



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 01
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES ET AGROÉCOLOGIE

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master En Sciences Agronomiques
Spécialité : Phytopharmacie et Protection des végétaux

Thème :

**Etude de l'effet de substances bioactives seules ou en
mélange contre un ravageur des denrées stockées
« *Ephestia kuehniella* (Zeller) »**

Présenté par :

TOUBAL Hadjer et BENAÏSSA Hiba

Soutenu devant les jurés :

| | | | |
|----------------|-----------------------------------|------------|--------------|
| Présidente : | M ^{me} KHEDDAR R. | M.C.B. | USD Blida 1 |
| Examinatrice : | M ^{me} BABA AÏSSA K. | M.A.A. | USD Blida 1 |
| Promotrice : | M ^{me} ALLAL BENFEKIH L. | Professeur | USD. Blida 1 |

Année Universitaire : 2024/2025



Remerciements

Louange à **Allah** Tout-Puissant pour nous avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires pour accomplir ce travail et mener à bien cette recherche.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à **Mme Leila Allal Benfekih**, notre directrice de thèse, pour son encadrement, ses conseils avisés et son soutien tout au long de cette étude. Son expérience et sa disponibilité ont été indispensables à la réalisation de ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à **Mme KHEDDAR R.** et **Mme Baba Aissa K**, membres du jury, pour leur intérêt pour cet ouvrage, ainsi que pour le temps qu'ils ont consacré à son évaluation et pour leurs conseils constructifs.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à l'équipe du Laboratoire **RAYHANE**, dont l'accueil, le soutien scientifique et les ressources disponibles ont grandement contribué à la réalisation de cette thèse. Leur soutien technique et leur disponibilité ont été inestimables dans la réalisation de cette recherche.

Nous tenons également à remercier **Mr CHIKHI H.**, et l'entreprise **BIOEXTRAPAMAL**, merci pour votre précieuse contribution et pour avoir rendu notre expérience si positive.

Nous sincères remerciements à nos familles, dont le soutien inestimable, les encouragements constants nous ont été précieux tout au long de ce parcours. Nos pensées vont également à nos amis et camarades de classe, avec qui nous avons partagé cette riche expérience.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Merci à chacun de vous pour votre contribution précieuse, votre encouragement et votre soutien indéfectible.

Qu'Allah récompense tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réussite de ces travaux.



Dédicaces

اللهم صل على النبي وآل النبي
الطيبين الطاهرين

À la mémoire de mon cher grand-père, Abdelhafid– que Dieu ait son âme –,

Ton souvenir, ta sagesse et tes valeurs demeureront à jamais gravés dans mon cœur, telle une lumière discrète guidant mes pas.

À mes parents bien-aimés, Hakim et Dalila,

Vous êtes les piliers de ma vie. Votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux, et votre foi en moi m'ont donné la force d'avancer. Vous m'avez transmis la noblesse du travail, l'humilité face à l'épreuve, et la beauté de la persévérance. Je vous serai éternellement reconnaissant.

À mes frères, Mohamed, Issam et Younes,

Mes compagnons de route, dont la tendresse, la loyauté et le soutien constant ont été une source de réconfort à chaque étape de mon parcours.

Chère Nada, compagne de l'âme,

Et voix d'espoir dans mes moments de doute. Merci pour ta foi en moi, ton amour sincère, ton aide inestimable et tes sacrifices silencieux qui ont su faire naître le sourire sur mon visage. Avec ton amour, la vie devient plus douce. Tu es la plus précieuse.

À ma binôme hiba,

Merci pour ta fidélité, pour avoir partagé les bons comme les mauvais moments avec sincérité.

À mes amies, toutes sans exception,

Vous avez coloré ma vie de vos présences lumineuses. Par vos gestes, vos attentions, et la sincérité de vos sentiments, vous m'avez comblé. Le véritable trésor d'une vie, ce sont les êtres qui nous entourent. Merci d'être mon trésor.

Hadjer.



Dédicaces

Toutes les groupes ne sauraient trouver les mots qu'il faut pour exprimer ma reconnaissance, c'est ainsi, que tout simplement que je dédie ce travail :

A mes très chers parents,

Ma mère Salima, la prunelle de mes yeux, celle qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ni sacrifices, ni privations ne l'ont empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ces enfants.

A mon papa adoré, Mouloud , qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur et sa douceur paternelle a été et sera toujours pour moi le plus grand des réconforts.

*À mon frère que j'aime plus que tout, ismail Abderrahim , mon grand frère,
Ton amour, ta force tranquille et ta présence protectrice ont toujours été un refuge pour moi. Tu as cru en moi même dans le silence, et ton regard bienveillant a souvent suffi à me redonner confiance.
Ce mémoire t'est dédié avec un amour immense et une reconnaissance profonde.*

*À mon petit frère Hamza,
Ta joie de vivre, ton innocence et ta lumière m'ont accompagnée dans les moments les plus stressants. Tu es petit par l'âge, mais si grand par la tendresse que tu m'offres.
Je t'offre aussi ces lignes, avec tout l'amour d'une grande sœur fière de toi.*

A ma chère binôme toubal hadjer avec qui j'ai partagé la joie et les difficultés relatives au suivit de ce travail, je l'exprime toute ma gratitude.

A Ceux qui ont toujours eu une pensée pour moi, à mes tantes et oncles, à mes cousins et cousines et à toute la famille Benaissa dont la simple présence a été un encouragement.

A mes amis youssra , farah , douaa et sans oublier tous ceux que je n'ai pu citer mais que je porte dans mon cœur, avec qui j'ai passé de merveilleux moments et à qui je souhaite toute la réussite du monde.

Ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit réalisé, je vous dis merci.

Hiba



Etude de l'effet de substances bioactives seules ou en mélange contre un ravageur des denrées stockées « *Ephestia kuehniella* (Zeller) »

Résumé :

Le présent travail s'intéresse à évaluer l'efficacité d'huiles essentielles d'origan, d'eucalyptus et de l'huile de sésame, utilisées seules ou en mélange, contre *Ephestia kuehniella*. Une revue bibliographique aborde la biologie de l'insecte et les méthodes de lutte alternatives. L'approche expérimentale inclut l'extraction des huiles, la préparation des traitements et des bios essais à 20°C et 25°C. Les résultats révèlent une mortalité plus élevée à 25°C et une synergie marquée dans les mélanges, notamment origan-eucalyptus. Des différences significatives entre les traitements ont été confirmées par analyse statistique. Enfin, l'étude des propriétés physico-chimiques de la farine a permis d'évaluer l'impact des traitements sur sa qualité.

Mots-clés : *Ephestia kuehniella*, huiles essentielles, origan, eucalyptus, sésame, lutte biologique, gestion des stocks

Abstract: A study of the effect of bioactive substances alone or in mixtures against a stored food pest '*Ephestia kuehniella* (Zeller)'.

This thesis evaluates the effectiveness of essential oils of oregano, eucalyptus, and sesame oil, used alone or in combination, in controlling the insect *Ephesus cohniella*. The literature review addresses the insect's biology and alternative control methods. The experimental approach includes oil extraction, treatment preparation, and bioassays at 20 and 25°C. The results show higher mortality at 25°C and significant synergism in the mixtures, particularly the oregano-eucalyptus mixture. Significant differences between treatments were confirmed by statistical analysis. Finally, the study of the physicochemical properties of flour allowed for an assessment of the impact of treatments on food quality.

Keywords: *Ephestia kuehniella*, essential oils, oregano, eucalyptus, sesame, biological control, bioassays, stored product management.

ملخص: دراسة حوثية انمادت ائتشتت بيننجيب منفردة أو في مخبنيظ ضد أفت الأعديت انمخشتت " *Ephestia kuehniella* " .

حُميم هذه انتراست فعينيت انشيتت اعطزيت من الأوريغيني والأوكينبخنص وسيج انسمم، ساء اسخُذمخ منفردة أو مُخهطت، في مكيفت حشرة إفسخيب كهنيللا. حخبول مزاجت الأدييت بيننجيب انحشزة وطرق انمكيفت انبذيت. يشم انتهج انخزيب اسخلاص انشيج، وحضيز انمعبجت، وإجزاء الاخبيراث انحببت عند درجي حرارة 02 و02 درجت منيب. حُطهر انتخبج ارحبعب في معذل انفييت عند 02 درجت منيب، وحأسراً مهحطب في انخهطت، وخببُت خهيط الأوريغيني والأوكينبخنص. ولذ حم حوكيد الاخلافت انكبيرة بين انمعبجت من خلال انخهيم الإحطبي. وأخيزاً، أحبج دراست انخطبض انقيشيببت وانكيميببت نهذليك حميم حوثيز انمعبجت عهي جده انذليك

الكلمات المفتاحية: *Ephestia kuehniella* ، انشيتت الأسبسي، الأوريغيني، الأوكينبخنص، انسمم، انمكيفت انيبنجيت، الاخبيراث انحببت، إدارة انمخجت انمخشتت.



Liste des figures

| N° | Figure | page |
|----|---|------|
| 01 | Adulte de <i>Ephestia kueniella</i> (Zeller)..... | 04 |
| 02 | Cycle biologique d' <i>Epestia kueniella</i> (Zeller)..... | 06 |
| 03 | Huile essentielle de l'origan..... | 13 |
| 05 | Huile essentielle de l'eucalyptus..... | 14 |
| 06 | Huile essentielle de sésame..... | 16 |
| 07 | Cage d'élevage utilisée pour l'expérimentation sur <i>Ephestia kuehniella</i> | 20 |
| 08 | Etapes d'extraction de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus..... | 23 |
| 09 | Etapes de la préparation des traitements à base d'origan..... | 25 |
| 10 | Préparation du tween et eucalyptus..... | 26 |
| 11 | Etapes de la préparation et de l'émulsion des solutions de traitements..... | 27 |
| 12 | Mélange de tween dilué et l'eucalyptus..... | 27 |
| 13 | Mélange de tween dilué et d'origan..... | 28 |
| 14 | Mélange de tween dilué et de sésam..... | 28 |
| 15 | Matériels utilisés pour l'évaluation de l'humidité de la farine..... | 31 |
| 16 | Matériels utilisés pour l'évaluation du Potentiel hydrogène..... | 33 |
| 17 | Matériels utilisés pour l'évaluation de l'acidité..... | 34 |
| 18 | Matériels utilisés pour l'évaluation du gluten..... | 34 |
| 19 | Pourcentage des mortalités des larves de <i>E. kuhniella</i> à 20°C et 25°C sous l'effet de l'application des traitements seul..... | 36 |



| | | |
|----|---|----|
| 20 | Pourcentage des mortalités des larves de <i>E. kuhniella</i> à 20°C et 25°C sous l'effet de l'application des traitements combinés..... | 37 |
| 21 | Effets des huiles seules aux températures 20°C et 25°C..... | 38 |
| 22 | Effet des huiles mélange aux températures 20°C et 25°C..... | 39 |
| 23 | Effet des huiles seules sur la mortalité corrigée d' <i>Ephestia kuehniella</i> | 41 |
| 24 | Effets des interactions traitement × temps et température × temps sur les pourcentages de mortalité corrigées chez <i>Ephestia kuehniella</i> | 42 |
| 25 | Effet des huiles mélanges sur la mortalité corrigée d' <i>Ephestia kuehniella</i> | 43 |
| 26 | Effets des interactions traitement × temps et température × temps sur les pourcentages de mortalité corrigées chez <i>Ephestia kuehniella</i> | 44 |



Liste des tableaux

| N° | Titre | Page |
|----|---|------|
| 01 | Produits et substances utilisées pour les <i>Ephestia kuehniella</i> pyrale de la farine | 21 |
| 02 | Répartition des traitements seuls à base d'huiles essentielles et d'huile végétale appliqués à 20 °C et 25 °C | 28 |
| 03 | Répartition des traitements mélanges à base d'huiles essentielles et d'huile végétale appliqués à 20 °C et 25 °C. | 29 |
| 04 | Résultats des analyses physico-chimiques sur la farine traitée. | 45 |

Liste des Abréviations

He : Huile essentielle

Hv : Huile végétale

ROS : Réactives de l'oxygène

T : témoin

Ph : Potentiel hydrogène



Table des matières

| | |
|---------------------------|----|
| Introduction | 01 |
|---------------------------|----|

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la pyrale de la farine « *Ephestia kuehniella* »

| | |
|--|----|
| I.1. Définition | 04 |
| I.2. Classification taxonomique | 04 |
| I.3. Cycle biologique..... | 06 |
| I.4. Impact économique et sanitaire..... | 07 |
| I.4.1. impact économique..... | 07 |
| I.4.2. impact sanitaire..... | 07 |
| I.5. Méthodes de lutte (<i>Ephestia kuehniella</i>)..... | 08 |
| I.5.1. Les méthodes traditionnelles..... | 08 |
| I.5.1.1. l'enfumage..... | 08 |
| I.5.1.2. Utilisation de plantes répulsives..... | 08 |
| I.5.1.3. Exposition au soleil..... | 08 |
| I.5.1.4. utilisation de matière inerte..... | 08 |
| I.5.2. lutte chimique..... | 08 |
| I.5.3. Méthode de lutte moderne..... | 09 |
| I.5.3.1. la lutte physique et mécanique..... | 09 |
| I.5.3.2. la lutte par le froid..... | 09 |
| I.5.3.3. la lutte par la chaleur..... | 09 |
| I.5.3.4. la lutte biologique..... | 10 |

Chapitre 2 : Généralités sur les huiles essentielles

| | |
|--|----|
| I.1. Définition huiles essentielles..... | 11 |
| I.2. les huiles essentielles de l'origan et de l'eucalyptus..... | 12 |
| I.2.1. le huile essentielle de l'origan..... | 12 |
| I.2.2. le huile essentielle de l'eucalyptus..... | 13 |
| I.2.3. Définition huiles végétal..... | 14 |
| I.3.1. le huile essentielle de sésame..... | 14 |
| I.4. L'importance de l'utiliation | 15 |
| I.4.1. L'importance de huile de l'origan..... | 15 |



| | |
|---|----|
| I.4.2. L'importance de huile de l'eucalyptus..... | 16 |
| I.5. Modes d'action des huiles essentielles sur <i>Ephestia kuehniella</i> | 17 |
| Chapitre.3. Huiles essentielles et lutte contre l'insecte des denrées stockées | |
| I.1. Études sur les effets toxiques et répulsifs des huiles essentielles | 18 |
| I.2. Efficacité des mélanges d'huiles essentielles | 18 |
| I.3.Limites et perspectives des huiles essentielles dans la lutte biologique | 18 |

