

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université MOULOUD MAMMARI de TIZI-OUZOU**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**



**Département des Sciences Biologiques**

**Mémoire de fin d'études**



**En vue de l'obtention du**

**Diplôme du Master académique en Biologie**

**Option : Biologie et contrôle des populations d'insectes**

# Thème

**Etude de l'effet insecticide des huiles essentielles des clous de girofle (*Syzygium aromaticum*) et du bois de Hô (*Cinnamomum camphora*) vis-à-vis d'un ravageur des denrées stockées *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae).**

**Réalisé par : MEZIANI Nawel**

**MECHERAK Syla**

**Membres de jury :**

**Présidente : Mme Goucem-Khelfane K.**

**Maitre de conférences classe A à UMMTO**

**Promoteur : Mr Kellouche A.**

**Professeur à UMMTO**

**Co- promotrice : Mme Bounoua-Fraoucene S.**

**Maitre assistante classe B à UMMTO**

**Examinatrice: M<sup>elle</sup> Kheloul L.**

**Docteur à UMMTO**

**Année universitaire : 2020-2021**



## Remerciements

Nous remercions avant tout Dieu (Allah) le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience d'accomplir ce modeste travail

Monsieur KELLOUCHE A., Professeur à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO), pour avoir voulu diriger ce travail, pour ses conseils, ses orientations et sa patience, pour la correction du manuscrit, qu'il soit assuré de nos respectueuses et vives reconnaissances. Nous avons eu un grand plaisir et une chance inouïe d'avoir bénéficié de votre enseignement, et votre longue expérience, et de nous avoir initié à l'entomologie. Intégrer votre master est une opportunité pour approfondir nos connaissances et compléter notre formation initiale que nous ne regrettons jamais de l'avoir poursuivie.

Madame BOUNOUA-FRAOUCENE S., Maitre assistante classe B à UMMTO, pour avoir voulu co- encadrer ce travail, pour sa gentillesse, ses conseils, sa disponibilité, la correction du manuscrit et pour avoir aménagé une grande part de son temps à nous aider et à nous orienter, qu'elle trouve ici l'expression de nos sincères remerciements et de notre profonde gratitude.

Madame GOUCEM-KHELFANE K., Maitre de conférences classe A à UMMTO, nous a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, qu'elle soit assurée de nos respectueuses et vives reconnaissances.

Mademoiselle KHELOUL L., Docteur à UMMTO, pour avoir accepté de juger ce travail ; qu'elle trouve ici l'expression de nos sincères remerciements.

Notre plus vif remerciement s'adresse à l'ingénieur du laboratoire d'entomologie appliqué II, Melle TIKICHE L. pour son aide, ainsi qu'à tous nos collègues de la promotion 2020-2021.

Nous profitons l'occasion pour remercier tous nos proches et amis (es), particulièrement BOUZIDI. K qui nous ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.



## *Dédicaces*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,  
L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Tous simplement que je dédie ce mémoire de fin d'étude à :*

*Mes très chers parents, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Merci pour les encouragements et le soutien dont vous avez fait preuve à mon égard en tout temps et en toutes circonstances.*

*A mes chères sœurs : Fatiha, Fazia, Hayet, Fahima, Nadia, et leurs époux, Lamia et Ouiza. À mes chers frères : Hamza et son épouse Nouara, et à mes adorables frères Mohamed, Amine et Nacer).*

*A mon très cher fiancé Abbadja. Y pour sa disponibilité, son soutien moral, ses conseils, sa compréhension, sa patience et surtout pour ses encouragements. Je te souhaite la réussite.*

*A ma belle famille, particulièrement ma belle mère, que Dieu lui accorde la santé et une longue vie.*

*A mes adorables nièces et neveux :*

*Lilia, Ines, Lina, Malak, Imen, Mounaïme, Yanis, Aylane, Amina, Rayene, Asma, Serine  
Mohamed-Amine, Hani et Maroua.*

*A toutes mes meilleures amies surtout ; Liza, Sylvia et Yasmina et toutes les personnes que je connaisse.*

*NAWEL*



## *Dédicaces*

*Tout au début, je tiens à remercier le bon dieu de m'avoir donné du courage et de la patience afin de réaliser ce modeste travail que je dédie à :*

*Mon cher père et mère*

*A mes grands-mères Fatima et Ouardia et grands pères Ali et Mohamed*

*Mes adorables frères et sœurs : Nadia, Sofiane, Faiza, Hamza, Massi et Danis.*

*Pour vous témoignez la gratitude, le respect et l'amour,*

*Que Dieu puisse vous garder et vous procurez santé et bonheur et que votre vie soit comblée de réussite, de succès et de bonheur*

*Mon très cher fiancé A. Benamar pour tout ce qu'il a fait pour moi durant toutes ces années, pour son amour, ces conseils, son soutien moral, et financier ; Que dieu puisse te garder pour moi et te procure la santé et le bonheur et que ta vie soit comblée de succès et de réussite.*

*A mes chers oncles Hocine et son épouse Razika et Amar et son épouse Dalila*

*Mes amies Liza, Lamia, Soraya*

*A mon binôme Nawel je lui souhaite tout le bonheur du monde et je la remercie En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.*

*SYLIA*

## Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

### PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

#### Chapitre I. Présentation des huiles essentielles

1. Définition.....
2. Répartition botanique et localisation des huiles essentielles.....
3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles.....
4. Les plantes aromatiques en Algérie.....
5. Activité insecticide des huiles essentielles.....
6. Présentation des plantes étudiées.....
  - 6.1. Le giroflier (Clous de girofle) *Syzygium aromaticum* ou *Eugenia caryophyllus*  
.....
    - 6.1. 1. Classification.....
    - 6.1. 2. Utilisations des produits du giroflier.....
    - 6.1. 3. Huile essentielle du clou de girofle.....
  6. 2. Le Bois de Hô *Cinnamomum camphora*.....
    6. 2. 1. Utilisations du bois de Hô.....
    - 6.2.2. Classification .....
    6. 2. 3. L'huile essentielle du bois de Hô.....

#### Chapitre II. Présentation de la plante hôte (le blé)

1. Le blé dur *Triticum durum*.....
2. Le blé tendre *Triticum aestivum*.....
3. Structure du grain de blé.....
4. Utilisation du blé.....

#### Chapitre III. Généralités sur *Rhyzopertha dominica*

1. Origine et répartition géographique.....
2. Position systématique.....
3. Description.....
4. Biologie et cycle de l'insecte.....
5. Les dégâts.....

6. Les moyens de lutte.....	.....
6.1. Lutte préventive.....	.....
6.2. Lutte curative.....	.....

## PARTIE EXPERIMENTALE

### Chapitre IV. Matériels et méthodes

1. Matériel .....	.....
1.1. Matériel du laboratoire.....	.....
1.2. Matériel biologique .....	.....
1.2.1. Matériel animal (le petit capucin <i>R. dominica</i> ).....	.....
1.2.2. Matériel végétal.....	.....
1.2.2.1. Le substrat .....	.....
1.2.2.2. Les huiles essentielles.....	.....
2. Méthodes.....	.....
2.1. Elevage de masse.....	.....
2.2. Test de répulsivité.....	.....
2.3. Test d'inhalation .....	.....
3. Analyse statistique .....	.....

