, H. T., Santos, J. P., Waquil, J. M., Fabris, J. D., Oliveira, A. B., & Foster, J. E. (1998).** Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 34(4), 243–249.

R

- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control : Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
- **Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012).** Essential oils in insect control. In C. Regnault-Roger, C. Vincent & J. T. Arnason (Eds.), *Essential oils in insect control* (pp. 1–20). Springer.
[https://www.researchgate.net/profile/Charles-Vincent-4/post/Hi everybody who of researchs can help about effect plant essential oils on nervous system insect/attachment/5c94ba383843b03424328d43/AS%3A739201888825357%401553250872315/download/Regnault-Roger-EssentialOils%28AnnuRevEntomol-2012%29.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Charles-Vincent-4/post/Hi%20everybody%20who%20of%20researchs%20can%20help%20about%20effect%20plant%20essential%20oils%20on%20nervous%20system%20insect/attachment/5c94ba383843b03424328d43/AS%3A739201888825357%401553250872315/download/Regnault-Roger-EssentialOils%28AnnuRevEntomol-2012%29.pdf)
- **Rees, D. (2004).** *Insects of stored products*. CSIRO Publishing.
- **Reverchon, E., & De Marco, I. (2006).** Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. *The Journal of Supercritical Fluids*, 38(2), 146–166.

S

- **Sadlon, A. E., & Lamson, D. W. (2010).** Immune-modifying and antimicrobial effects of Eucalyptus oil and simple inhalation devices. *Alternative Medicine Review*, 15(1), 33–47.
- **Sanon, S., Harouna, E., Kantio, H., & Gbeassor, M. (2002).** Neurotoxic effects of essential oils against insect pests. *Journal of Chemical Ecology*, 28(10), 1945–1956. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021112930703>
- **Shaaya, E., Kostjukovski, M., & Zisman, U. (1991).** Insecticidal activity of essential oils from plants. *Journal of Economic Entomology*, 84(3), 658–662. <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge->

core/content/view/CEE0357C932232BD4D396585BC4AABCD/S0022474X00038841a.pdf

- **Southwell, I. A., Lowe, R., & Caboche, C. H. (2003).** Eucalyptol concentration in Eucalyptus species: Variability and standardisation. *Journal of Essential Oil Research*, 15(5), 289–295.
- **Subramanyam, B., & Hagstrum, D. W. (2000).** *Alternatives to pesticides in stored-product IPM*. Springer.

T

- **Tapondjou, L. A., Adler, C., Bouda, H., & Fontem, D. A. (2005).** Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research*, 41(3), 397–402.
- **Tazerouti, F., Oukil, N., & Zitouni, A. (2020).** Valorisation des huiles essentielles d'eucalyptus dans la protection phytosanitaire. *Revue Nature & Technologie*, 22, 48–57.
- **Tripathi, A. K., Prajapati, V., & Kumar, S. (2003).** Fumigant toxicity of plant essential oils against *Tribolium castaneum*. *Journal of Natural Products*, 66(3), 348–351. https://www.researchgate.net/profile/V-Prajapati-4/publication/228466131_Fumigant_Toxicity_of_Plant_Essential_Oils_against_Tribolium_castaneum/links/0c9605327880baf07a000000/Fumigant-Toxicity-of-Plant-Essential-Oils-against-Tribolium-castaneum.pdf
- **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), 52–63

U

- **Usman, A., Grayer, R. J., & Simmonds, M. S. J. (2013).** Chemical and yield variation in *Senecio angulatus* essential oil. *Phytochemistry*, 95, 117–123. <https://sci-hub.se/10.1016/j.phytochem.2013.03.005>

W

- **Wakil, W., Yasin, M., & Ghazanfar, M. U. (2021).** Entomopathogenic fungi as biological control agents against stored-product pests. *Insects*, 12(4), 352.
- **Warot, B. (2006).** *L'eucalyptus : Arbre médicinal et industriel*. Éditions France Agricole.
- **WHO. (2020).** *The state of food security and nutrition in the world 2020 : Transforming food systems for affordable healthy diets*. World Health Organization.
- **Williams, W. C., & Lusunzi, D. M. (1994).** Essential-oil content and yield comparisons in lavender cultivars. *Journal of Essential Oil Research*, 6(3), 235–239.
- **Weather Atlas. (2024).** Yearly & Monthly Weather – Miliana, Algeria. Consulté sur : <https://www.weather-atlas.com/en/algeria/miliana-climate>

Z

- **Zaouali, Y., Vares, C., & Boukhris, M. (2010).** Influence of climatic factors on essential oil yield in *Eucalyptus globulus*. *Industrial Crops and Products*, 31(2), 234–242. <https://sci-hub.se/10.1016/j.indcrop.2009.11.003>



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ÉCOLOGIE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Maîtrise Académique en

Science de la Nature et de la Vie

Spécialité Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

**Effet comparé du potentiel insecticide de deux huiles
essentielles d'*eucalyptus***

Présenté par:

- BRAKNI Meriam
- SERSAB Ilham

Devant le jury composé de:

- | | | | |
|---------------------|------------|---------------|--------|
| • Mme REMINI L. | M.C.B | Présidente | USDB 1 |
| • Mme ALLAL L. | Professeur | Examinatrice | USDB 1 |
| • Mr MOUSSAOUI K. | M.A.A | Promoteur | USDB 1 |
| • Mme BABA-AISSA K. | M.A.A | Co-promotrice | USDB 1 |

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2024 / 2025

A.F.
H. LEMITI