PARTIE EXPERIMENTLE

Chapitre II : Matériel et Méthodes

| | |
|---|----|
| II.1. Matériel biologique..... | 20 |
| II.2 Matériel végétal..... | 21 |
| II.3. Méthodologies..... | 21 |
| II.3.1. Préparations des bio essais..... | 21 |
| II.3.1.1. Produits et substances utilisés | 21 |
| II.3.1.2. Extraction de l'huile essentielle d'eucalyptus..... | 23 |
| II.4. Cadre expérimental et traitements appliqués..... | 23 |
| II.4.1. Présentation du laboratoire SARL Rayhane..... | 23 |
| II.4.2 Préparation des solutions de traitements à base des huiles essentielles et végétale..... | 24 |
| II.4.2.1. Préparation des solutions sans mélange | 26 |
| II.4.4. Préparation des solutions..... | 28 |
| II.4.3. Application des bio-essais..... | 28 |
| II.4.3.1. Application des huiles sur les larves de la pyrale de la farine sans mélange..... | 29 |
| II.4.3.2 Application des mélanges des huiles étudiées sur les larves de la pyrale de farine | 30 |
| II.5.Essais destinés aux analyses physico-chimiques et rhéologiques de la farine traitée... | 30 |
| II.5.1. Analyses physico-chimiques et rhéologiques de la farine traitée..... | 31 |
| II.5.1.2. Détermination de l'Humidité (%)...... | 32 |
| II.5.1.3. Détermination du Potentiel hydrogène (Ph)..... | 32 |
| II.5.1.3. Acidité titrable..... | 32 |



| | |
|--|----|
| II.5.1.4. Dosage du gluten..... | 33 |
| II.6. Exploitation des résultats | 34 |
| Chapitre III : Résultats et Discussion | |
| III.1.1. Rendement en huile essentielle d'eucalyptus | 36 |
| III.1.2. Résultats des bio essais d'inhalation – traitements seuls | 36 |
| III.1.2. 1. Taux de mortalité à 20 °C et 25°C | 36 |
| III.1.3. Résultats des bios essais par mélange d'huiles..... | 37 |
| III.1.3.1. Taux de mortalité à 20 °C et 25 °C..... | 37 |
| III.1.4. Analyse comparative des mortalités d'E. Kuehniella..... | 38 |
| III.1.4.1. Evaluation des mortalités corrigées de traitement seul | 38 |
| III.1.4.2. Evaluation des mortalités corrigées de traitement mélange | 39 |
| III.1.5. Analyses physicochimiques de la farine..... | 45 |
| Discussion..... | 47 |
| Conclusion | 49 |



Introduction



Introduction

L'humanité se confronte à un défi qui ne cesse d'augmenter au fil des années par rapport à la sécurité alimentaire mondiale face à une population humaine continuellement en croissance à travers le monde (**Montauban et al. 2021**). En effet, la population mondiale devrait atteindre près de 10 milliards d'ici 2050, l'augmentation de la production alimentaire est donc le principal objectif de tous les pays (**Kaur et Garg, 2014**). Ainsi, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime que cette dernière doit être augmentée de 70% (**Popp et al. 2013**). Néanmoins, cela est insuffisant en raison des dégâts importants entraînés par les divers bio-agresseurs notamment les insectes ravageurs tant aux champs qu'en lieu de stockage. (**Bhumi et al. 2017**).

En matière de conservation des céréales, trois types de dangers sont couramment identifiés (CNRS, 2004). Les dangers physiques correspondant à la présence de corps étrangers, tandis que les dangers chimiques se réfèrent à la présence de métaux lourds, de résidus d'insecticides et les dioxines. Les dangers biologiques sont imputables aux insectes et acariens, aux rongeurs et volatiles et/ou leurs traces macroscopiques, aux moisissures et mycotoxines. L'entomologie des denrées stockées met l'accent sur les insectes nuisibles dont plus de 70 espèces de papillons nocturnes sont responsables des infestations de produits stockés tels que les céréales, légumineuses, graines, épices, fruits séchés et noix, ainsi que d'autres produits de base, secs et durables (**Tarlack et al. 2014**). Parmi ces déprédateurs, la pyrale de la farine *Ephestia kuehniella* Zeller est l'un des ravageurs les plus importants. Elle est trouvée principalement dans les moulins.

Pour y faire face dans les denrées stockées, plusieurs moyens ont été employés pour prévenir les pertes dans les stocks, parmi lesquels la lutte chimique qui demeure la méthode de lutte plus largement utilisée avec différents insecticides chimiques de synthèse. Mais plusieurs recherches de toxicologie, révèlent la répercussion de ces produits dangereux sur la santé humaine et sur l'environnement (**Taibi et al, 2003**). Ces dangers ont conduit l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) à interdire l'usage de certains insecticides chimiques. Par ailleurs, ces pratiques ont aussi conduit à l'apparition de la résistance au sein des populations de ravageurs (**Drabo et al., 2019**).



Plusieurs autres méthodes de lutte intégrée se sont développées, entre autres, la lutte biologique en utilisant des substances naturelles actives, non polluantes, pour une lutte moins nocive (**Benayad, 2008**). Les huiles essentielles extraites par hydro-distillation des plantes aromatiques et médicinales sont utilisées à l'heure actuelle, pour leurs effets insecticides et elles sont considérées comme une véritable banque de molécules chimiques agissant comme insecticides. De nos jours, plusieurs applications ont exploité les propriétés allélopathiques et répulsives des composés bioactifs de l'Eucalyptus, en se concentrant particulièrement sur les activités de leurs huiles essentielles (Mediouni Ben Jemâa *et al.*, 2013 ; Atmani-Merabet *et al.* (2020 ; Mossi *et al.* 2011). Les insecticides ou les acaricides botaniques peuvent être employés comme stratégie dans les programmes de gestion des ravageurs, et les recherches en laboratoire sont une étape préliminaire cruciale pour comprendre les interactions entre les insectes et les plantes (Danna *et al.*, 2024).

Dans ce sens, le présent manuscrit vise à évaluer l'effet de bio-insecticides issus des huiles essentielles extraites de plantes médicinales d'eucalyptus et d'origan utilisées séparément ou en mélange, sur la mortalité d'un insecte ravageur des denrées stockées, *Ephestia kuehniella*. Le document de ce travail est structuré en deux parties :

- La première partie expose une synthèse bibliographique comprenant deux chapitres dont le premier met l'accent sur l'état des connaissances relatives à la pyrale de la farine « *Ephestia kuehniella* ». Le deuxième chapitre est consacré aux huiles essentielles extraites à partir d'eucalyptus et origan et leur utilisation comme alternative dans la lutte contre ce ravageur de la farine.
- La deuxième partie est la partie expérimentale qui comporte deux chapitres dont le premier traitera le matériel et les méthodes utilisées pour l'élevage des individus d'*Ephestia kuehniella* ainsi que l'extraction des huiles essentielles et leurs applications. Le deuxième chapitre sera consacré aux résultats et discussions.

L'étude est achevée par une conclusion générale et des perspectives.



Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur la pyrale de la farine « *Ephestia kuehniella* »

I.1. Définition

Ephestia kuehniella Zeller, communément appelée la pyrale de la farine (**Bouzeraa, 2014**) (figure 1), est l'un des ravageurs cosmopolites les plus destructeurs des denrées alimentaires stockées, en particulier de la farine (**Mamay et al. 2022**). C'est une mite dont les larves s'attaquent essentiellement à la farine, aux grains de céréales (blé, maïs, riz), la semoule, les pâtes alimentaires et aux fruits secs (raisins, figues, abricots...) (**Sedlacek et al. 1995 ; Tarlack et al. 2014**). Les facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, la photopériode et les besoins en nutriments ont une incidence sur leur développement et leur potentiel reproducteur (**Kiler et Altun, 2020**).



Figure 01 : Adulte de *Ephestia kuehniella* (**Momen et al.2007**)

I.2. Classification taxonomique

Ephestia kuehniella Zeller est un insecte holométabole micro lépidoptère de la famille des pyralidés (**Momen et al. 2007**). La classification de cette espèce selon le Centre National d'Information sur la Biotechnologie « **NCBI** » (**2018**) se présente comme suit :



Embranchement : Arthropodes

Sous embranchement : Antennates-Mandibulates

Classe : Insecta

Super classe : Trachéates

Ordre : Lepidoptères

Super ordre : Endoptérygotes

Famille : Pyralidae

Super famille : Pyraloidea

Genre : *Ephestia*

Espèce : *E. kuehniella* (Zeller, 1879)

I.3. Cycle biologique

La durée totale du cycle de développement de la pyrale de la farine dure environ 61 jours à une température constante de $(27^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C})$ (Pakyari *et al.* 2018), et une humidité relative de 70% (Vieira *et al.* 1992). Le cycle de vie comporte quatre stades bien déterminés : œuf, larve ou chenille, nymphe ou chrysalide et adulte ou imago (figure 2).

a) Oeuf

L'œuf est de forme légèrement ovoïde, presque sphérique. Sa surface n'est pas lisse, mais plutôt brillante et opaque, de couleur blanchâtre (Aissaoui, 2022). Les dimensions moyennes de l'œuf sont d'environ 500 à 550 μm de longueur sur 290 à 325 μm de largeur, pour un poids moyen de 0,023 mg (Lahcene, 2020). Les cœurs prennent en moyenne 4 à 5 jours pour éclore (Bouzeraa, 2014).

b) Chenille

Les larves se présentent avec des teintes blanchâtres ou rosâtres (Bouzeraa, 2014), accompagnées d'une capsule céphalique et d'une carapace de nuque marron. La capsule céphalique est aisément identifiable (Aissaoui, 2022). Le développement de la chenille se produit en six stades larvaires s'étalant sur une période de 20 à 30 jours. Au premier stade, la

longueur de la larve varie entre 1 et 1,5 mm (**Bhavanam et Trewick., 2017**) (**Lahcene, 2020**), mais elle peut atteindre 15 à 20 mm à son stade de maturité (**Selmane-Meskache., 2014**).

La différenciation des sexes est facilement identifiable au stade larvaire, car les larves mâles possèdent deux points bruns situés sur la face dorsale de l'abdomen, qui correspondent à leurs testicules (**Lahcene, 2020**).

c) Nymphe (chrysalide)

La nymphe est d'une teinte blanchâtre qui devient plus foncée avec l'âge. Elle se protège dans un cocon de soie blanche (**Lahcene, 2020**) pendant 8 à 12 jours avant d'émerger (**Bouzeraa, 2014**). Sa longueur varie entre 7 et 9 mm et sa largeur au niveau de l'abdomen est d'environ 1,8 mm (**Aissaoui, 2022**).

d) Adulte

Les papillons, également appelés imagos, présentent une petite tête globuleuse (**Lahcene, 2020**), avec des palpes labiaux cornus. Les ailes antérieures sont de couleur grise avec quelques marques brunes et blanches, tandis que les ailes postérieures sont généralement plus foncées et grises (**Aissaoui, 2022**). Ces insectes adultes ont une envergure de 15 à 25 mm et mesurent entre 7,5 et 15 mm de longueur. Leur longévité est d'environ 14 jours. La ponte commence juste après l'accouplement et la durée totale du cycle de vie varie de 25 à 200 jours (**Selmane-Meskache., 2014**). Les mâles ont tendance à mourir quelques jours après l'accouplement, tandis que les femelles meurent après avoir pondu leurs œufs (**Bouzeraa, 2014**)

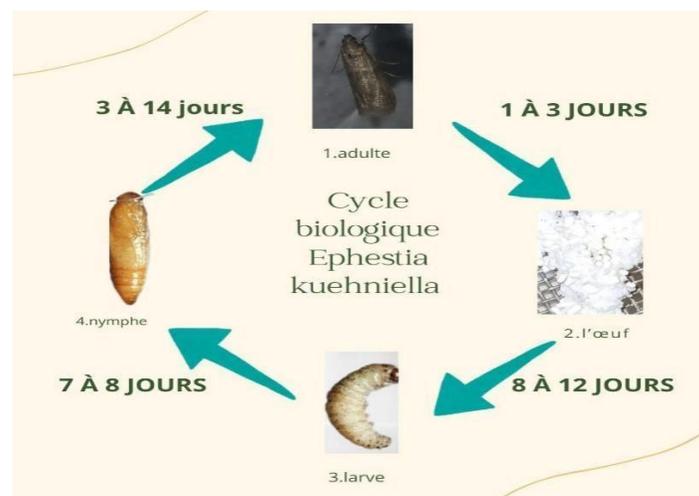


Figure 02 : Cycle biologique d'*Epestia kuehniella* (Zeller) (originale 2025)



I.4. Impact économique et sanitaire

I.4.1. Impact Économique

Les dommages de la pyrale sont principalement liés à la détérioration des denrées stockées. Les larves se nourrissent de farine, de céréales et de produits dérivés provoquant une diminution de la qualité et de la valeur marchande des aliments (**Sedlacek et al. 1995**). La présence de résidus d'insectes, de soie et d'excréments rend les produits impropres à la consommation et entraîne des pertes financières importantes pour les industries de transformation et les commerçants (**Trematerra & Gentile, 2010**).

Les infestations nécessitent des mesures de lutte coûteuses, telles que la fumigation et l'utilisation d'insecticides augmentant ainsi les dépenses des entreprises (**Pakyari & Fathipour, 2018**).

Dans certains cas, des lots entiers de produits sont rejetés notamment à l'exportation, en raison des normes strictes de sécurité alimentaire, nuisant à la compétitivité des entreprises sur le marché international (**Tarlack et al. 2014**).

I.4.2. Impact sanitaire

Les produits infestés sont contaminés par des déjections, des fragments d'insectes et des fils de soie favorisant la prolifération de bactéries et de moisissures toxiques (*Aspergillus* spp. *Salmonella*...etc.) pouvant affecter la santé des consommateurs (**Balachowsky, 1972**). L'inhalation de particules d'insectes et de poussières dans les entrepôts peut provoquer aussi des allergies respiratoires et de l'asthme chez les travailleurs exposés (**Bataille et al. 1995 ; Cipola et al. 1996**). En outre, les produits infestés subissent des altérations organoleptiques, avec des modifications du goût, de l'odeur et de la texture, rendant leur consommation désagréable voire dangereuse (**Vieira et al. 1992**).

I.5. Méthodes de lutte

Plusieurs méthodes de lutte permettent de maintenir les populations ravageuses pour un niveau d'attaque à un seuil économiquement acceptable. La maîtrise de la prolifération des insectes dans les champs et lors de stockage passe par un ensemble de méthodes de lutte préventive et curative. Il s'agit des luttes physique, biologique ou de l'utilisation de poudres et des huiles essentielles qui sont des alternatives à la lutte chimique.



I.5.1. Les méthodes traditionnelles

- **Enfumage**

Les denrées les plus importantes pour le producteur sont souvent stockées au-dessus des foyers domestiques et sont ainsi enfumées presque en permanence. Cet enfumage ne tue pas les insectes mais les éloigne et empêche l'infestation. (**Aidani, 2015**).

- **Utilisation des plantes répulsives**

Dans certaines régions d'Afrique les paysans ont coutume de mélanger aux grains des plantes qui agissent comme insectifuges (**Aidani, 2015**).

- **Exposition au soleil**

L'exposition des denrées au rayons solaires intenses favorise le départ des insectes adultes qui ne supportent pas les fortes chaleurs ni la lumière (en stock, les insectes se cantonnent souvent dans les zones sombres). Les grains doivent être disposés en couches minces afin d'être bien ensoleillés (**Joost et al., 1996**).