### Chapitre V. Résultats et discussion

1. Résultats des tests d'inhalation des huiles essentielles des clous de girofle et de bois de Hô sur les adultes de <i>R.dominica</i> .....	.....
-Discussion.....	.....
2. Résultats relatifs à l'effet des traitements sur l'émergence des adultes de la première génération de <i>R. dominica</i> .....	.....
-Discussion.....	.....
3. Résultats des tests par répulsion des huiles essentielles des clous de girofle et de bois de Hô sur les adultes de <i>R.dominica</i> .....	.....
-Discussion.....	.....
4. Résultats de l'impact des traitements sur les paramètres agronomiques des grains de blé.....	.....
4.1. Impact des traitements sur la perte en poids des graines.....	.....
4.2. Etude de la faculté germinative des graines de blé tendre .....	.....
-Discussion.....	.....

### Conclusion générale

## Références bibliographiques

---

## Liste des figures

- Figure 1 :** L'arbre, les fleurs et quelques boutons floraux du giroflier *S. aromaticum* qui, séchés donnent les clous de girofle (B : Bruneton, 1999 ; A et C Barbelet, 2015). .....
- Figure 2 :** Clous de Girofle (Anonyme 2, 2021) .....
- Figure 3 :** L'huile essentielle des clous de girofle (Anonyme 1, 2021). .....
- Figure 4 :** L'arbre du bois de Hô *C. camphora* (a) et ses fruits à maturité (b) (Ritter et Reimer, 2015) et ses fruits à maturité(b) (Woodard, 2010). .....
- Figure 5:** L'huile essentielle du bois de Hô (Anonyme 1, 2021). .....
- Figure 6 :** Structure histologique du grain de blé tendre à maturité (Surget et Barron, 2005).....
- Figure 7 :** Œuf, larve, nymphe, adulte de *R.dominica* (Grains canada, 2017).....
- Figure 8:** Le cycle de vie du petit capucin des grains de blé, *Rhizopertha dominica* (Chenni, 2016).....
- Figure 9:** Dégâts des adultes de *R. dominica* sur les grains de blé dur et tendre (photo originale, 2021).....
- Figure 10:** Matériels du laboratoire : (A) balance, (B) étuve réfrigérée, (C) Loupe binoculaire, (D) tamis, (E) Micropipette et (F) autres accessoires (Originale.2021).....
- Figure 11:** Petit capucin des grains *R. dominica* adulte (A) face ventrale (B) face dorsale (Originale.2021). .....
- Figure 12 :** a) Blé dur *T. durum* et b) blé tendre *T. aestivum* (Originale.2021).....
- Figure 13:** Huile essentielle des clous de girofle (Originale.2021) .....
- Figure 14 :** Huile essentielle du bois de Hô (Originale.2021).....
- Figure 15 :** Elevages de masse de *R. dominica* (Originale.2021).....

---

**Figure 16 :** Dispositif expérimental du test de répulsivité des deux huiles essentielles à différentes doses à l'égard de *R. dominica*.....

**Figure 17 :** Dispositif expérimental du test d'inhalation effectué sur les adultes de *R. dominica* traités par différentes doses des deux huiles essentielles.....

**Figure 18 :** Test de germination des graines de blé tendre *T. durum* .....

**Figure 19 :** Nombre d'individus de *R. dominica* émergeant (moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre infestées par le même ravageur et traitées avec les deux huiles essentielles.....

**Figure 20 :** Pertes moyennes en poids (%) (Moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.....

**Figure 21 :** Taux de germination (%) (Moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.....

## Liste des tableaux

- Tableau 01 :** Organes de certaines plantes riches en huiles essentielles (Garneau, 2005).....
- Tableau 02:**Classification du blé tendre (Doumandji et *al.* 2003).....
- Tableau 03:** Pourcentage des répulsions selon le classement de Mr Donald et *al* (1970).....
- Tableau 04:** Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées, vis-à-vis des adultes de *R. dominica*, dans les tests d'inhalations.....
- Tableau 05:** Pourcentages de mortalité moyens (moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions, n= 20 individus) chez *R. dominica* en fonction des concentrations des huiles essentielles et des durées d'exposition, après correction avec la formule d'Abbott (1925).....
- Tableau 06:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des adultes de *R. dominica*.....
- Tableau 07:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la mortalité des adultes de *R. dominica* (C : Concentration).....
- Tableau 08 :** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet du facteur temps sur la mortalité des adultes de *R.dominica*.....
- Tableau 09 :** Résultats de l'analyse de la variance du nombre d'individus de *R.dominica* émergeant des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par le même ravageur et traitées avec les deux huiles essentielles.....
- Tableau 10:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur l'émergence des adultes de *R. dominica* (H : Huile).....
- Tableau 11:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des quatre concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur l'émergence des adultes de *R. dominica* (C : Concentration).....
- Tableau 12 :** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs (huile x concentration) sur l'émergence des adultes de *R. dominica*.....
- Tableau 13:** Analyse de la variance pour les tests de répulsivité avec les deux huiles essentielles.....

**Tableau 14:** Taux moyen de répulsivité (%) des deux huiles essentielles vis-à-vis des adultes de *R. dominica* (moyenne ± écart- type, n = 5 répétitions, n=20 individus) (les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil P= 5 %) (La comparaison a été faite entre les deux facteurs: huile x doses).....

**Tableau 15 :** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par répulsion, sur les adultes de *R.dominica* (H : Huile).....

**Tableau 16:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par répulsion sur les adultes de *R.dominica* (C : concentration).....

**Tableau 17:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs huile x concentrations sur les adultes de *R.dominica*.....

**Tableau 18:** Résultats de l'analyse de la variance des pertes en poids des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par le *R.dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.....

**Tableau 19:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la perte en poids des graines de blé tendre (H : Huile).....

**Tableau 20:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la perte en poids des graines de blé tendre (C : concentration).....

**Tableau 21:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs huile x concentration sur la perte en poids des graines du blé tendre. ....

**Tableau 22 :** Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet des deux huiles essentielles testées sur le taux de germination des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica* .....

**Tableau 23 :** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la germination des graines de blé tendre (H : Huile).....

**Tableau 24:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la germination des graines de blé tendre (C : concentration).....

**Tableau 25:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs huile x concentration sur la germination des graines du blé tendre.....

*Introduction*

*Générale*

Les céréales occupent une place primordiale dans le système agricole. Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Slama et al. 2005).

D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture FAO (2017), la production mondiale de céréales a atteint 2001.5 millions de tonnes en 2007. Selon la même source, la production a augmenté d'environ 300 millions de tonnes entre les campagnes agricoles 2008/2009 et 2016/2017, dépassant ainsi un volume de 2,5 milliards de tonnes en 2016/2017.

Le blé tendre reste la culture la plus répandue dans le monde, puisqu'il est cultivé sur 230 à 240 millions d'hectares (16 à 17% des terres arables), avec un rendement moyen de 3t/ha selon les statistiques de la FAO. Le blé tendre fait l'objet des échanges internationaux les plus importants, portant sur près de 20% de la production, il contribue très largement à la sécurité alimentaire mondiale. Les pays exportateurs sont généralement des pays industrialisés (Union européenne, États-Unis, Canada, Russie, Australie), et les importateurs souvent des pays en développement, ce déséquilibre des échanges n'étant pas près de disparaître d'après les projections de la FAO (Alexandratos et Bruinsma, 2012).

En Algérie, les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire. La production céréalière a atteint 34,8 millions de quintaux (qx) pour la campagne 2016-2017, contre 34,3 millions de qx lors de la saison 2015-2016 (Ministère du commerce, 2017). En effet, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire nationale; c'est pourquoi la connaissance des phénomènes régissant leur conservation et la maîtrise des techniques de leur stockage sont déterminantes pour la survie de millions de personnes (Feillet, 2000).

Durant le stockage, les denrées alimentaires sont affectées par des facteurs abiotiques et biotiques. Les facteurs abiotiques sont essentiellement la température, l'humidité relative, la teneur en eau et la durée d'entreposage des grains, ainsi que la composition de l'atmosphère en oxygène et en gaz carbonique. Les facteurs biotiques sont des agents biologiques d'altération des denrées stockées, tels que les microorganismes, les acariens, les oiseaux, les rongeurs et les insectes (Deguiche, 1997). D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.), les insectes peuvent causer des pertes importantes en réduisant la qualité et la quantité des produits stockés (Bekon et Fleurat Lessard, 1989).

Parmi les insectes les plus redoutables qui affectent les stocks, nous pouvons citer le petit capucin des grains *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera : Bostrychidae) qui est

un ravageur primaire originaire des régions tropicales largement étudié et il est distribué partout dans le monde. Les larves et les adultes de cet insecte peuvent causer des pertes importantes des grains en réduisant la qualité et/ou la quantité des produits stockés (Balachowsky, 1962).

Face à la menace que constituent les insectes ravageurs des stocks, les moyens de lutte sont essentiellement articulés autour de l'utilisation des pesticides de synthèse. Dans des conditions optimales, leur efficacité à contrôler les nuisibles des stocks est certaine. Toutefois, ils présentent beaucoup d'inconvénients, parmi lesquels l'accoutumance des insectes et la sélection de souches résistantes (Benhalima *et al.* 2004), les intoxications, la pollution de l'environnement et les désordres écologiques (Regnault-Roger *et al.*, 2002). Toutes ces raisons appellent à limiter leur utilisation et à favoriser la recherche de méthodes alternatives de lutte contre ces ravageurs.

L'utilisation des plantes dotées de propriétés insecticides, dans les pays en développement, représente une solution alternative à la lutte chimique pour la protection des récoltes. Les plantes les plus couramment utilisées sont celles qui sont riches en huiles essentielles (Ketoh, 1998). Ainsi, de nombreuses investigations s'intéressent à l'utilisation des plantes aromatiques sous différentes formes comme les poudres végétales, les extraits végétaux ou les huiles essentielles. Généralement riches en substances terpéniques, celles-ci peuvent agir efficacement sur différents stades de développement des insectes ravageurs (Feillet, 2000).

Que ce soit dans les pays développés ou en voie de développement, les huiles essentielles ont une place importante dans les systèmes de lutte, leur rôle dans la recherche phytopharmaceutique dans certains pays du monde n'est plus à démontrer (Lamendin, 2004).

Dans cette optique, nous nous proposons d'étudier l'effet insecticide des huiles essentielles de deux plantes, le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) et le bois de Hô (*Cinnamomum camphora*) par inhalation et par répulsion sur les adultes de *R. dominica*. La toxicité par inhalation de ces huiles sur *R. dominica* a été étudiée en évaluant deux paramètres biologiques de l'insecte : la mortalité des adultes et le taux d'émergence des individus de la première génération. Nous avons également étudié l'effet de ces traitements sur la faculté germinative et les pertes en poids des grains de blé tendre *Triticum aestivum*.

Ce travail est subdivisé en deux parties :

- la première partie, scindée en trois chapitres, comporte des données bibliographiques sur les huiles essentielles, les clous de girofle (*Syzygium aromaticum*), le bois de Hô (*Cinnamomum camphora*), le blé dur *Triticum durum*, le blé tendre *Triticum aestivum* et le petit capucin des grains *R. dominica*.
- La deuxième partie, expérimentale, présente le matériel et méthodes utilisés lors de cette étude et les résultats et discussion relatifs à l'évaluation de l'effet insecticide des huiles essentielles.

Enfin, nous terminons la présente étude par une conclusion générale et des perspectives de recherche.

*Partie*

*Bibliographique*

# *Chapitre I*

*Présentation*

*des huiles essentielles*

### Chapitre I. Présentation des huiles essentielles

#### 1. Définition

Une huile essentielle est une substance liquide, odorante, volatile, de consistance huileuse, offrant une forte concentration en principes actifs (Lardry et Haberkorn, 2007) ; elle représente l'essence de la plante, autrement dit son parfum (Bonnafous, 2013).

Selon la pharmacopée française, l'huile essentielle est un « produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par distillation à la vapeur d'eau, soit par un procédé mécanique sans chauffage » (ANSM, 2016).

#### 2. Répartition botanique et localisation des huiles essentielles

Selon les botanistes, il existe au monde 800 000 à 1500 000 espèces végétales dont 10% seulement sont dites aromatiques. Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, elles appartiennent presque exclusivement à l'embranchement des Spermaphytes. Les genres qui sont capables de les élaborer sont rassemblés dans un nombre restreint de familles telles que les : Lamiacées (Labiées), Rutacées, Myrtacées, Poacées, Lauracées, Astéracées, Pipéracées et Cupressacées (Bruneton, 1999).

La synthèse des huiles essentielles revient aux appareils sécréteurs contenus dans les organes végétaux (feuilles, fleurs, écorces, bois racine, fruit et graine). Ces appareils sont souvent situés sur ou à proximité de la surface du végétal et c'est l'espèce à laquelle appartient l'arbre ou la plante qui va le déterminer : poils sécréteurs externes dans le cas des Labiées et des Géraniacées, cellules sécrétrices dans le cas des Lauracées, Magnoliacées et des Pipéracées, poches sécrétrices dans le cas des Myrtacées, des Rosacées et Rutacées, et canaux sécréteurs pour les Ombellifères et les conifères (Bruneton, 1999).

Quelques plantes riches en huile essentielle sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1** : Organes de certaines plantes riches en huiles essentielles (Garneau, 2005).