- **Utilisation de matières inertes**

Dans les récipients de stockage (grenier, jarres...), les grains sont mélangés à de la cendre ou du sable fin, selon des proportions et des pratiques qui varient suivant les régions. Ces matériaux pulvérulents remplissent les vides entre les grains et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à pondre. Ces matériaux fins auraient également un rôle corrosif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation (**Joost et al., 1996**).

I.5.2. Lutte chimique

La lutte chimique est la méthode la plus largement utilisée avec différents insecticides chimiques synthétiques en poudrage ou en pulvérisation. Cependant les risques inhérents à l'utilisation de ces produits et leur énorme impact négatif sont une préoccupation constante (**Adjalien et al. 2014**).

Deux types de traitement sont généralement employés : traitement par contact, traitement par fumigation (**Aidani, 2015**) :



- Le traitement par contact consiste à recouvrir les grains, les emballages et les compartiments de stockage d'un film insecticide qui agit sur les prédateurs au contact (**Aidani, 2015**).
- Le traitement par fumigation, qui traite le grain avec des gaz toxiques appelés fumigants. Le but principal de la fumigation est de faciliter la pénétration des gaz à l'intérieur des grains et de détruire les œufs, les larves et les pupes qui s'y développent (**Aidani, 2015**).

Les composés insecticides sont classés en différentes catégories, notamment les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes (**Nadio et al. 2015**).

Par ailleurs, l'utilisation excessive et répétée conduit à l'apparition de la résistance au sein des populations de ravageurs (**Drabo et al. 2019**).

I.5.3. Méthode de lutte moderne

1.5.3.1. lutte physique et mécanique

Elles concernent toute les techniques mécano-thérapeutiques susceptibles de rendre le stock sain. En général, ces techniques ne sont pas efficaces contre les formes cachées. Ainsi, plusieurs techniques ont été expérimentées et ont eu des succès divers : l'écrasement mécanique, le traitement par le froid et le chaud, le stockage étanche ou sous atmosphère contrôlée et les radiations ionisantes. (**Benayad, 2013**)

1.5.3.2. lutte par le froid

Cette lutte consiste à abaisser la température de stockage, ce qui entraîne un ralentissement du développement des insectes, freiné dès que la température est inférieure à 10°C. (**Aidani, 2015**).

1.5.3.3. lutte par le chaud

Les insectes sont sensibles aux températures élevées, il suffit de leurs imposer une température de 55°C durant une heure pour détruire les différents stades de développement. (**Steffan, 1978**)



1.5.3.1. lutte biologique

Cette méthode entre dans le cadre de développement durable. Elle a pour but principal la réduction des populations des insectes ravageurs en utilisant :

- Leurs ennemis naturels qui sont soit des prédateurs, soit des parasites
- Des agents pathogènes, ainsi que des produits naturels d'origine végétale comme des poudres minérales des huiles végétales, huiles essentielles (**Rihab, Amira, 2020**).

L'utilisation des phéromones d'insectes attractifs et répulsifs d'alimentation et d'un haut niveau de détection (**Momar, 2011**). Néanmoins, la lutte biologique est la méthode la plus favorisée dans les programmes de recherche vu ses intérêts économiques et agro-environnementaux qui permettent le maintien d'un équilibre bioécologique (**Amaril et al, 2014**).

Depuis longtemps, les plantes aromatiques ont été utilisées pour des fins médicaux ; elles sont traditionnellement utilisées pour protéger les denrées entreposées (**Sanson et al, 2002**).

(**Ricardo et al., 2020**) ont rapporté que l'application d'extrait de plante ayant un effet insecticide est considérée comme une alternative prometteuse pour réduire les effets négatifs des pesticides synthétiques. Ce sont des agents potentiels de lutte biologique et constituent une composante importante au sein de systèmes de gestion intégrée des insectes ravageurs et sont intrinsèquement moins toxiques pour l'environnement ainsi que l'homme et ne laissent pas de résidus nocifs et sont plus sélectifs dans leur action que les insecticides synthétiques (**Pintons et al. 2020**).



Chapitre 2 : Généralités sur les huiles essentielles

II.1. Définition des huiles essentielles

Selon **Zahalka (2010)**, les essences végétales sont produites par une catégorie de plantes contenant des composés aromatiques au sein de leurs cellules. Comme leur nom l'indique, les plantes aromatiques sont responsables de la production d'arômes. Elles sont étroitement liées aux plantes médicinales et forment une catégorie particulière définie par les ethnobotanistes sous l'appellation "plantes médicinales et aromatiques" (**Pandey et al. 2020**). Ces plantes se distinguent par leur capacité à produire des huiles essentielles, largement exploitées dans divers domaines (**Alamy, 2014**). Une plante aromatique contient des molécules odorantes et volatiles dans un ou plusieurs de ses organes, tels que les feuilles, les fleurs, les fruits, les graines ou les racines (**Zahalka, 2010**), tiges et rhizomes, (**Sahraoui, 2014**). Elles sont utilisées à des fins médicinales, en parfumerie, en cosmétique, ainsi que comme insecticides (**Alamy, 2014**).

L'utilisation des huiles essentielles remonte au médecin suisse Paracelse (Paracelsus Von Hohenheim), qui, au XVI^e siècle, a étudié leur composition et leur efficacité en tant que remèdes naturels (**Burt, 2004**). Ces huiles se forment dans les chloroplastes des cellules végétales et peuvent être stockées dans la paroi cellulaire ou être issues de la dégradation de certains glycosides par hydrolyse (**Hamid et al. 2011**).

Les huiles essentielles possèdent des propriétés spécifiques et puissantes, conférant à ces liquides une complexité chimique et une efficacité remarquable (**Butnariu et Sara, 2018**). Leur couleur varie du jaune au vert, en passant par des teintes rouges ou brun foncé. Elles peuvent être diluées dans des huiles végétales, du lait, de l'argile, de l'alcool ou encore intégrées à des macéras (**Toninoli et Meglioli, 2013**).

II.2. Les huiles essentielles de l'origan et de l'eucalyptus

II.2.1. Huile essentielle de l'origan

L'huile essentielle d'origan (figure 3 et 4) est un extrait aromatique obtenu par distillation à la vapeur d'eau des parties aériennes de plantes du genre *Origanum*, appartenant à la famille



des Lamiacées. Ce genre botanique regroupe environ 45 à 50 espèces de plantes herbacées ou de sous-arbrisseaux vivaces et aromatiques, majoritairement originaires du bassin méditerranéen. Parmi les espèces les plus connues, on retrouve *Organum vulgare* et *O. majorana*.

Particulièrement riche en caracol, un composé phénolique aux puissantes propriétés antimicrobiennes, l'huile essentielle d'origan est largement utilisée en aromathérapie pour stimuler les défenses naturelles et favoriser un bon équilibre digestif. Grâce à ses vertus anti- infectieuses ; elle constitue un allié précieux contre les infections respiratoires, intestinales et cutanées. Elle est également reconnue pour son action tonifiante, aidant à combattre la fatigue physique et nerveuse. Cette huile essentielle trouve des applications en phytopharmacie, en médecine traditionnelle, ainsi que dans le secteur agroalimentaire pour la conservation des aliments et la protection contre les pathogènes. (*Tela botanica.org*).



Figure 03 : Huile essentielle de l'origan (<https://www.noi-et-compagni.com>, consulté le 11 février 2025).



II.2.2. Huile essentielle de l'eucalyptus

Le genre *Eucalyptus* (Myrtaceae) est originaire d'Australie et comprend environ 900 espèces. Les plantations d'eucalyptus sont aujourd'hui étendues dans le monde entier, en particulier dans les régions tropicales et tempérées, (Naithani, 2014 : Zhang and Wang, 2021). L'huile essentielle *d'eucalyptus* (figure 5) est un extrait naturel obtenu par distillation à la vapeur d'eau des feuilles de diverses espèces du genre *Eucalyptus*, appartenant à la famille des



Myrtacées. Elle est caractérisée par une forte teneur en 1,8-cinéole (eucalyptol), un composé bioactif responsable de la plupart de ses propriétés thérapeutiques et insecticides (**Batish et al. 2008**).

Figure 05 : Huile essentielle de *l'eucalyptus* (<https://www.genilux-manufacturing.com>, consulté le 28 février 2025)

II.3. Définition des huiles végétales

Les huiles végétales sont des substances lipidiques, généralement liquides à température ambiante, reconnues pour leur texture onctueuse, douce et visqueuse. Elles sont composées à plus de 99 % de lipides, ne contiennent ni protéines ni glucides, et présentent un taux de cholestérol très faible. Le reste de leur composition, soit environ 1%, est constitué principalement de vitamines liposolubles et de composés antioxydants.



D'un point de vue chimique, les huiles végétales sont des composés organiques non volatils, hydrophobes, et parfois amphiphiles. Insolubles dans l'eau, elles se dissolvent en revanche dans des solvants organiques non polaires. Elles sont naturellement présentes dans certaines plantes, qu'elles soient cultivées ou sauvages. Au-delà de leurs propriétés intrinsèques et de leur accessibilité économique, leur composition biochimique constitue un critère essentiel dans le choix de leur utilisation, notamment dans un contexte d'usage quotidien (**Debruyne, 2001**).

1.3.1. Huile essentielle de sésame

Le sésame (*Sesamum indicum L.*) (figure 6) est l'une des cultures oléagineuses les plus anciennes de l'humanité. Il est principalement cultivé dans les régions tropicales et subtropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud (**Hwang, 2005**).

Son utilisation remonte à plusieurs millénaires : les Babyloniens l'utilisent déjà depuis 4 000 ans, tandis qu'en Inde, sa culture et son usage sont attestés depuis plus de 5 000 ans. Le sésame a été utilisé dans des préparations médicales et cosmétiques, dans la production de boissons et d'aliments, dans des rituels religieux et comme source d'énergie (**Borcani et al. 2010**)





Figure 06 : Huile essentielle de sésame

(<https://www.BioGenieShop.com>)

II.4. L'importance de l'utilisation

II.4.1. L'importance de l'utilisation de l'huile de l'origan

L'huile essentielle d'origan est connue pour ses propriétés antimicrobiennes, notamment grâce à sa richesse en caracole et thymol, qui lui confèrent une forte activité antiseptique et antibactérienne. Utilisée dans divers secteurs (médical, cosmétique, pharmaceutique, agricole et alimentaire), elle est extraite par distillation à la vapeur et contient des composés volatils bioactifs. Bien qu'elle possède des propriétés antioxydants, certaines études suggèrent un effet pro-oxydant sur les cellules eucaryotes, pouvant affecter les membranes cellulaires et les mitochondries. Toutefois, malgré une certaine cytotoxicité, elle n'est généralement pas écotoxique, ce qui en fait une alternative naturelle prometteuse (**Bakkali et al. 2008**).

II.4.2. L'importance de l'utilisation de l'huile de l'eucalyptus

L'huile essentielle d'eucalyptus, extraite par distillation à la vapeur des feuilles d'*Eucalyptus globules*, *Eucalyptus radiata* et *Eucalyptus citriodora*, appartient à la famille des Myrtacées. Riche en 1,8-cinéole (eucalyptol), elle est reconnue pour ses propriétés antimicrobiennes, expectorantes et anti-inflammatoires. Utilisée en aromathérapie, elle aide à traiter les affections respiratoires telles que la bronchite, la toux et la sinusite, et est un ingrédient clé dans de nombreux médicaments et baumes décongestionnants.

Au-delà de son usage médical, elle agit comme un insecticide naturel, repoussant efficacement les moustiques et autres nuisibles. En phytopharmacie, elle protège également les cultures contre certains ravageurs et maladies fongiques. Grâce à ses propriétés antiseptiques et rafraîchissantes, elle est largement utilisée dans l'industrie cosmétique et agroalimentaire, notamment dans la fabrication de dentifrices, savons et désinfectants naturels.

Enfin, cette huile essentielle constitue une alternative écologique aux produits chimiques conventionnels, offrant une solution respectueuse de l'environnement et de la santé humaine (**Batish et al. 2008**).



II.5. Modes d'action des huiles essentielles sur *Ephestia kuehniella*

II.5.1. Toxicité par contact et ingestion

Les huiles essentielles agissent sur *Ephestia kuehniella* par contact direct avec la cuticule ou par ingestion, entraînant une série de perturbations physiologiques. Elles modifient l'activité des enzymes digestives, altèrent la perméabilité de la cuticule et provoquent des dommages aux tissus internes, ce qui perturbe le métabolisme et entraîne la mort de l'insecte (**Rajendran et Sriranjini, 2008**).

II.5.2. Neurotoxique et perturbation du système nerveux

Les composés bioactifs des huiles essentielles, tels que le 1,8-cinéole, le thymol et le caracole, agissent sur le système nerveux central des insectes. Ils inhibent les récepteurs GABA, entraînant une hyperexcitation neuronale, des contractions musculaires incontrôlées et, à terme, une paralysie. De plus, certaines huiles essentielles interfèrent avec la transmission synaptique de l'acétylcholine, perturbant le comportement moteur et sensoriel de l'insecte (**Isman, 2000**).

II.5.3. Effet répulsif et altération du comportement

Les huiles essentielles affectent le système olfactif d'*Ephestia kuehniella*, perturbant sa capacité à détecter la nourriture et les sites de ponte. Cette action répulsive est due à la présence de mono terpènes volatils, tels que le limonène et le citronellal, qui masquent les signaux chimiques habituels de l'insecte. Par conséquent, les femelles pondent moins d'œufs, et la survie des larves est réduite (**Papachristos et Stamopoulos, 2002**).

II.5.4. Effets sur le développement et la reproduction

Certaines huiles essentielles inhibent le développement des larves et réduisent la fertilité des adultes en perturbant la synthèse hormonale et l'expression des gènes impliqués dans la métamorphose. Ces effets sont particulièrement observés avec les huiles riches en phénols et aldéhydes, qui interfèrent avec les hormones juvéniles et l'ecdysone, retardant ainsi la mue et empêchant l'émergence des adultes (**Regnault-Roger et al. 2012**).



II.5.5. Stress oxydatif et dommages cellulaires

Les huiles essentielles peuvent induire un stress oxydatif chez *Ephestia kuehniella*, entraînant des dommages aux membranes cellulaires et aux organites, notamment les mitochondries. L'accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) provoque une altération du métabolisme énergétique, affaiblissant l'insecte et accélérant sa mortalité (**Bakkali et al, 2008**).

II.6. Effets toxiques et répulsifs des huiles essentielles

Les huiles essentielles exercent plusieurs effets sur les insectes nuisibles aux denrées stockées, tels qu'*Ephestia kuehniella*. Leur action peut être :

- ✓ **Toxique** : elles provoquent la mortalité des insectes par inhalation ou contact direct (**Negahban et al., 2007**).
- ✓ **Répulsive** : elles empêchent l'installation des insectes sur les denrées (**Negahban et al., 2007**).
- ✓ **Anti alimentaire** : elles réduisent l'appétence des aliments traités, limitant ainsi leur consommation par les insectes (**Negahban et al., 2007**).

L'association de plusieurs huiles essentielles permet d'obtenir des effets synergiques, renforçant ainsi leur action insecticide ou répulsive (**Isman, 2000**).

II.7. Limites et perspectives des huiles essentielles dans la lutte biologique

Malgré leur potentiel, les huiles essentielles présentent plusieurs limites :

- **Faible persistance** : leur volatilité exige des applications répétées (**Mossa, 2016**).
- **Coût élevé** : les concentrations efficaces sont souvent supérieures à celles des pesticides chimiques (**Mossa, 2016**).
- **Effets sensoriels** : certaines HE peuvent altérer le goût et l'odeur des produits stockés (**Mossa, 2016**).



Partie expérimentale

Chapitre II. : Matériel et méthodes

II.1. Matériel biologique

L'espèce cible de cette étude est *Ephestia kuehniella* (Lépidoptère : Pyralidae), un insecte ravageur des denrées stockées, notamment des farines. Les adultes ont été fournis par l'entreprise SOSEMIE (Beni Mered, Blida).

L'élevage a été effectué dans une salle, située au sein du département de Biotechnologie et Agroécologie (Université de Blida 1), dans des cages artisanales conçues à partir de bois et de plastique, dotées de filets pour la ventilation (figure 07).

Les conditions d'élevage ont été maintenues à une température constante de $25^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$, avec une photopériode approximative de 12/12h (Lumière : Obscurité). Les larves ont été nourries avec un mélange à base de farine de blé et de levure.



Figure 07 : Cage d'élevage pour *Ephestia kuehniella*
(Original 2025)



II.2. Matériel végétal

Nous avons utilisé, dans cette étude, trois (03) types d'huiles d'origine végétale afin d'évaluer leur effet biologique sur les larves d'*E. kuehniella*. Il s'agit de :

- **Huile essentielle d'eucalyptus** (*Eucalyptus globulus*) : extraite par distillation à la vapeur d'eau (hydrodistillation) de feuilles fraîches, au niveau de la société (**Bioextrapamal, Oued El Alleug, Blida**).
- **Huile essentielle d'origan** (*Origanum vulgare*) : obtenue auprès de la même société BIOEXTRAPAMAL, située à Oued El Alleug (Blida). Elle a été utilisée telle quelle, sans modification.
- **Huile végétale de sésame** : achetée auprès de BIOEXTRAPAMAL et utilisée comme alternative naturelle dans les traitements.

Ces extraits ont été sélectionnés en raison de leurs propriétés biologiques connues, notamment leur effet toxique ou répulsif potentiel sur les larves de plusieurs ravageurs des cultures et des denrées stockées particulièrement les lépidoptères.

II.3. Méthodologie

II.3.1. Préparations des bio-essais

II.3.1.1. Produits et substances utilisés

Tableau 1 : Produits et substances utilisées contre *Ephestia kuehniella*.

| Traitement utilisé contre <i>E. kuehniella</i> | Composition | Origine |
|--|--------------------------------|---|
| Traitement 01 | Huile essentielle d'eucalyptus | Société Extraordinaire de Biotechnologie, Oued El Alleug- Blida |
| Traitement 02 | Huile essentielle d'origan | |
| Traitement 03 | Huile végétale de sésame | |
| Traitement 04 | Tween 20 | Laboratoire des Plantes Aromatiques et Médicinales |

II.3.1.2. Extraction de l'huile essentielle d'eucalyptus

L'extraction des huiles essentielles peut se faire selon plusieurs méthodes, selon la plante et la qualité d'huile souhaitée. Dans notre cas, nous avons extrait l'huile essentielle des feuilles de plantes en utilisant la méthode de distillation à la vapeur d'eau encore appelée hydrodistillation et ce, en utilisant un ancien procédé semi-industriel pour améliorer les préparations traditionnelles.

Dans ce contexte, nous mettons 14,5 kg de feuilles fraîches dans un pot en albâtre, auquel nous ajoutons 25 kg (25 litres) d'eau. La vapeur d'eau traverse le flux d'huile végétale et capte les huiles essentielles, puis elle est condensée pour séparer l'eau de ces huiles. La figure 8 montre les différentes étapes (de 1 à 8) que nous avons suivi jusqu'à obtenir l'huile essentielle pure qui a été conservée dans un flacon ambré.

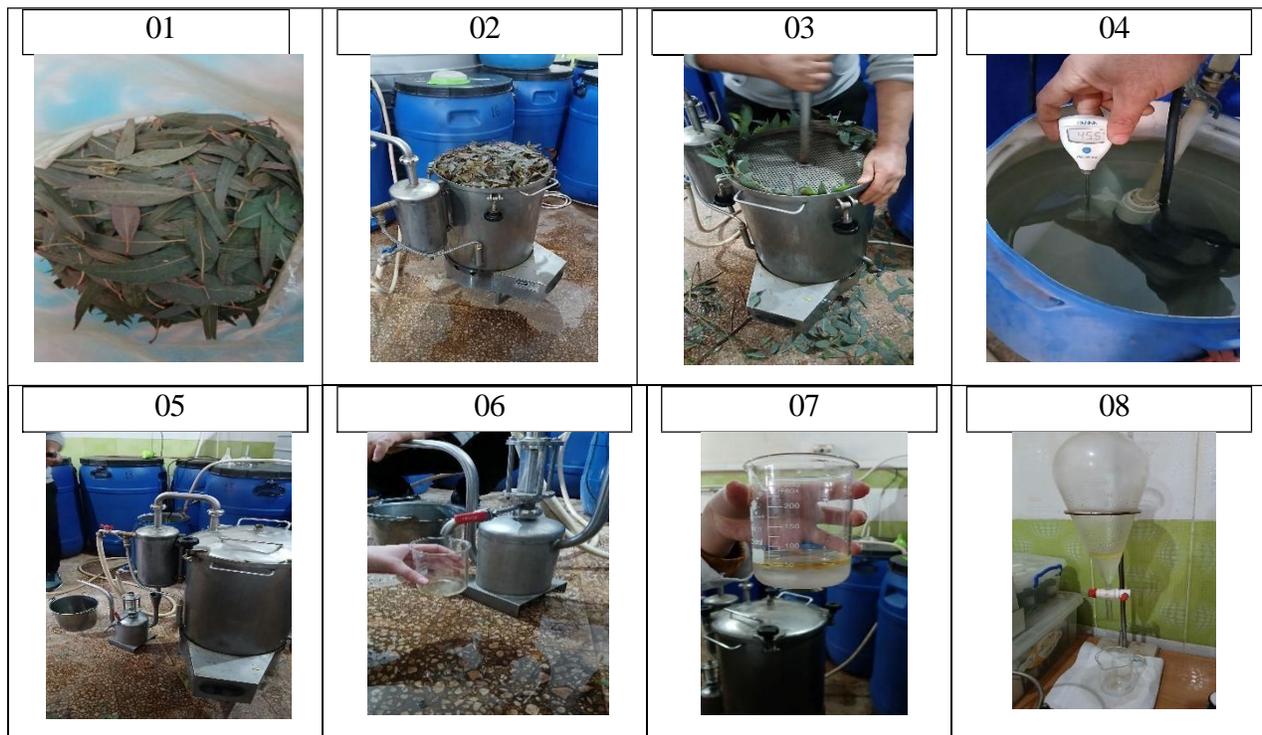


Figure 08 : Étapes d'extraction de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* (Originale 2025).



➤ Calcul du rendement

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après l'extraction et la masse de la matière végétale utilisée (AFNOR, 1986).

Le rendement (R) est exprimé en pourcentage (%) et il est donné par la formule suivante :

$$R (\%) = Ph / Pp \times 100$$

- Ph : poids de l'huile essentielle en g
- Pp : poids de la plante en g

II.4. Cadre expérimental et traitements appliqués

Les essais des huiles essentielles utilisées pour la réalisation de notre étude ont été menés au niveau du laboratoire de la SARL RAYHANE.

II.4.1. Présentation du laboratoire SARL RAYHANE

Laboratoire RAYHANE SARL (Sommaa, Blida), établissement privé agréé (n° 022/24), spécialisé dans les analyses physico-chimiques et microbiologiques. Fondé en 2023 et rebaptisé SARL en 2025, il dispose d'infrastructures modernes adaptées aux expériences scientifiques (zones d'incubation, préparation des milieux, analyse et stockage). Nous y avons commencé les traitements contre *Ephestia Kuehniella* le 13 mai 2025.

Les tests ont été conduits dans des conditions environnementales contrôlées à deux températures distinctes : 20 °C dans un premier temps, puis 25 °C, afin d'évaluer l'influence de ce paramètre sur l'efficacité des traitements.

II.4.2. Préparation des solutions de traitements à base des huiles essentielles et végétales

II.4.2.1. Préparation des solutions à base des huiles essentielles et végétales seules

a) Huile essentielle d'origan

L'émulsion est un mélange de deux liquides normalement non miscibles, tels que l'huile essentielle et l'eau. Pour stabiliser ce type de mélange, des agents émulsifiants comme le Tween 20 sont utilisés (figure 9), permettant une dispersion homogène des gouttelettes d'huile dans la phase aqueuse.

Dans cette expérience, une émulsion a été préparée à partir de 15 ml de Tween20, dont 50 μ L ont été prélevés puis remplacés par 50 μ L d'huile essentielle d'origan. À ce mélange, 5 gouttes d'éthanol (soit environ 5 ml) ont été ajoutées afin d'améliorer la solubilité et la dispersion de l'huile essentielle. L'ensemble des composants a été soumis à une agitation mécanique à l'aide d'un homogénéisateur de type Ultra-Turrax, jusqu'à obtention d'un mélange homogène et stable.

L'émulsion ainsi obtenue a été utilisée immédiatement pour le traitement par inhalation, en déposant 2 μ L de la préparation sur un disque de papier filtre (2cm/2cm), fixé au couvercle d'une boîte fermée (6 cm de diamètre et de 9.5cm de hauteur) contenant les larves de *Ephesia kuehniella*, placées dans 1g de farine, servant de substrat alimentaire.

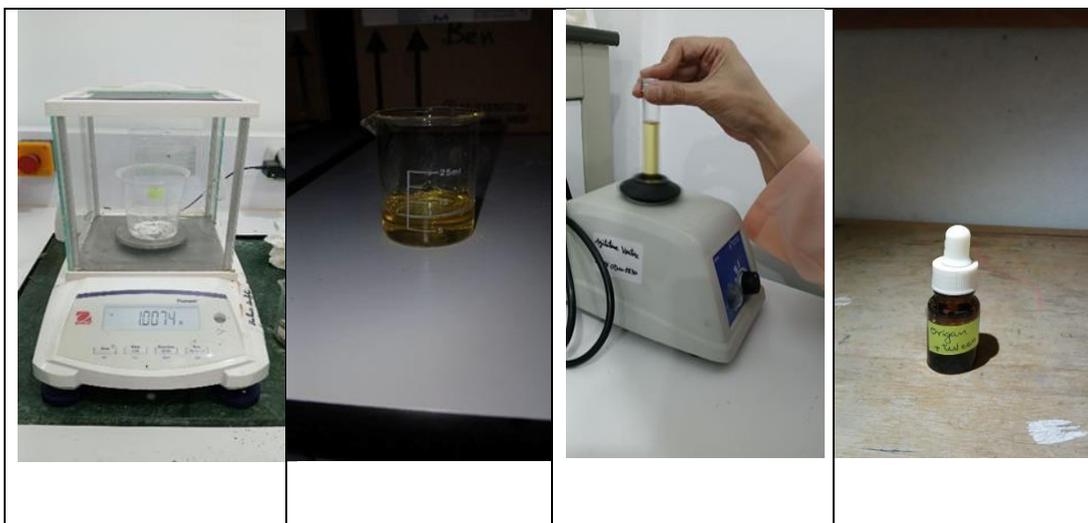


Figure 09 : Étapes de la préparation des traitements à base d'origan (Originale 2025).



b) Huile essentielle d'eucalyptus

Le traitement à base d'huile essentielle d'eucalyptus (figure 10) comme témoin positif, a été préparé selon les mêmes conditions expérimentales que celui à base d'origan.



Figure 10 : Solution de l'huile d'*Eucalyptus* (originale, 2025)

c) Préparation de la solution de l'huile végétale de sésame

De l'huile végétale de sésame, sans ajout d'émulsifiant, a également été déposée dans un flacon similaire à celui utilisé pour les traitements à base d'huiles essentielles d'origan et d'eucalyptus.

d) Préparation du témoin négatif

Nous avons placé uniquement l'insecte dans la boîte, sans ajout de traitement et sans fermeture de celle-ci, afin de le laisser à l'air libre.

II.4.2.4. Préparation des solutions mélanges

a) Préparation de la solution de Tween 5 %

Une solution tensio-active de Tween 20 à 5 % (v/v) a été préparée en dissolvant 5 ml de Tween 20 dans 100 ml d'eau distillée. Cette solution a été utilisée comme agent dispersant pour les huiles essentielles. Le mélange a ensuite été agité à l'aide d'un homogénéisateur à hélice pendant un temps suffisant à l'homogénéisation, (figure 11).

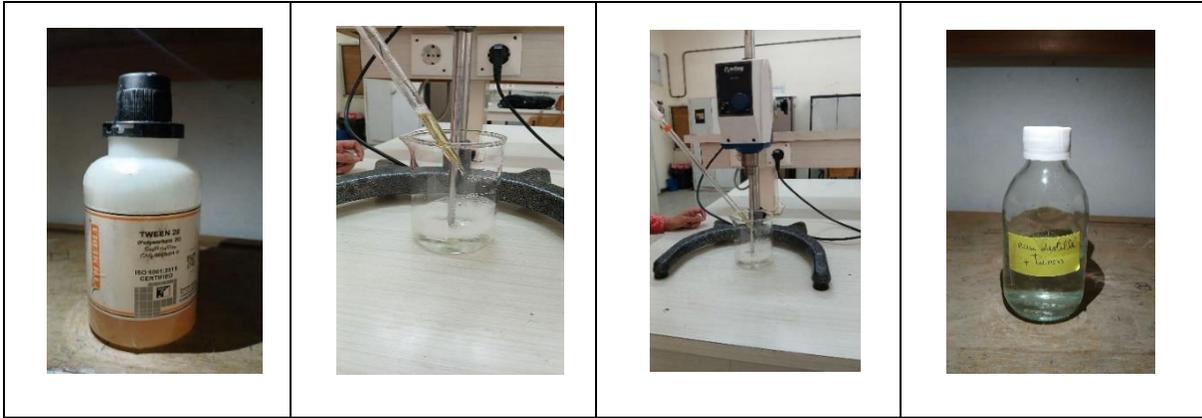


Figure 11 : Étapes de préparation et de l'émulsion des solutions de traitements
(Originale 2025)

b) Préparation de la solution d'huile essentielle d'eucalyptus

Pour la préparation de la solution d'huile essentielle d'eucalyptus, 10 μ L ont été ajoutés à 5 ml de la solution de Tween 5%, sous agitation vigoureuse pour assurer une dispersion homogène (figure 12).