Organes	Exemples
Feuilles	Romarin, sauge, menthe
Feuilles	Sapin, cèdre
Tiges	Citronnelle, lemongrass
Ecorces	Cannelier Angelica, vetiver
Rhizomes	Acorus, gingembre
Bulbes	Oignon, ail
Bois	Santal
Fruits	Bleuet, citron
Fleurs	Jasmin, rose
Graines	Aneth, carvi

### 3. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

- Les huiles essentielles sont liquides à température ambiante mais aussi volatiles du fait de leur masse moléculaire relativement faible, ce qui leur confère la propriété olfactive qui les différencie des huiles dites fixes (Bonnafous, 2013).
- Elles sont liposolubles et solubles dans les solvants organiques et les huiles végétales, entraînaibles à la vapeur d'eau mais très peu solubles dans l'eau (elles sont hydrophobes) (AFSSAPS, 2008).
- Elles présentent une densité généralement inférieure à celle de l'eau, et un indice de réfraction élevé (seules les huiles essentielles de Cannelle, Girofle et Sassafras sont plus denses que l'eau). Elles sont odorantes, et pour la plupart colorées (leur couleur varie selon la plante aromatique utilisée) (Lakhdar, 2015).
- Elles sont altérables et sensibles à l'oxydation ; par conséquent, leur conservation nécessite de l'obscurité et de l'humidité ; de ce fait l'utilisation de flacons en verre opaque est conseillée (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).
- Elles sont inflammables et ne contiennent aucun corps gras (Bonnafous, 2013).

### 4. Les plantes aromatiques en Algérie

Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) constituent une ressource naturelle renouvelable ; c'est-à-dire que l'apparition ou la disparition des plantes se fait périodiquement

et continuellement dans des saisons définies par la nature (la biologie de la plante, l'écologie) (Khalfi-habes et *al.*, 2014).

Selon Maatougui (1996), l'Algérie comprenait plus de 600 espèces de plantes aromatiques et médicinales. Malheureusement, ces ressources subissent des dégradations irréversibles, auxquelles on assiste aujourd'hui et durant ces dix dernières années que des dizaines de plantes médicinales et aromatiques ont disparu (Benziane et Ismail, 2001).

### 5. Activité insecticide des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont des propriétés insecticides essentiellement larvicides, inhibitrices de la croissance et des propriétés anti-appétentes. Ces potentiels ont été démontrés par de multiples études à travers le monde telles que les études de Kouassi et *al.* (2004), qui ont montré que les huiles de *Melaleuca quinquenervia* et *Ocimum gratissimum* présentent des effets insecticides contre *Callosobruchus maculatus* F.

Les propriétés insecticides de l'huile de *Juniperus phoenicea* sont testées contre un insecte des denrées stockées *Tribolium confusum* ; cette huile a manifesté un effet anti-appétant intéressant. Une étude préliminaire a montré que cette huile présente une toxicité élevée vis-à-vis de cet insecte (Bouzouita et *al.*, 2008).

Tapondjou et *al.* (2009), ont démontré l'efficacité insecticide par répulsion de l'huile essentielle de *Callistemon viminalis* contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera).

Les huiles essentielles ont des différents effets sur les insectes :

- effets anti-appétent, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et acariens. Des travaux récents montrent que les monoterpènes inhibent l'acétylcholinestérase (AChE) (Keane et Ryan, 1999).
- effets sur l'octopamine : l'octopamine est un neuromodulateur spécifique des invertébrés. Cette molécule, a un effet régulateur sur les battements de cœur, la motricité, le vol et le métabolisme des invertébrés. Enan (2001) et Isman (2000) font le lien entre l'application de l'eugénol, de l'alpha-terpinéol et de l'alcool cinnamique, et le blocage des sites accepteurs de l'octopamine. Enan (2005) a également démontré un effet sur la Tyramine, autre neurotransmetteur chez les insectes.

En général, les huiles essentielles sont connues comme des neurotoxiques à effets aigus interférant avec les transmetteurs octopaminergiques des Arthropodes (Bastien, 2008).

Des effets physiques de certaines huiles essentielles ont été mis en évidence agissant directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous (Isman, 2000).

### 6. Présentation des plantes étudiées

#### 6.1. Le giroflier (Clous de girofle) *Syzygium aromaticum* ou *Eugenia caryophyllus*

Le giroflier est un arbre pouvant atteindre 15 m de haut. Le clou de girofle tel qu'il est consommé en cuisine est en fait un bouton floral qui est récolté, puis séché avant son éclosion (Figure 1 et Figure 2). Le clou peut être distillé à la vapeur d'eau pour obtenir une essence correspondante (Auzia, 2007).

Les fleurs hermaphrodites apparaissent à l'extrémité des rameaux plusieurs mois avant leur épanouissement. Elles sont petites et groupées en petites cymes dont la longueur totale n'excède pas 4 à 5 cm (Figure 1).

Le giroflier semble originaire de plusieurs petites îles des Moluques, Est de l'Indonésie. Les deux pays gros producteurs sont Zanzibar et Madagascar (Pesson et Louveaux, 1984).



**Figure 1** : L'arbre, les fleurs et quelques boutons floraux du giroflier *S. aromaticum* qui, séchés donnent les clous de girofle (B : Bruneton, 1999 ; A et C Barbelet, 2015).



**Figure 2** : Clous de Girofle (Anonyme 2, 2021)

### 6.1. 1. Classification

Selon Barbelet (2015), *S. aromaticum* occupe la position systématique suivante :

Règne : Plantae

Classe: Angiosperma

Sous-classe: Tipora

Ordre: Myrtales

Famille: Myrtaceae

Genre: Syzygium

Espèce: *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry, (1939 ).

### 6.1. 2. Utilisations des produits du giroflier

Le giroflier se trouve sur le marché tout au long de l'année, pour son importance majeure et son usage quotidien dans la cuisine Algérienne ou en médecine traditionnelle.

*S. aromaticum* est un anesthésiant local, notamment pour les douleurs dentaires. Il soulage les douleurs musculaires, les rhumatismes et a des propriétés anti-inflammatoires, redonne de l'énergie et permet de lutter contre la fatigue. C'est également un antidépresseur et il est utilisé contre les douleurs, la sciatique, comme antibactérien et antifongique et anesthésiant local dans le soin des plaies et dans les odontalgies (Barbelet, 2015).

### 6.1. 3. Huile essentielle du clou de girofle

L'huile essentielle des clous de girofle contient principalement de l'eugénol, de 75 à 85 %, de l'acétate d'eugénol, de 4 à 10 %, du Beta-caryophyllène, de 7 à 10 % et de faibles quantités d'autres produits (dont un peu de vanilline). L'eugénol, extrait de l'huile essentielle des clous de girofle ou des feuilles de giroflier, est utilisé dans certains produits des domaines médicaux et dentaires en raison de ses propriétés antalgiques et antiseptiques (Treiner, 2000) (Figure 3).

Stimulant général, cette huile vivifiante est réputée en cas de grande fatigue physique ou intellectuelle. Le clou de girofle est traditionnellement utilisé en cas de caries et douleurs dentaires (Anonyme 1, 2021).