Figure 12 : Mélange de tween dilué et l'eucalyptus (Originale 2025)

c) Préparation de la solution d'huile essentielle d'origan

De manière similaire, la solution d'huile essentielle d'origan a été obtenue en ajoutant 10 μ L d'huile essentielle d'origan à 5 ml de la solution de Tween 5%, puis agitée jusqu'à homogénéisation (figure 13).



**Figure 13 : Mélange de tween dilué et l'origan
(Originale 2025)**

d) Préparation de la solution de d'huile végétale de sésame :

La solution d'huile végétale de sésame a été préparée en ajoutant 1 ml d'huile végétale de sésame (HVS) à 100 ml d'eau distillée, puis mélangée vigoureusement afin de disperser l'huile dans le milieu aqueux (figure14).



Figure 14 : Mélange de tween dilué et sésame (Originale 2025)

II.4.3. Application des bio-essais

Chaque phase expérimentale a été répétée trois fois pour assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats. Les observations ont été effectuées de manière régulière, en notant les mortalités de l'insecte cible. Les données obtenues ont ensuite été soumises à une analyse de la variance suivie du test post Hoc de Tukey pour mettre en évidence des différences dans les comparaisons multiples entre groupes de traitements (Minitab. Vers. 18).

II.4.3.1. Application des huiles seules sur les larves de la pyrale de la farine

La méthode adoptée pour le traitement des larves de la pyrale de la farine est résumée dans le tableau 2.



Tableau 02 : Répartition des traitements à base d'huiles essentielles et d'huile végétale appliqués seuls sur les larves de la pyrale à deux températures (20 °C et 25 °C).

| Numéro | Traitement | Echantillon |
|--------|-------------------------------------|---|
| 01 | Origan + tween | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 02 | Sésame pure | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 03 | Témoin positif (eucalyptus + tween) | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 04 | Témoin négatif (sans traitement) | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |

II.4.3.2. Application des huiles en mélanges sur les larves de la pyrale de la farine

La méthode adoptée pour le traitement des larves de la pyrale de farine avec les différents mélanges des huiles, est indiquée dans le tableau 3.

Tableau 03 : Répartition des traitements à base d'huiles essentielles et d'huile végétale appliqués en mélanges sur les larves de la pyrale à deux températures (20 °C et 25 °C).

| Traitement | Mélange | Échantillons |
|----------------------------------|---|---|
| 01 (HV sésame + HE d'eucalyptus) | 7 µL de la solution d'huile végétale de sésame + 3 µL de la solution d'huile essentielle d'eucalyptus | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 02 (HV sésame + HE d'origan) | 3 µL d'huile essentielle d'origan + 7 µL d'huile végétale de sésame | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 03 (HE d'eucalyptus + HE | 3 µL d'huile essentielle | 3 répétitions |



| | | |
|---|--|---|
| d'origan) | d'eucalyptus + 7 μ L d'huile essentielle d'origan. | 10 larves dans chaque répétition |
| 04 (HE eucalyptus + HE d'origan + HV de sésame) | 3 μ L d'huile essentielle d'eucalyptus + 7 μ L d'huile essentielle d'origan + 5 ml d'huile végétale de sésame. | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |
| 05 (témoin négatif) | Sans traitements | 3 répétitions 10 larves dans chaque répétition |

Pour chaque traitement, 2 μ L du mélange ont été prélevés à l'aide d'une micro-pipette automatique, puis déposés sur un disque de papier filtre stérile (2cm sur 2cm).

Après évaporation du solvant éventuel, le disque a été placé au centre d'une boîte (6 cm de diamètre et de 9.5cm de hauteur) contenant 10 larves d'*Ephestia kuehniella* au dernier stade larvaire.

Chaque traitement a été réalisé en trois répétitions indépendantes (soit 3 boîtes par traitement), sous les mêmes conditions expérimentales. Un témoin négatif composé uniquement du solvant ou de l'huile végétale (sans HE) a été utilisé pour comparaison.

Les boîtes ont été hermétiquement fermées afin d'assurer une exposition uniforme des larves par inhalation dans un système clos. La durée d'exposition, la température (20° et 25°).

II.5. Essais destinés aux analyses physico-chimiques et rhéologiques de la farine traitée

Afin d'évaluer l'impact des traitements à base d'huiles essentielles et végétales sur les propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine, une série d'essais spécifiques a été réalisée dans des conditions environnementales contrôlées. Cette évaluation consiste en la comparaison entre la farine saine et la farine infestée et traitée du point de vue physico-chimique, déterminer si les huiles modifient la stabilité du support et enfin vérifier si des modifications pourraient expliquer une variation de toxicité. Ces tests ont ciblé les farines pour lesquelles nous avons utilisé les traitements à base des mélanges d'huiles.



Donc, dans le but d'obtenir une quantité de farine infestée suffisante pour les différentes analyses, nous avons reconduit les traitements avec les mélanges des huiles ayant enregistré des mortalités des larves.

Dans ce contexte et pour chaque traitement, 25 grammes de farine non infestée ont été placés dans une boîte hermétiquement fermée contenant 15 larves d'*Ephestia kuehniella*. Au dernier, deux mélanges ont été testés :

- **Mélange 1** : Huile essentielle d'eucalyptus + huile végétale de sésame
- **Mélange 2** : Huile essentielle d'origan + huile végétale de sésame

Un volume total de 2 μ L du mélange a été déposé sur un disque de papier filtre stérile (2x2 cm), fixé au couvercle de la boîte, permettant ainsi une exposition par inhalation dans un système clos. Les tests ont été réalisés à une température constante de 22 °C.

➤ **Pour chaque mélange**

500 g de farine traitée ont été obtenus à partir de 20 répétitions.

200 g de farine témoin non traitée ont été obtenus à partir de 8 répétitions.

II.5.1. Analyses physico-chimiques et rhéologiques de la farine sous l'effet des traitements utilisés

II.5.1.2. Détermination de l'Humidité (%)

Pour déterminer l'humidité (H) des échantillons de farines ayant subis les traitements par les huiles essentielles au cours de nos essais, nous avons utilisés la méthode de l'étuve ou encore appelée méthode gravimétrique (figure 15) . Cette dernière consiste à peser à l'aide d'une balance analytique, un échantillon de farine avant et après séchage à une température de 105°C pendant 24h. Après refroidissement dans un dessiccateur, nous avons procéder au calcul de la perte de poids pour déterminer la teneur en humidité selon la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{\text{Poids initial} - \text{Poids sec}}{\text{Poids initial}} \times 100$$



Figure 15 : Matériels utilisés pour l'évaluation de l'humidité (Original, 2025)

II.5.1.3. Détermination du Potentiel hydrogène (Ph)

La méthode de détermination du pH de la farine (figure 16) consiste à utiliser un pH-mètre étalonné. Les étapes que nous avons suivies se résument comme suit :

- Préparer une suspension de farine dans de l'eau distillée.
- Mélanger pour une dispersion uniforme.
- Laisser reposer pour que les particules solides se déposent.
- Mesurer le pH du surnageant à l'aide du pH-mètre.



Figure 16 : Matériels utilisés pour l'évaluation de Potentiel hydrogène (Original, 2025)

II.5.1.3. Acidité titrable

La détermination de l'acidité dans la farine est la détermination volumétrique de l'acidité titrable. Pour cela, nous avons procédé au prélèvement de 5 g de farine sèche dans un bécher à laquelle on ajoute 30 ml d'éthanol à 70% avec agitation énergique pendant quelques minutes. Ensuite, le tout est filtré à travers un entonnoir et d'un papier filtre pour obtenir un filtrat clair. Nous ajoutons ensuite, 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine à 10 ml du filtrat clair avant de procéder au titrage goutte à goutte avec la solution de NaOH 0,1 N jusqu'à apparition d'une coloration rose pâle persistante (figure 17).

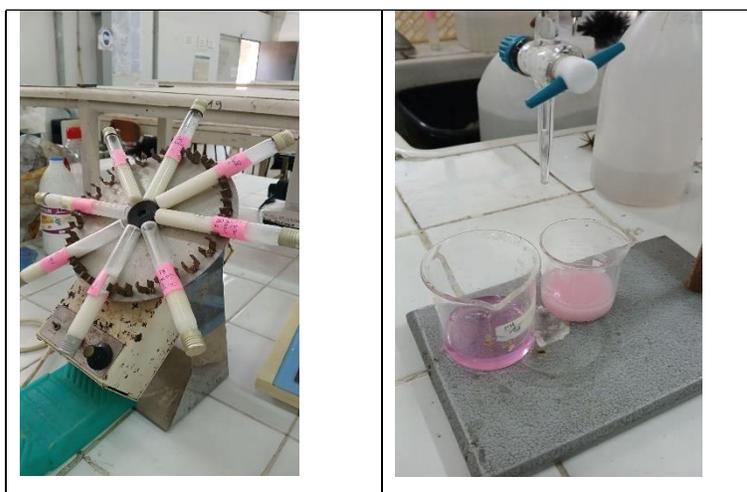


Figure 17 : Matériels utilisés pour l'évaluation de l'acidité (Original, 2025)

II.5.1.4. Dosage du gluten

Pour la détermination de la teneur en gluten dans les échantillons de farine infestée, nous avons suivis les étapes suivantes (figure 18):

- Prélever 10 g de chaque échantillon de farine
- Ajouter de l'eau distillée et pétrir jusqu'à obtention d'une pâte homogène.
- Laver la pâte sous un filet d'eau afin d'éliminer l'amidon et les autres composants solubles
- Récupérer le gluten humide restant
- Essorer et peser le gluten humide
- Sécher le gluten humide à l'étuve à 105° C et repeser.

La teneur en gluten sec sera exprimée en pourcentage (%) de matière sèche.



Figure 18 : Matériels utilisés pour l'évaluation du gluten (Original, 2025)

II.6. Exploitation des résultats

L'efficacité d'un produit biocide est généralement évalué à travers la mortalité observée chez l'organisme cible. Cependant, la mortalité relevée dans un groupe traité ne représente pas uniquement celle induite par le toxique, puisqu'une part peut être attribuée à la mortalité naturelle. En d'autres termes, la mortalité observée dans un groupe traité n'est pas entièrement



imputable au produit, une partie étant due à des facteurs naturels. Les formules d'**Abott (1925)** et de Shneider Orelli en sont une référence. Pour en tenir compte, les pourcentages de mortalité sont corrigés à l'aide de la formule de Schneider-Orelli :

$$MC = [100 \times (M - MT)] / (100 - MT)$$

Où :

- MC : Pourcentage de mortalité corrigée
- M : Pourcentage de mortalité observé dans le groupe traité
- MT : Pourcentage de mortalité observé dans le témoin

Les combinaisons d'huiles essentielles ont été testées pour voir si elles ont un effet plus important que les huiles individuelles, indiquant des interactions synergiques.



Résultats et Discussion

III.1. Résultats

III.1.1. Rendement en huile essentielle d'*eucalyptus globulus*

L'extraction de l'huile essentielle à partir des feuilles d'eucalyptus par la technique d'hydrodistillation a permis d'obtenir un faible rendement en huile essentielle de 0,05%. L'huile obtenue est caractérisée par une coloration jaune ocre et une odeur aromatique.

III.1.2. Résultats des bio essais par inhalation des huiles seules

III.1.2.1. Taux de mortalité observée à 20 °C et 25°C

L'évolution du taux de mortalité observée des larves d'*E. kuehniella* en fonction de la durée d'exposition (15h, 24h, 48h et 72h) à deux températures (20 °C et 25 °C) sous l'effet de différentes substances : huiles essentielles d'origan, d'eucalyptus, de sésame et un témoin non traité (eau distillée) est présenté dans la figure 19.

À 20 °C, l'huile essentielle d'eucalyptus a montré une efficacité maximale après 24 heures (90 %), atteignant 100 % après 48 heures. L'huile essentielle d'origan (origan doré) a également montré une mortalité accrue, atteignant 100 % après 72 heures. Le sésame a montré une efficacité modérée, avec un taux de mortalité de 66 % après 48 heures. En revanche, le groupe témoin a obtenu un taux de mortalité très faible (moins de 10 %) (figure 19).

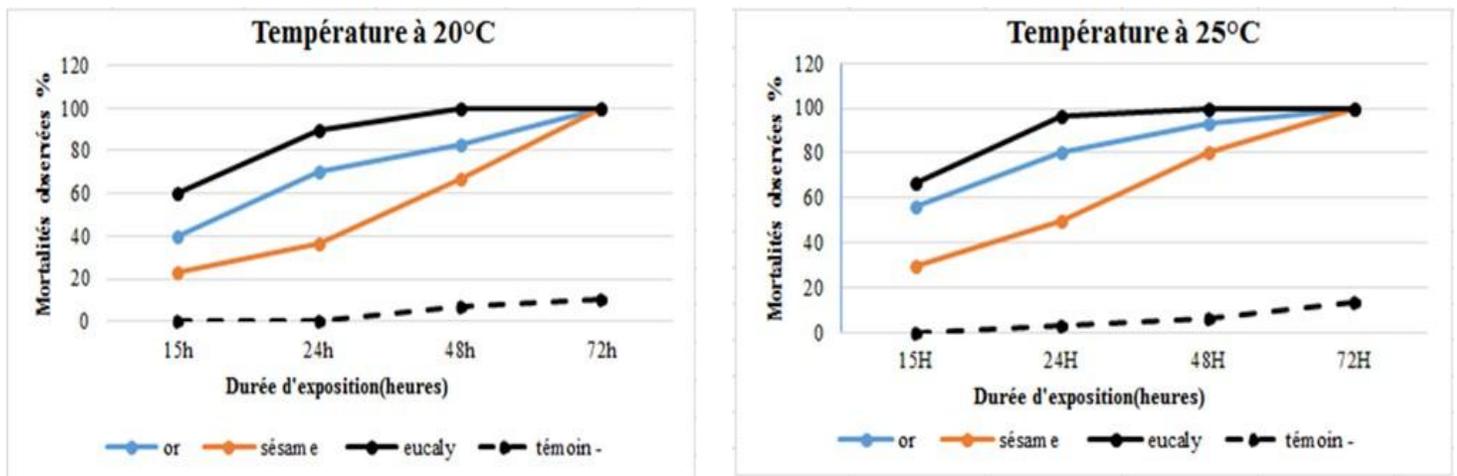


Figure 19 : Variation des mortalités larvaires d'*E. kuhniella* sous l'effet des huiles essentielles appliquées seules aux températures 20°C et 25°C.



À 25 °C, les effets du traitement étaient plus prononcés. L'huile essentielle d'eucalyptus a entraîné un taux de mortalité de 96,6 % après 48 heures, suivie de l'huile essentielle d'origan avec 93,3 %. Le sésame est resté moins efficace (80 % après 48 heures), mais a montré une augmentation constante. Un taux de mortalité de 13,3 % après 72 heures a été enregistré chez le groupe témoin.

III.1.3. Résultats des bio essais par inhalation des huiles combinées

III.1.3.1. Taux de mortalité observée à 20 °C et 25 °C

L'évolution du taux de mortalité observée des larves d'*E. kuehniella* en fonction de la durée d'exposition (2h, 4h, 15h et 72h) à deux températures (20 °C et 25 °C) sous l'effet de différentes huiles : huiles essentielles d'origan, d'eucalyptus, et huile végétale de sésame et un témoin non traité est consignée dans la figure 20.

À 20 °C, le mélange eucalyptus + origan + sésame s'est révélé le plus performant, atteignant une mortalité de 86,7 % dès 15 h et 100 % à partir de 24 h. Ce mélange est suivi de près par le mélange eucalyptus + origan, qui atteint 86,7 % à 24 h également. Les autres combinaisons (eucalyptus + sésame et origan + sésame) ont montré une efficacité progressive, mais légèrement inférieure. La mortalité maximale chez le témoin négatif a été de 6,66 % à 72 h) (figure 20).

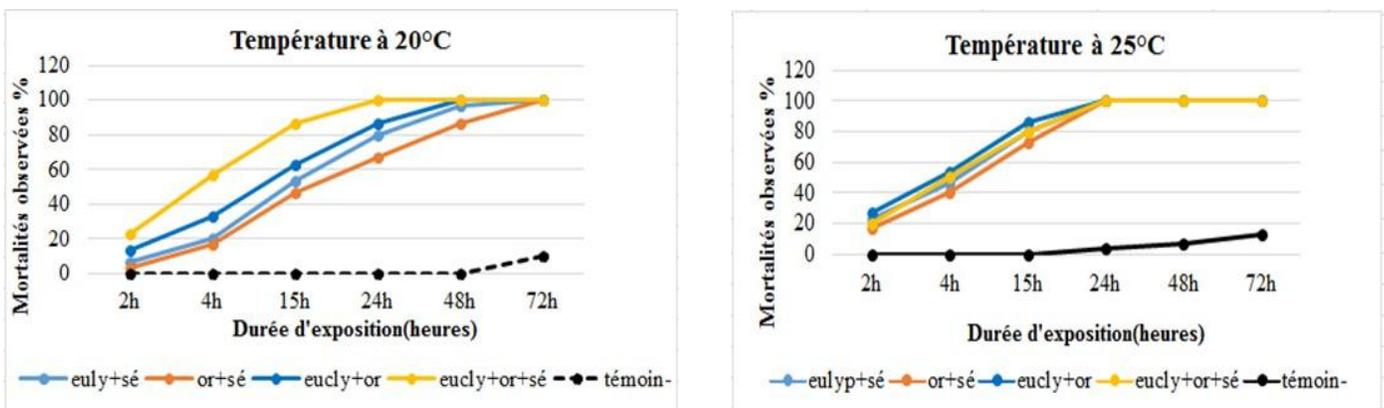


Figure 20 : Variation des mortalités larvaires d'*E. kuehniella* sous l'effet des huiles essentielles appliquées en mélanges aux températures 20°C et 25°C.



À 25 °C, tous les mélanges testés atteignent 100 % de mortalité dès 48 h, voire plus tôt pour certains. Le mélange eucalyptus + origan s'avère particulièrement rapide, atteignant 86,7 % dès 15 h. La mortalité observée chez le témoin n'excède pas 13,3 % (figure 20).

III.1.4. Analyse comparative des mortalités d'*E. kuehniella*

L'analyse comparative des résultats obtenus avec les huiles essentielles seules et leurs mélanges montre une nette amélioration de l'efficacité insecticide lorsque les substances sont combinées, en particulier à température élevée (figure 21).

III.1.4.1. Evaluation des mortalités corrigées sous l'effet des huiles seules et combinées

À 20 °C, les huiles essentielles utilisées individuellement (origan, eucalyptus, sésame) induisent des mortalités progressives, atteignant 100 % entre 48 h et 72 h pour l'origan et l'eucalyptus. En revanche, les mélanges, notamment eucalyptus + origan + sésame et eucalyptus + origan, permettent d'atteindre 100 % de mortalité plus rapidement (dès 24 h), avec des valeurs supérieures à 85 % dès 15 h. Cela suggère un effet synergique entre les composants, accélérant l'action toxique sur les larves. À 25 °C, les effets sont encore plus prononcés. Les traitements seuls sont déjà très efficaces (jusqu'à 100 % à 48 h), mais les mélanges atteignent souvent 100 % de mortalité dès 24 h, voire à 15 h pour le mélange eucalyptus + origan (figure 22). Cette amélioration pourrait être attribuée à la température élevée, qui favorise la volatilisation des composés actifs et augmente leur biodisponibilité dans l'air.

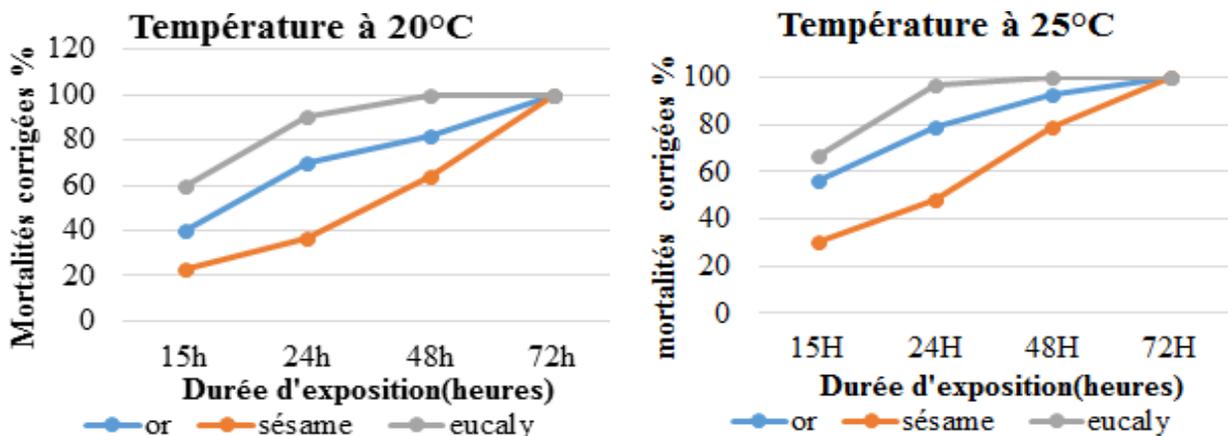


Figure 21 : Pourcentages de mortalités corrigées sous l'effet des huiles appliquées seules aux températures 20°C et 25°



La figure 22 présente les taux de mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* exposées aux différents mélanges d'huiles essentielles et l'huile de sésame (eucalyptus + sésame, origan + sésame, eucalyptus + origan, et eucalyptus + origan + sésame), à deux températures (20°C et 25°C) et sur différentes durées d'exposition (2h, 4h, 15h, 24h, 48h et 72h).

À 20°C, tous les mélanges montrent une augmentation progressive de la mortalité avec le temps. Le mélange eucalyptus + origan + sésame se distingue par une mortalité plus élevée dès 4h d'exposition, atteignant 100 % à 48h. Les autres mélanges atteignent également des mortalités élevées au-delà de 48h, mais à des rythmes variables.

À 25°C, les mortalités augmentent plus rapidement. Le mélange triple (eucalyptus + origan + sésame) atteint 100 % dès 24h, alors que les autres mélanges montrent des mortalités corrigées proches ou égales à 100 % à partir de 48h.

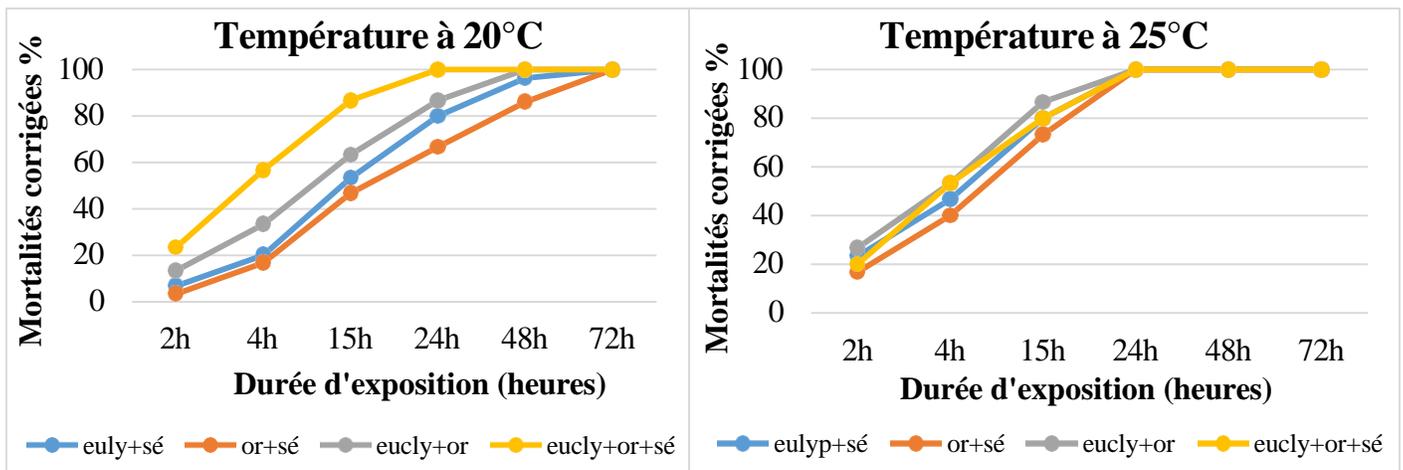


Figure 22 : Pourcentages de mortalités corrigées sous l'effet des huiles appliquées en mélange sur les larves d'*E. kuhniella* aux températures 20°C et 25°

III.1.4.2. Comparaison des moyennes de mortalités corrigées

a- Analyse des effets des huiles seules sur les larves d'*Ephestia kuehniella*



L'analyse de la variance (ANOVA) a permis de déterminer l'effet de trois facteurs (le traitement, la température et le temps d'exposition) sur la mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* exposées aux huiles testées seules (*E. globulus*, *O. vulgare* et *Sesamum indicum*). Les moyennes de mortalités corrigées larvaires sont significativement différentes selon chaque facteur considéré. Selon le type de traitement appliqué, l'huile essentielle d'eucalyptus a provoqué la mortalité la plus élevée, suivie de l'origan, tandis que l'huile de sésame a enregistré la plus faible mortalité, (figure 23). (F= 182,4, dl= 2, p < 1% très hautement significatif ***).

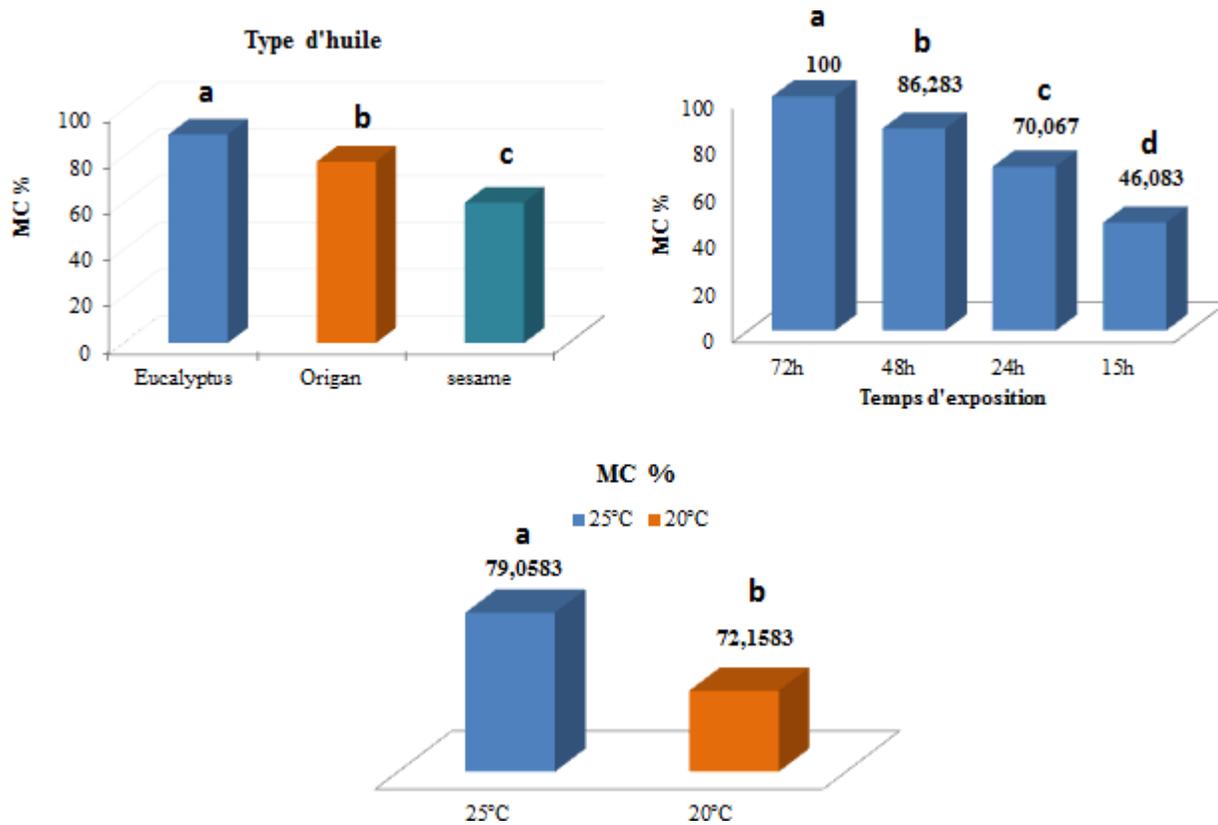


Figure 23 : Effet du traitement, de la température et du temps d'exposition sur la mortalité corrigée des larves d'*E. kuehniella* exposées aux huiles essentielles seules.

Concernant le temps d'exposition, des différences significatives ont été observées (F= 343,43, dl= 3, p < 1%, très hautement significatif ***). Une durée de 15 heures a permis d'atteindre la mortalité la plus élevée, tandis que les durées inférieures ont entraîné des mortalités plus faibles. Chaque durée est statistiquement différente des autres.



En ce qui concerne la température, l'exposition à 25 °C a généré une mortalité corrigée significativement plus élevée que celle observée à 20 °C. Cette différence est statistiquement significative, avec deux groupes distincts selon le test de comparaison multiple ($F= 30,44$, $dl= 1$, $p=0,001$, très hautement significatif ***) (figure 23). L'analyse de l'interaction entre le traitement seul et le temps d'exposition montre que la mortalité corrigée varie selon le type d'huile essentielle et la durée d'exposition. À 15h, l'eucalyptus a entraîné la mortalité la plus élevée (~85 %, groupe C), suivi de l'origan (~65 %, groupe D) et du sésame (~45 %, groupe E). À partir de 24h, les mortalités augmentent progressivement pour tous les traitements, atteignant des valeurs maximales (groupe A) à 72h, avec des différences significatives entre certaines modalités ($F= 25,14$, $dl= 6$, $p < 1\%$, hautement significatif **).