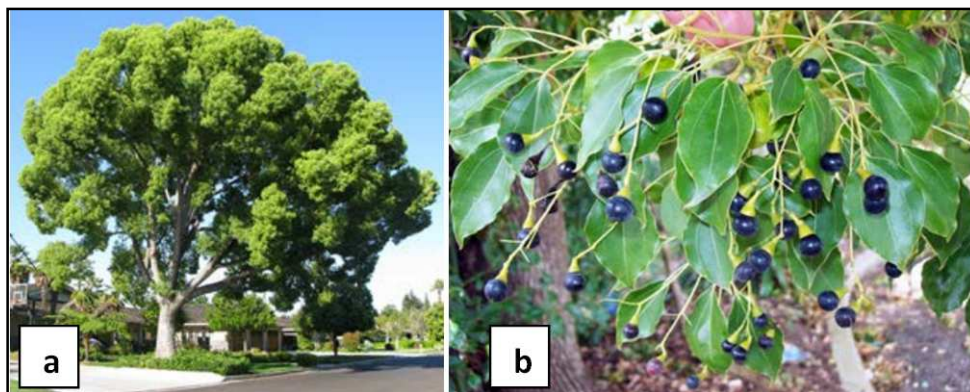
**Figure 3 :** L'huile essentielle des clous de girofle (Anonyme 1, 2021).

### 6. 2. Le bois de Hô *Cinnamomum camphora*

Le bois de Hô est originaire d'Asie, et plus particulièrement du Japon, de Taïwan, de la Chine et du nord Viet-Nam (U.S. National Plant Germplasm System, 2013). Le camphrier a été introduit sur l'île de Madagascar, l'Australie, les États-Unis, l'Afrique du Sud et l'Europe (Rivière et *al.*, 2005).

L'arbre peut atteindre 15 à 40 mètres de haut, sa longévité est de l'ordre du millier d'années (Botineau et Pelt, 2010), le tronc est ramifié à la base et la couronne est dense (figure 4) (Conway Duever, 2000).

Les feuilles sont simples, alternes, aromatiques de 3 à 10 cm de long. Elles sont de couleur vert foncé sur la face supérieure et vert bleu sur la face inférieure. Les fleurs sont petites, leur taille étant de l'ordre du centimètre. Elles présentent un caractère hermaphrodite et une coloration blanc jaunâtre. Le fruit est une drupe globuleuse, de 7 à 10 mm de diamètre et de couleur violet noir à maturité. La graine mesure 6 à 7 mm de diamètre (Ravindran et *al.* 2003) (Figure 4).



**Figure 4 :** L'arbre du bois de Hô *C. camphora* (a) (Ritter et Reimer, 2015) et ses fruits à maturité(b) (Woodard, 2010).

### 6. 2. 1. Utilisations du bois de Hô

Décoratif par son feuillage toujours vert, *C. camphora* est souvent planté dans les rues comme arbre d'alignement dans les pays chauds.

Le bois du camphrier, dont l'odeur particulière persiste pendant plusieurs années, bénéficie de vertus insectifuges qui éloignent les mites. Pour cette raison, il fut longtemps utilisé par les malletiers pour la fabrication de malles destinées à transporter les fourrures (Bonvicini et Vuitton, 2004).

### 6.2.2. Classification

Selon Cronquist (1981), *C. camphora* occupe la position systématique suivante :

Règne : Plantae

sous règne : Tracheobionta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Laurales

Famille : Lauraceae

Genre : *Cinnamomum*

Espèce : *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl, (1825).

### 6. 2. 3. L'huile essentielle du bois de Hô

L'huile essentielle de bois de Hô est issue d'un arbre, comme son nom l'indique, que l'on appelle également Bois de Shiu ou Laurier de Chine. Son nom latin est *Cinnamomum camphora*, comme le Ravinstara ou le camphrier. Le bois de Hô présente une composition très proche de celle du bois de Rose, et donc des propriétés similaires : cosmétiques et anti-infectieuses pour la peau. C'est d'ailleurs ce qui explique son succès ces dernières années. Le bois de Rose étant menacé d'extinction, on le remplace systématiquement par le bois de Hô (Cássia da Silveira e Sá et *al*, 2013).

Très proche du bois de Rose, cette huile riche en linalol offre les mêmes vertus toniques, revitalisantes et purifiantes. Positivante et relaxante, elle est également intéressante en cas de stress ou baisse de forme (Anonyme 1, 2021) (Figure 5).



**Figure 5 :** L'huile essentielle du bois de Hô (Anonyme 1, 2021).

# *Chapitre II*

*Présentation de la plante hôte*

*(Triticum durum, Triticum aestivum)*

### Chapitre II. Présentation de la plante hôte (le blé)

#### Introduction

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenant à la famille des Poacées dont les graines présentent par leur abondance et leur composition un intérêt majeur pour l'alimentation de l'Homme et des animaux. Les graines alimentaires appartiennent à une dizaine d'espèces végétales. Les plus employées sont : le blé, le maïs et l'orge (Reed, 1992). Le blé est à l'origine même de l'agriculture. Il reste, après des millénaires, la première plante cultivée au monde (Duron, 1999). Il existe deux espèces de blé : le blé tendre (*Triticum vulgare*) et le blé dur (*Triticum durum*). L'espèce la plus cultivée est le *Triticum vulgare* qui est celle de tous les blés dits tendres (Cheftel et Cheftel, 1977).

Le choix de conditions convenables d'entreposage des graines de céréales pendant des périodes prolongées revêt une grande importance économique ; cela est particulièrement vrai dans les régions sous-développées, où il n'est pas rare de perdre près de 30% de la récolte du fait des rongeurs, des insectes et d'autres facteurs de détérioration (Druvefors, 2004).

#### 1. Le blé dur *Triticum durum*

Le blé dur est un caryopse, la plante est herbacée appartenant au groupe des céréales à paille (Benkhellat, 2002).

D'après la classification de Bonjean et Picard (1990), le blé est une monocotylédone classée de la manière suivante :

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe: Monocotylédones

Super ordre : Commeliniflorales

Ordre : Poales

Famille : Graminacées

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf.

#### 2. Le blé tendre *Triticum aestivum*

Le blé tendre est une céréale autogame appartenant à la classe des Monocotylédones et au genre *Triticum*. D'après la classification citée par Bonjean et Picard (1990), les céréales à paille appartiennent toutes au super ordre des Comméliniflorales, ordre des Graminales. Ce dernier comporte sept (7) familles dont celle des graminacées qui est l'une des principales du

règne végétal, non seulement par son importance numérique (500 genres, 800 espèces), mais en raison de la première place qu'elle occupe dans la biosphère et dans l'agriculture (Ozenda, 2000) (figure 6).

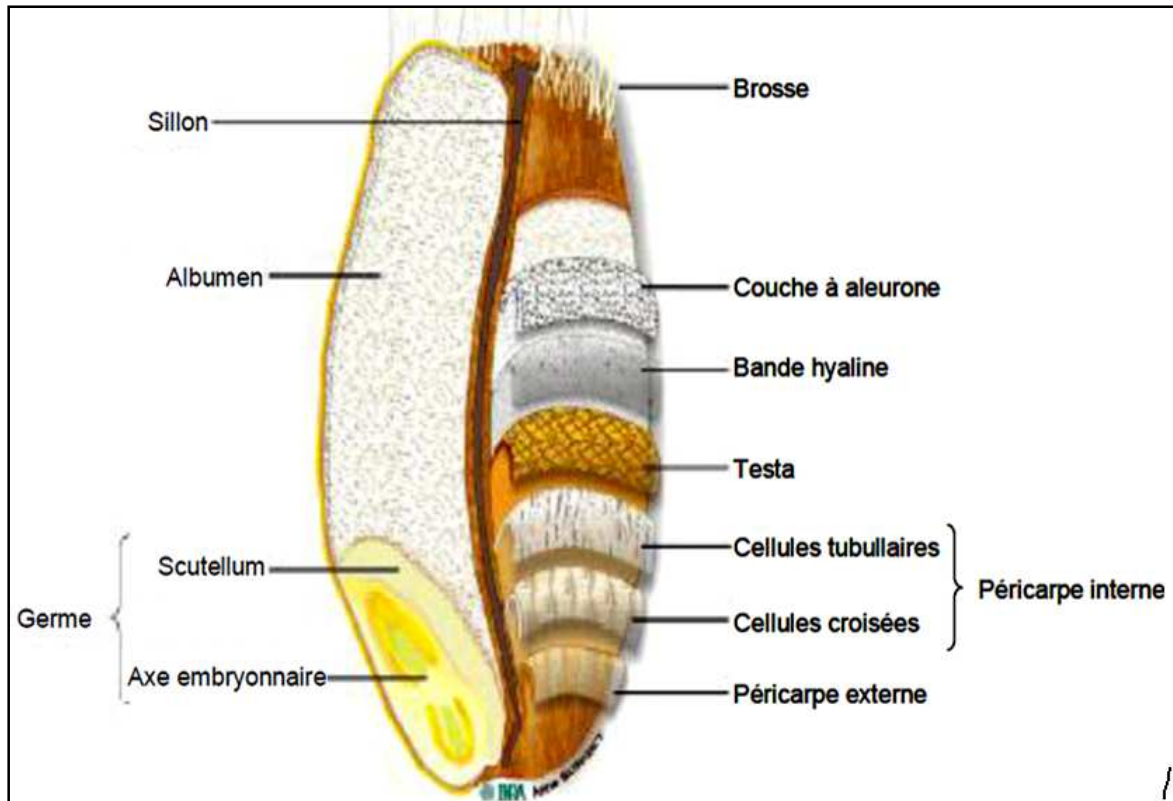
Les principales espèces de céréales cultivées appartiennent à la famille des Poacées (blé tendre, blé dur, maïs, riz, avoine, seigle, millet, sorgho) ou des polygonacées (sarrasin) (Molinie et *al.*, 2005). D'après Doumandji et *al.* (2003), le blé tendre appartient à la classification illustrée dans le tableau 02.

**Tableau 02.** Classification du blé tendre (Doumandji et *al.* 2003).

Classification	Blé tendre
Règne	Plantae (Règne végétale)
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Liliopsida (Monocotylédons)
S/Classe	Commelinidae
Ordre	Poale
Famille	Poaceae (ex Graminées)
S/Famille	Triticeae
Tribu	Triticeae (Triticées)
S/Tribu	Triticinae
Genre	Triticum
Espèce	<i>Triticum aestivum</i> L. ou <i>Triticium vulgare</i>

### 3. Structure du grain de blé

Le grain de blé est un fruit sec indéhiscant appelé caryopse, constitué de trois parties : l'embryon (contient l'essentiel des matières grasses), l'albumen (riche en protéines et en lipides) et les couches périphériques (riche en cellulose, sels minéraux, acide phytique (calcium + fer) et des vitamines (B1, B2 et B6)) qui représentent environ 3%, 83% et 14% de la masse sèche du grain, respectivement (Pomeranz, 1988; Cheftel et Cheftel, 1992 ; Barron et *al.*, 2007) (Figure 6).



**Figure 6 :** Structure histologique du grain de blé tendre à maturité (Surget et Barron, 2005).

#### 4. Utilisation du blé

Du blé tendre, est tirée la farine destinée à la panification. Les variétés de blé dur sont plutôt réservées aux semoules et aux pâtes alimentaires. Le blé sert aussi à préparer des aliments pour petit déjeuner (réunis sous le vocable de céréales) et dans une moindre mesure, à la production de bière et d'alcool. Les qualités inférieures de blé, les sous-produits de meunerie et de brasserie sont transformés en substitut du café, surtout en Europe. L'amidon du blé sert également d'apprêt dans l'industrie textile (Feillet, 2000).

Les grains de céréales, qui sont riches en amidon, autour de 75% du poids sec contenu dans l'albumen amylicé, sont avant tout une source énergétique. Ils constituent aussi une source de protéines (9-15% de la masse sèche du grain) composées à 80% de protéines de réserve (gliadines et gluténines) présentes dans l'albumen amylicé et donc dans les farines et semoules. Les protéines de type albumines et globulines se concentrent dans les parties périphériques et le germe. Les grains sont également riches en micronutriments (minéraux, vitamines du groupe B), présents majoritairement dans les fractions sons et remoulages, plutôt utilisés en alimentation animale (Charmet et *al*, 2017).

# *Chapitre III*

*Présentation de l'insecte étudié*

*(Rhyzopertha dominica)*

## Chapitre III. Généralités sur *Rhyzopertha dominica*

### 1. Origine et répartition géographique

Le petit capucin des grains *R. dominica* est vraisemblablement originaire d'Asie du Sud-Est, il est actuellement répandu dans l'ensemble des zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes. Il est devenu, en raison de sa tolérance à de nombreux insecticides, et en particulier au phosphore d'hydrogène, le principal ravageur des stocks de blé et de riz dans différentes régions d'Asie (Delobel et Tran, 1993). En Algérie le petit capucin a été observé dans les wilayas d'Ain Defla, Mostaganem, Tizi Ouzou et Bouira (Aoues et al. 2017).

### 2. Position systématique

Selon Lapesme (1944), *R. dominica* occupe la position systématique suivante :

- Règne : Animal.
- Embranchement : Arthropodes.
- Sous-Embranchement : Hexapodes.
- Classe : Insectes.
- Ordre : Coléoptères.
- Famille : Bostrychidés.
- Genre : *Rhyzopertha*
- Espèce : *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792).

### 3. Description

- **L'œuf** : les œufs sont piriformes, de couleur blanche et rose. Ils peuvent atteindre 0,6 mm de longueur sur 0,2 mm de largeur.
- **La larve** : la larve à l'éclosion, présente une épine pygidiale caractéristique, de couleur jaune, insérée au bord dorsal d'une cavité formant ventouse. A maturité, la larve mesure un peu moins de 3 mm de long, est de couleur blanche à tête brunâtre, avec les mandibules plus sombres, armées de 3 dents distinctes (Delobel et Tran, 1993). (Figure 7).
- **La nymphe** : la nymphe est blanche, recouverte de poils sur la face dorsale (Figure 7). (Balachowsky et Mesnil, 1936 ; Delobel et Tran, 1993).
- **L'adulte** : *R. dominica* mesure 2,5 à 3 mm de long. Il présente un corps étroit, cylindrique et de couleur brun rougeâtre. Les antennes présentent dix (10) articles, les trois derniers étant très grands subtriangulaires et velus, leur longueur globale étant

supérieure à celle des autres articles. Le pronotum est très bombé plus fortement granulé en avant. Les élytres sont 2,5 fois plus longs que larges, arrondis à l'arrière et présentant des stries de grosses ponctuations (Delobel et Tran, 1993) (Figure 7).