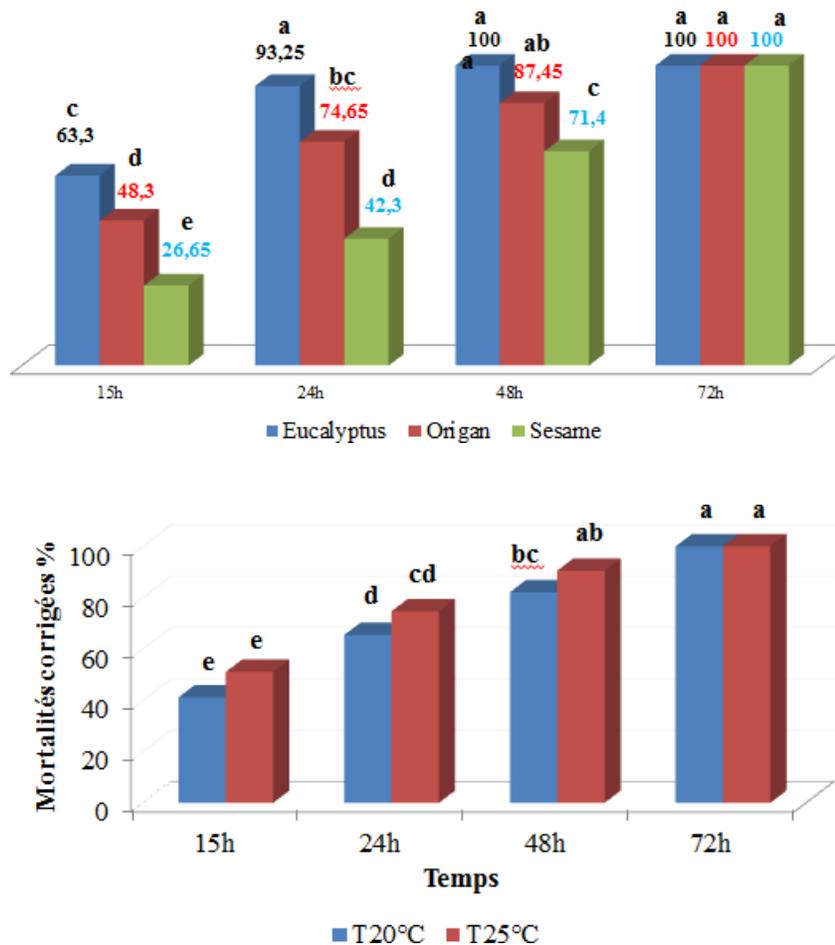


Figure 24 : Effet des interactions entre le traitement × temps et la température × temps sur les pourcentages de mortalité corrigée chez *Ephestia kuehniella*.



Concernant l'interaction température \times temps, les résultats montrent une augmentation de la mortalité avec le temps à la fois à 20°C et 25°C. À 15h, les mortalités à 25°C bien que plus élevée (~65 %) comparée à celle observée à 20°C (~40 %) sont classées dans le même groupe, (E). À 72h, les deux températures ont induit des mortalités corrigées similaires (~100 %, groupe A), sans différence significative à cette durée.

b- Analyse des effets des huiles combinées sur les larves d'*Ephestia kuehniella*

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,05$) entre les différents traitements à base de mélanges d'huiles, en fonction du type de mélange, du temps d'exposition et de la température.

Concernant les types de traitements, le mélange Eucalyptus + Origan a induit le taux de mortalité corrigée le plus élevé, suivi respectivement par Eucalyptus + Origan (variante), Eucalyptus + Sésame, et enfin Origan + Sésame. Les groupes distinctes (A, B, C, D) indiquent des différences significatives entre les traitements.

En ce qui concerne l'effet du temps d'exposition, la mortalité a augmenté avec la durée. Les taux les plus élevés ont été enregistrés après 72h (groupe A), tandis que les durées courtes de 2h et 4h ont montré les taux les plus faibles (groupes E et D respectivement). Les valeurs intermédiaires à 24h et 48h se situent entre ces extrêmes, avec des différences significatives selon les groupes de groupes (A à E). En outre, l'analyse de l'effet de la température a montré que la mortalité corrigée était significativement plus élevée à 25°C (groupe A) comparée à 20°C (groupe B).

L'analyse des interactions a mis en évidence une variation significative ($p < 0,05$) des pourcentages de mortalité corrigée en fonction du croisement entre les facteurs étudiés.

L'interaction traitement \times temps a montré que les taux de mortalité augmentent progressivement avec la durée d'exposition, quel que soit le type de traitement. Le mélange Eucalyptus + Origan (Euc+Orig) a induit les mortalités les plus élevées dès 15h et jusqu'à 72h. À 2h et 4h, les mortalités sont faibles pour tous les traitements, avec des différences significatives entre eux.



Pour l'interaction température \times temps, les résultats indiquent également une augmentation progressive de la mortalité avec le temps. Les températures plus élevées (25°C) ont entraîné une mortalité significativement plus importante que 20°C à partir de 15h jusqu'à 72h. Les différences entre les durées sont marquées par des groupes différents (FG à A), confirmant l'effet combiné du temps et de la température.

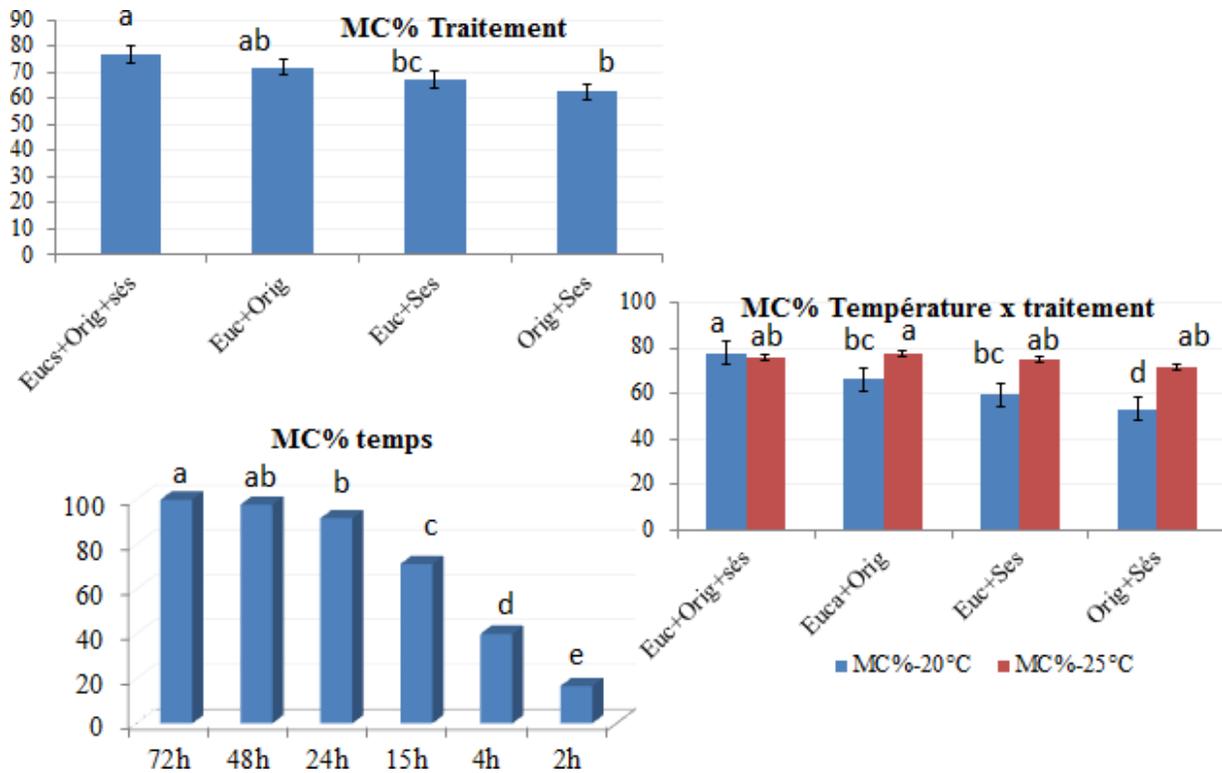


Figure 25 : Effets de la durée d'exposition, des huiles combinées et de l'interaction température \times traitement sur les pourcentages de mortalité corrigée chez les larves d'*Ephestia kuehniella*

III.2. Analyses physicochimiques de la farine

Dans le but d'évaluer l'impact des traitements insecticides par inhalation sur les propriétés physicochimiques de la farine, quatre traitements ont été testés : deux traitements par mélanges d'huiles (eucalyptus + sésame et origan + sésame), un lot infesté non traité, et un



témoin non infesté. Les paramètres analysés comprennent l'humidité, le pH, l'acidité titrable et la teneur en gluten.

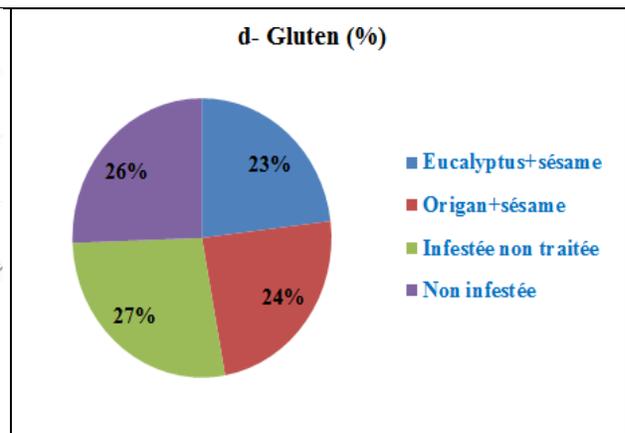
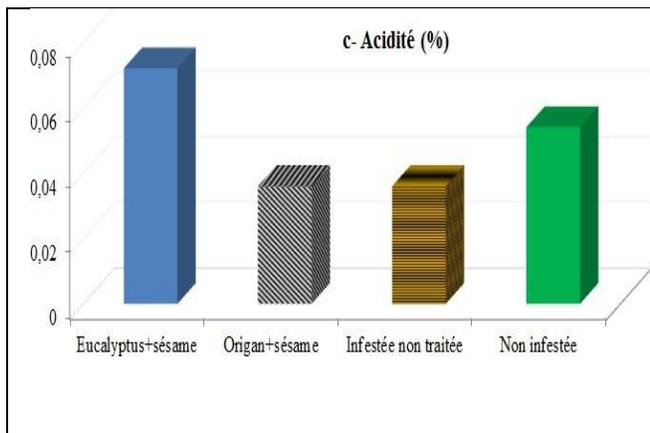
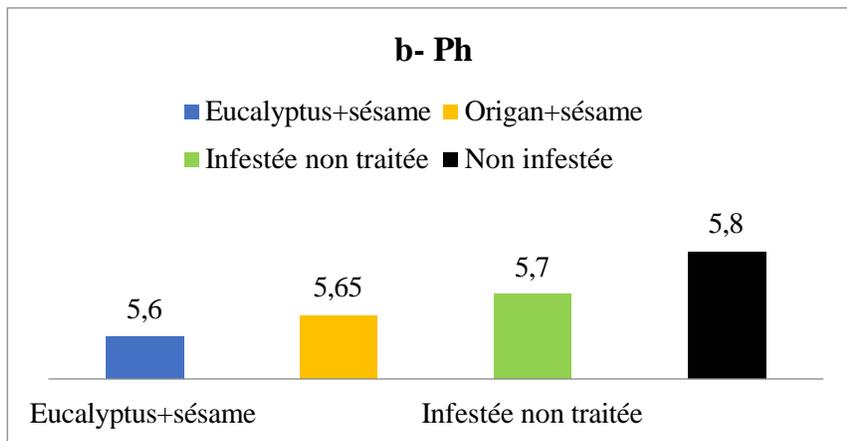
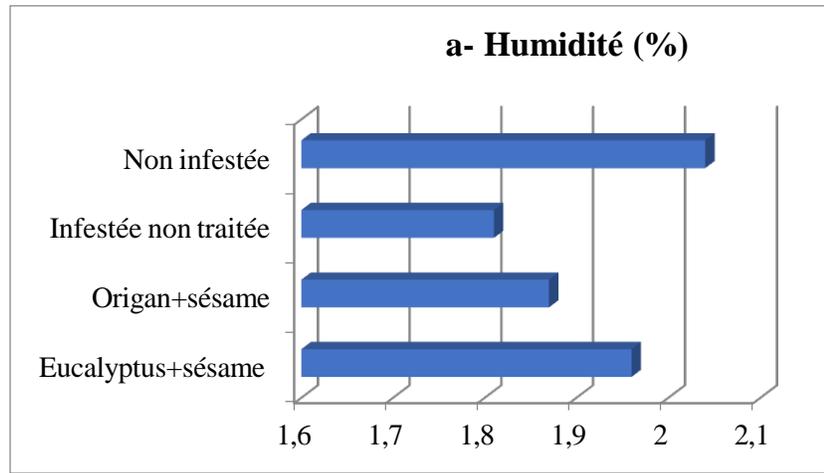


Figure 26. Paramètres physicochimiques des farines testées.



Les résultats montrent de faibles variations de l'humidité entre les traitements, avec une teneur légèrement plus élevée dans la farine non infestée. Le pH reste globalement acide, variant de 5,60 à 5,80. L'acidité titrable est plus importante dans le traitement à base d'eucalyptus et sésame, tandis qu'elle est minimale dans les traitements à base d'origan et dans l'échantillon infesté non traité. Enfin, le taux de gluten est le plus élevé dans la farine infestée non traitée et le plus faible dans le traitement T1(Eucalyptus + sésame).

III. 2. Discussion générale

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'efficacité notable des huiles essentielles testées, qu'elles soient utilisées seules ou en mélange, sur la mortalité des larves d'*Ephestia kuehniella*. L'huile essentielle d'eucalyptus a démontré une activité insecticide particulièrement élevée, suivie de près par celle de l'origan, tandis que l'huile de sésame s'est révélée moins efficace. Ces résultats sont en accord avec des travaux antérieurs ayant montré que le 1,8-cinéole (composé majeur dans l'eucalyptus) et le carvacrol ou le thymol (principaux constituants de l'origan) présentent une forte toxicité par inhalation contre de nombreux insectes ravageurs (Isman, 2000 ; Pavela & Benelli, 2016). Les principaux constituants de la plupart des huiles essentielles d'Eucalyptus sont les monoterpènes et les sesquiterpènes, y compris le 1.8-cineole, α -pinene, p-cymene, α -terpineol, limonene, γ -terpinene, α -phellandrene, β -pinene, globulol, aromadendrene, β -phellandrene. Ils peuvent être divisés en plusieurs catégories selon leurs chémotypes (Southwell, 1992), comme chez *E. globulus*, la concentration des différents composés peut varier parmi les populations de la même espèce en fonction de plusieurs paramètres. Le 1,8-cinéole (ou eucalyptol), en tant que composé actif peut perturber le système nerveux des insectes, entraînant leur mort ou leur fuite.