**Figure 7 :** Œuf, larve, nymphe, adulte de *R.dominica* (Grains canada, 2017).

#### **4. Biologie et cycle de l'insecte**

D'après Delobel et Tran (1993), les femelles pondent 300 à 400 œufs à l'intérieur ou à la surface des grains ou même parmi les débris. Tous les stades sont susceptibles d'hiverner. Ainsi, 4 à 5 générations par an peuvent se chevaucher les unes sur les autres. La longévité s'étale entre 120 à 140 jours, pouvant dépasser 10 mois à basse température. Cependant, le développement est possible entre 18 à 39°C pour des teneurs en eau des grains infestés de 9 à plus de 44%. Par ailleurs, l'optimum de développement est entre 32 à 34°C pour une teneur en eau des grains de 14%. La durée du cycle de l'œuf à l'adulte à 34°C est de 29 jours sur le blé (figure 8).

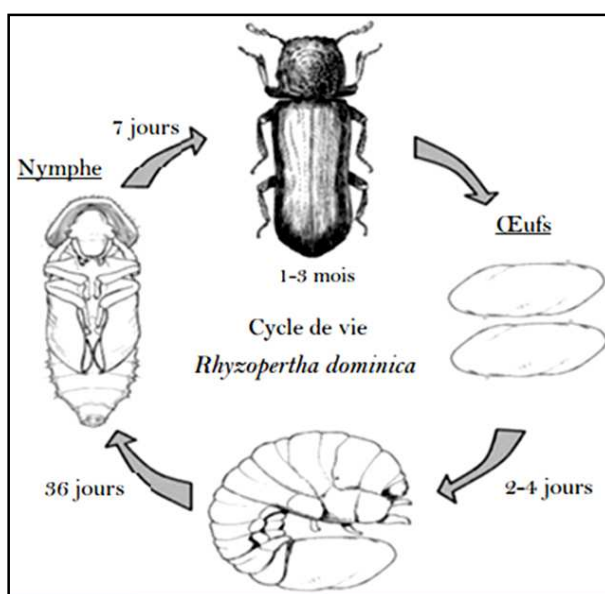
Selon Balachowsky et Mesnil (1936), l'incubation dure de 5 à 8 jours avec une température aux alentours de 28°C. Au bout d'une quinzaine de jours, la larve termine sa croissance et se transforme en nymphe, 5 à 6 jours après, les adultes émergent et une seconde génération commence.

L'insecte est capable de se maintenir durant de longues périodes à des niveaux de population très faibles. *R. dominica* est particulièrement sensible aux chocs et aux mouvements de la masse du grain et ne se développe bien que si le milieu n'est pas perturbé (Delobel et Tran, 1993).

D'après Kaschef (1959) in Kellouche (1987), il existe 4 à 5 stades larvaires selon les conditions de température. Le cycle de vie est également lié à l'humidité relative de l'air et au

pourcentage d'humidité des grains; cela varie de 29 à 81 jours. Ainsi, en fonction de la température et de l'humidité, le nombre de générations peut varier considérablement. De manière générale, dans les régions plus chaudes, *R. dominica* pourrait produire jusqu'à six générations par an.

Les adultes sont de grands voyageurs, capables de se déplacer dans des paysages agricoles et non agricoles, et peuvent être piégés dans des pièges à phéromone placés à plusieurs kilomètres de toute installation de stockage ou de transformation de produits alimentaires. De nombreuses recherches ont été menées sur l'activité de vol à l'extérieur de *R. dominica*, montrant que l'insecte peut se disperser à au moins 1 000 m du site du stockage (Hagstrum, 2001).



**Figure 8:** Le cycle de vie du petit capucin des grains de blé, *Rhyzopertha dominica* (Chenni, 2016).

## 5. Les dégâts

Les dégâts sont causés aussi bien par les larves que par les adultes, ils s'attaquent à de nombreux produits entreposés, notamment aux céréales, aux graines et aux fruits séchés, particulièrement au blé, au riz et au maïs... (Scotti, 1978 ; Multon, 1982). Les adultes et les larves se nourrissent du germe et de l'endosperme jusqu'à ce qu'il ne reste plus de grain de blé. Ils attaquent directement les grains à l'aide de leurs mandibules et arrivent à les vider complètement de leur contenu. Les résultats de ces attaques sont aussi des dommages en quantité de farine, des trous de forme irrégulière dans les grains ainsi qu'une odeur fétide causée par ses excréments (Figure 9).



**Figure 9 :** Dégâts des adultes de *R. dominica* sur les grains de blé dur et tendre (Originale, 2021).

## 6. Les moyens de lutte

La lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées comprend deux méthodes :

- l'une est préventive, se pratique avant l'installation des ravageurs ;
- et l'autre est curative, s'utilise quand les lots sont déjà infestés.

### 6.1. Lutte préventive

#### a) Nettoyage des locaux

Les bonnes pratiques de conservation des denrées stockées reposent sur la prophylaxie, c'est-à-dire le nettoyage et l'assainissement des locaux et des cellules ou des récipients d'entreposage avant leur remplissage, l'aménagement des structures de stockage pour empêcher l'accès des prédateurs et le raisonnement des interventions chimiques quand elles sont indispensables (Cruz et *al.*, 2016).

#### b) Nettoyage des grains

Le séchage et la désinsectisation des grains avant le stockage sont indispensables pour une bonne conservation. Il s'agit de pré-nettoyer les grains lors de la mise en stockage. Le principe d'aspiration d'air au travers du flux de grains est utilisé pour éliminer les poussières et les impuretés légères (Multon, 1982 et Gacem, 2011).

### 6.2. Lutte curative

#### a) La lutte chimique

Lorsque les méthodes préventives ont échoué et ne permettent plus de maîtriser l'infestation, l'utilisation de méthodes de lutte directe s'avère nécessaire.

La lutte chimique par des insecticides est l'une des méthodes les plus efficaces contre les insectes des denrées stockées (Taponjou et *al.*, 2002) où ces ravageurs sont exposés à un environnement gazeux et toxique (Upadhyay et Ahmad, 2011). Cette méthode de lutte comprend les fumigants et les insecticides de contact.

#### **-Traitement par contact**

Les organochlorés, les carbamates, les organophosphorés et les pyretrinoïdes de synthèse sont les insecticides les plus fréquemment utilisés (Guèye, 2012).