Les synergies, en combinant plusieurs huiles essentielles, peuvent potentialiser leurs effets, et augmentent aussi potentiellement la toxicité. L'activité biologique des Eucalyptus est liée à la concentration des constituants, et aussi des composés mineurs peuvent jouer un rôle fondamental et synergique dans les activités biologiques. Ainsi, différents travaux rapportent l'effet de l'huile essentielle d'*E. globulus* sur les insectes des denrées stockées : en tant qu'insecticide sur *Callosobruchus maculatus* (Ya-Ali *et al.*, 2020), *Sitophilus granarius*, (Demeter *et al.*, 2021), *Sitophilus oryzae*, (Soltani *et al.*, 2020), *S. zeamais* (Mossi *et al.*, 2011),



en tant qu'anti appétant et répulsif contre *Oryzaephilus surinamensis* ((Abd El-Salam *et al.*, 2019) et en tant qu'insecticide, larvicide et ovicide sur *Tribolium castaneum* (Mangang and Manickam, 2022) et sur *T. confusum* (Ainane *et al.*, 2019).

L'analyse des effets du temps d'exposition a montré une relation directe entre la durée d'exposition et le taux de mortalité. En effet, les mortalités les plus faibles ont été enregistrées à 2 h et 4 h, alors que les valeurs maximales ont été observées à 48 h et 72 h. Cela suggère que les huiles essentielles ont besoin d'un temps suffisant pour diffuser dans l'environnement et atteindre des concentrations létales. Ce phénomène a également été documenté dans plusieurs études, indiquant que l'efficacité des huiles par voie aérienne dépend de leur volatilité et de leur stabilité dans l'air (Ben Jemaa *et al.*, 2012). Des recherches ont mis en évidence la toxicité des huiles essentielles d'eucalyptus, notamment celles d'*E. globulus* et d'*E. radiata*, sur les larves de pyrale de la farine.

L'élévation de la température à 25°C a permis d'obtenir des mortalités plus importantes qu'à 20°C. Ce résultat peut être expliqué par une meilleure volatilisation des composés actifs à température élevée, augmentant ainsi leur concentration dans l'atmosphère et leur efficacité biologique (Singh *et al.*, 2009). Cette influence thermique positive est particulièrement intéressante pour les régions chaudes, où ces huiles pourraient être utilisées de manière plus efficace sans recours à des moyens supplémentaires.

Les mélanges d'huiles essentielles ont montré une efficacité renforcée par rapport aux huiles utilisées seules. Le mélange eucalyptus + origan s'est distingué avec une mortalité de 100 % atteinte plus rapidement que dans les autres traitements, suggérant une synergie entre les composés actifs. Cette synergie permet non seulement d'augmenter l'efficacité, mais aussi de réduire les doses nécessaires de chaque huile, ce qui limite les risques de toxicité non ciblée et les coûts de traitement (Tripathi *et al.*, 2009 ; Pavela, 2008).

L'analyse des interactions traitement \times temps et température \times temps a confirmé que l'efficacité insecticide dépend fortement de la combinaison de ces facteurs. Les mélanges ont été plus performants à des durées prolongées et à température élevée, soulignant l'importance d'optimiser les conditions d'application dans les milieux réels.



La température idéale pour conserver la farine se situe entre 10 et 20 degrés. En effet, la farine ne tolère pas les températures trop élevées et les environnements trop secs car elle pourrait perdre son humidité et devenir inutilisable. D'un point de vue technologique, les analyses physicochimiques de la farine traitée ont révélé que l'utilisation d'huiles essentielles par inhalation n'a pas entraîné de modifications majeures de la qualité du produit. Les variations observées dans l'humidité, le pH, l'acidité titrable et la teneur en gluten sont restées faibles et ne compromettent pas les propriétés technologiques de la farine. Cela suggère que ces traitements peuvent être envisagés pour une application post-récolte sans risque pour la qualité nutritionnelle ou fonctionnelle du produit (Bakkali et al., 2008 ; Regnault-Roger et al., 2012).

En somme, cette étude démontre que les huiles essentielles, notamment lorsqu'elles sont utilisées en mélange, représentent une alternative naturelle, efficace et sûre aux insecticides chimiques pour la protection des denrées stockées. Leur efficacité dépend cependant de plusieurs paramètres, notamment la durée d'exposition, la température et le type de combinaison, ce qui souligne l'importance d'une approche intégrée dans leur mise en œuvre.



Conclusion & Perspectives



Conclusion et perspectives

Face aux enjeux croissants liés à la sécurité alimentaire mondiale et aux risques sanitaires et économiques que représentent les ravageurs des denrées stockées, notamment *Ephestia kuehniella*, cette étude s'est attachée à explorer des alternatives naturelles, durables et efficaces à la lutte chimique traditionnelle.

L'évaluation des effets insecticides de trois huiles (origan, eucalyptus et sésame), utilisées seules ou en mélanges, a permis de démontrer leur efficacité contre les larves de *E. kuehniella*, en particulier à la température de 25 °C. Les résultats ont mis en évidence une synergie significative dans certains mélanges, notamment origan-eucalyptus, qui ont induit des taux de mortalité élevés dans des délais courts. Par ailleurs, les analyses physico-chimiques ont confirmé que l'application de ces traitements n'altère pas significativement la qualité de la farine traitée.

Ainsi, ces substances naturelles présentent un fort potentiel en tant qu'alternatives écologiques aux insecticides chimiques, réduisant les risques de toxicité, de contamination des produits alimentaires, et de développement de résistances. Néanmoins, leur efficacité reste influencée par plusieurs facteurs, tels que la température, la formulation, ou la persistance, qui doivent être optimisés pour une application à grande échelle.

L'eucalyptus contient des produits chimiques toxiques à caractère insecticide, ce qui nous conduit à dire que cette plante est prometteuse comme source de bio insecticide. Tous ces tests effectués peuvent confirmer que le traitement de céréales stockées contre les insectes par les huiles essentielles issues des plantes peut être très efficace. L'utilisation d'huiles essentielles d'eucalyptus dans des pièges ou des systèmes de diffusion, des sachets imprégnés d'huiles essentielles, ou des mélanges à vaporiser sur les surfaces pourrait aider à protéger les denrées stockées contre les infestations de pyrale de la farine. En perspectives, nos résultats sont préliminaires bien que les huiles utilisées contre les insectes des stocks. Sont faibles notre étude doit être poursuivie par d'autres expériences qui mettaient en valeur ces nouvelles molécules naturelles qui seront probablement utilisées par les firmes qui produisent les insecticides. Des recherches plus approfondies sont nécessaires pour déterminer les concentrations optimales d'huiles essentielles d'eucalyptus et les méthodes d'application les plus efficaces pour une protection maximale.

Avec *E. camaldulensis* et *E. cinerea*, *Eucalyptus globulus*, étant les espèces d'*Eucalyptus* les plus cultivées dans le monde et les plus documentées dans la littérature, pourraient être des espèces prometteuses pour l'extraction des huiles essentielles à une échelle industrielle.



Références bibliographiques



Références bibliographiques

1. **Abbott, W.S. (1925)**. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18, 265-267.
2. **A.M.E. Abd El-Salam, S.A. elwahed Salem, R.S. Abdel-Rahman (2019)**. Fumigant and toxic activity of some aromatic oils for protecting dry dates from *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) in stores. *Bull. Natl. Res. Cent.*, 43, 10.1186/s42269-019-0101-2
3. **Aidani H. ; 2015**. Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées. Mémoire de master 2 : Agriculture, Production et Amélioration des plantes. Université Abou bekr belkaid 1, 80p.
4. **Ainane A., Khammour, S. Charaf, M. Elabboubi, M. Elkouali, M. Talbi, R. Benhima, S. Cherroud, T. Ainane (2019)**. Chemical composition and insecticidal activity of five essential oils: *Cedrus atlantica*, *Citrus limonum*, *Rosmarinus officinalis*, *Syzygium aromaticum* and *Eucalyptus globulus*. *Mater. Today Proc.*, 13, pp. 474-485, 10.1016/j.matpr.2019.04.004.
5. **Amari N. ; 2014** : Etude du choix de ponte du bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche, et Influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte. Mémoire de magistère. Pp. 23, 23, 25.
6. **Benayad N. (2008)**. Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines. Moyen efficace contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Projet de recherche. Faculté de science de Rabat.
7. **Benayad. N. (2013)**. Evaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales marocaines. Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plante marocaines et activités anticancéreuse. Thèse de doctorat Chimie Organique, Université Mohammed V-Agdal. pp. 47, 48.
8. **Bey Z.ould si said. (2014)**. « Activités biologiques des huiles essentielles des feuilles et du fruit d'une plante médicinale *Eucalyptus globulus* ». Mémoire de Magister. Université de Bejaia (Algérie),



9. **Bhumi T., Urvi C. & Pragna P. (2017).** Biopesticidal potential of some Plant Derived Essential Oils Against The Stored Grain Pests. *Int. J. Zool. Invest.* 3: 188-197.
10. **CNRS., (2004).** Collecte et stockage de céréales, d'oléagineux et de protéagineux : Guides des bonnes pratiques hygiéniques, Paris, Les éditions des Journaux officiels, août 2004, 100 p. (ISBN 2-11-075669-1).
11. **Demeter S., O. Lebbe, F. Hecq, S.C. Nicolis, T. Kenne Kemene, H. Martin, M.L. Fauconnier, T. Hance (2021).** Insecticidal activity of 25 essential oils on the stored product pest, *Sitophilus granaries*. *Foods*, 10, pp. 1-13, 10.3390/foods10020200
12. **Drabo SF., Coulibaly YA., Romba R., Balboné M. & Gnankiné O. (2019).** Biochemical resistance to insecticides in *Bemisia tabaci* field population from Burkina Faso, West Africa. *Phytoparasitica.* 47 (5).
13. **Erler F, Tunc I. 2005.** Monoterpenoids as fumigants against greenhouse pests: toxic, development and reproduction inhibiting effects. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 112: 181-192.
14. **Erler F. 2005.** Fumigant activity of six monoterpenoids from aromatic plants in Turkey against the two stored-product insects confused flour beetle, *Tribolium confusum*, and Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 112: 602–611.
15. **Ischayaa, E., Kostjukovski, M., Eillerg, J. Sukprakarm, C. (1997).** Plant oils as fumigants and contact insecticide for the control of stored- product insects. *Journal of stored product research* .
16. **Isman, M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, Volume 19, Issues 8–10, 12 September 2000, Pages 603-608.
17. **Joost G., Rudiger, H. & Otto, M. (1996).** Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. Ed GTZ, Eschborn, 368p.
18. **Kaur HG. & Garg H. (2014).** Pesticides: Environmental Impacts and Management Strategies, Pesticides - Toxic Aspects. *InTech.* 10: 5772-57399.
19. **Keita et al. ; 2001.** Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. Applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.* 37: 339–349.



20. **Kim, S., Roh, J., KimD., Lee, H. & Ahn, Y. (2003).** Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. *J. Stored Prod. Res.* 39: 293-303
21. **Mangang I.B., L. Manickam (2022).** Insect repellent pellets – an application of botanicals against red flour beetle – their antifungal activity during storage and use as potential fumigants. *J. Sci. Food Agric.*, **10.1002/jsfa.12037**.
22. **Momar et al. ; 2011 :** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc.*
23. **Montauban C., Mas M., Wangenstein O., Sarto IMV., Gisbert FD., Ferré M. & Lopez-Baucells A. (2021).** Les chauves-souris comme échantillonneurs naturels : Premier signalement du charançon de l'eau du riz, ravageur envahissant, *Lissorhoptrus oryzophilus* dans la péninsule ibérique. *Prot. Cult.* 141: 105427.
24. **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.
25. **Mossi A.J., V. Astolfi, G. Kubiak, L. Lerin, C. Zanella, G. Toniazzo, D. de Oliveira, H. Treichel, I.A. Devilla, R. Cansian, R. Restello (2011).** Insecticidal and repellency activity of essential oil of Eucalyptus sp. against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *J. Sci. Food Agric.*, 91, pp. 273-277, 10.1002/jsfa.4181.
26. **Negahban, M., Moharramipour, S. & Sefidkon, F. (2007).** Fumigant toxicity of essential oils from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 43(2), 123–128.
27. **Ngamo, T.L.S., Ngassoum, M.B., Jirovertz, L., Ousman, A., Nukenine, E. & Moukala, O.E. (2001).** Protection of stored Maize against *Sitophiluszeamaïs* (Motsch.) by use of essential oils of spices from Cameroon. *Medical faculty Landbouww University of Gent*, 66 (2a): 473-478.
28. **Ngassoum, M.B., Ngamo, T.L.S., Maponmetsem, P.M., Jirovertz, L. & Buchbauer, G. (2003).** Investigation of medicinal aromatic plants from Cameroon: GC/FID, 253 GC/MS and olfactoric analyses of essential oils *Ocimum suave* Willd. (Lamiaceae). *Acta Pharmaceutica Turcica*, 45 : 69-75.



29. **Popp J., Peto K. & Nagy J. (2013).** Pesticide productivity and food security. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33: 243–255.
30. **Sanon A., Garba M., Auger J. & Huignard J. (2002).** Analysis of insecticidal activity of methylisothiocyanate on *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera : Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera : Pteromalidae). *J. Stored Prod. Res.* 38: 129–138p.
31. **Sékou Moussa, K., Sidibe, L., Figueredo, G. & Chalchat, J.C. (2001).** Chemical composition of the essential oil of *Xylopiya ethiopyca* (Dunal) A. Ch. From Mali. *Journal of Essential Oil Research*, 15 (4): 267-269.
32. **Sékou M., K., Vincent, C., Schmit, J-P., Ramaswamy, S. & Belanger, A. (2000).** Effect of various essential oils on *Callobruchus maculatus*. *Journal of Products Research*, 36 : 355-364.
33. **Steffan J. (1978).** Les insectes et les acariens des céréales stockées. 1ère édition, Paris : TTCF-Afnor, 237p.
34. **Taibi F., Smaghe G., Amrani L. & Soltani-Mazouni N. (2003).** Effect of ecdysone agonist RH-0345 on reproduction of mealworm, *Tenebrio molitor*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part*, 135: 257–267.
35. **Tunc I, Berger BM, Erler F, Dagli F. 2000.** Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored-products insects. *Journal of Stored Products Research* 36: 161-168.
36. **Ya-Ali P., F. Yarahmadi, M.A. Mehrnia (2020).** Efficacies of two nano-formulations of Tasmanian blue gum essential oil to control *Callosobruchus maculatus*. *J. Econ. Entomol.*, 113, pp. 1555-1562, 10.1093/jee/toaa069



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 01

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES ET AGROÉCOLOGIE

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master En Sciences Agronomiques

Spécialité : Phytopharmacie et Protection des végétaux

Thème :

**Etude de l'effet de substances bioactives seules ou en
mélange contre un ravageur des denrées stockées
« *Ephestia kuehniella* (Zeller) »**

Présenté par :

TOUBAL Hadjer et BENAÏSSA Hiba

Soutenu devant les jurés :

M^{me} REMINI.

M^{me} BABA AÏSSA K.

M^{me} ALLAL BENFEKIH L.

M.C.A.

M.A.A.

Professur

USD Blida 1

USD Blida 1

USD. Blida 1

Présidente

Examinatrice

Promotrice

Dr Kheddou

Année Universitaire : 2024/2025