#### **-Traitement par fumigation**

La fumigation consiste à traiter les grains à l'aide d'un gaz toxique, qu'on appelle fumigant. L'intérêt majeur de la fumigation est de faciliter la pénétration des gaz à l'intérieur du grain et donc de détruire les œufs, larves et nymphes qui s'y développent (Wang et *al.*, 2006 ; Shi, 2012).

Malheureusement, les applications de ces insecticides chimiques provoquent de sérieux inconvénients notamment sur l'environnement (Fianko et *al.*, 2011), le développement de résistance aux insecticides par certains ravageurs (Schuster et Smeda, 2007), ainsi que des problèmes de santé car leurs résidus se rencontrent dans la chaîne alimentaire et causent des intoxications (Pretty et Hine, 2005). De nos jours, la recherche de nouvelles méthodes alternatives à la lutte chimique est devenue une nécessité, d'autant plus que la recommandation de l'OMS (1995) est en faveur de l'élimination des fumigants classiques en 2005 dans les pays développés et en 2015 dans les pays en voie de développement (Ketoh et *al.*, 2004).

### **b) Les alternatives de la lutte chimique**

- **Lutte physique**

La température optimale pour le développement des insectes des denrées stockées se situe entre 25 et 33 °C, les basses températures, en dessous de 10 °C, retardent le développement de ces insectes et donc réduisent leurs effectifs à un niveau où ils ne peuvent pas causer des dégâts considérables (Abdelaziz, 2011), ce qui bloque leur développement, réduit leur alimentation, leur fécondité et leur survie (Longstaff et Evans, 1983).

Une température des grains de 60 à 65°C, pendant 15 minutes, suivi d'un refroidissement rapide est nécessaire pour tuer tous les insectes de céréales stockées sans affecter les qualités technologiques du produit (Abdelaziz, 2011).

La rapidité d'action d'un traitement par la chaleur dépend de la durée d'exposition et du niveau de la température appliquée (plus la température est élevée, plus la mortalité survient

vite), mais aussi de l'espèce considérée et de la forme des insectes, les formes adultes étant plus sensibles à la chaleur que les formes larvaires (Boina et Subramayan, 2004; Arthur, 2006 ; Fleurat-Lessard et Dupuis, 2010).

- **Lutte mécanique**

Il s'agit du transilage, du secouage, du passage au tarare, ce qui permet d'éliminer une partie des insectes contenus dans les stocks et surtout les adultes libres mais ils laissent subsister une partie des larves et des œufs ; ces opérations ne peuvent pas donc être envisagées pour un stockage de longue durée, à moins d'être fréquemment renouvelées, ce qui les rend coûteuses (Cruz et Troude, 1988).

- **La lutte biologique**

Ce mode de lutte s'articule dans la majeure partie des cas sur l'utilisation des prédateurs, parasitoïdes et parasites. *Xylocoris flavipes* est une punaise prédatrice de différents insectes nuisibles des denrées stockées à savoir *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae), *R. dominica* et *Trogoderma granarium* (Coleoptera, Dermestidae) (Rahman et al., 2009).

Les ennemis naturels des insectes des denrées stockées comprennent aussi des guêpes parasitoïdes appartenant aux familles des Braconidae, Ichneumonidae, Pteromalidae, Bethyidae et punaise (Abdelaziz, 2011). Huit semaines après la réalisation des lâchers de l'hyménoptère parasitoïde *Theocolax elegans*, une mortalité de la population entière de *Sitophilus zeamais* a été observée dans le maïs stocké (Flinn et al., 2005).

Deux espèces d'ectoparasites solitaires peuvent également attaquer les larves et les nymphes *S. oryzae* et *R. dominica*, il s'agit de *Lariophagus distinguendus* et *Chaetospila elegans* (Hymenoptera : Pteromalidae). Plusieurs champignons et bactéries entomopathogènes sont utilisés aussi contre les insectes des denrées stockées (Diaz-Gomez et al. 2000).

- **Ennemis naturels**

Les ennemis de *R. dominica* sont principalement des hyménoptères parasitoïdes (Pteromalidae). Les plus importants sont *Lariophagus distinguendus* Forster et *Chaetospila elegans* Westwood qui attaquent les larves et plus rarement les nymphes de *R. dominica*, ainsi que des Acariens, tels que *Pyemotes ventricosus* Newport (ectoparasite des larves) et *Cheyletus eruditus* Schrank qui se comporte comme un prédateur (Lepesme, 1944).

- **Les phytopesticides**

A l'heure actuelle, les recherches s'orientent vers l'utilisation des plantes aromatiques contenant des huiles essentielles, ayant montré leur potentiel insecticide sur les coléoptères des denrées stockées (Glitho et *al.*, 2008). En effet, l'usage des plantes aromatiques dans la conservation des grains entreposés a été pratiqué avant même l'apparition des insecticides de synthèse. Plusieurs travaux ont montré que les huiles essentielles des plantes font partie des voies les plus explorées dans la régulation des ravageurs des denrées stockées (Gueye et *al.*, 2011). On peut dire que cette méthode alternative présente un réel avantage du fait de sa faible persistance (Enan, 2001), sa faible toxicité pour l'homme et de son mode d'action sur les ravageurs (Ngamo et Hance, 2007).

*Partie*

*Expérimentale*

# *Chapitre IV*

*Matériels*

*Et*

*Méthodes*

### Chapitre IV. Matériels et méthodes

#### 1. Matériel

##### 1.1. Matériel du laboratoire

Pour la réalisation de nos expériences, nous avons utilisé le matériel suivant (Figure10) :

- une étuve dans laquelle sont réalisés les différents essais, elle est réglée aux conditions optimales de développement de *R. dominica*, à savoir une température de  $30\pm 1^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $70\pm 5\%$ .
- des petits flacons en plexiglas de 64 ml pour réaliser les tests de toxicité par inhalation des huiles essentielles.
- des bocaux en verre pour les élevages de masse.
- des boîtes de Pétri en plastique de 10 cm de diamètre et de 1,8 cm de hauteur pour les tests de répulsivité.
- une micropipette pour prélever les différentes doses d'huile essentielle (0,5-20 $\mu\text{l}$  de volume)
- du papier filtre.
- des étiquettes.
- l'acétone comme solvant.
- un tamis pour la récupération des capucins prélevés dans les élevages de masse.
- une balance à affichage électronique pour peser les grains.
- d'autres outils de manipulation (pinceau, les ciseaux, rouleau adhésif, coton).



**Figure 10:** Matériels du laboratoire : (A) balance, (B) étuve réfrigérée, (C) Loupe binoculaire, (D) tamis, (E) Micropipette et (F) autres accessoires (Originale, 2021).

## 1.2. Matériel biologique

### 1.2.1. Matériel animal (le petit capucin *R. dominica*)

Les adultes de *R. dominica* utilisés sont issus de plusieurs souches isolées à partir des grains de blé infestés provenant du marché local de la région de Tizi – Ouzou (Figure 11).

Tout au long de nos expériences, nous avons utilisé des adultes âgés de 0 à 7 jours. Ils proviennent des élevages de masse réalisés sur les grains du blé tendre et du blé dur au niveau du laboratoire d'Entomologie Appliquée de la faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

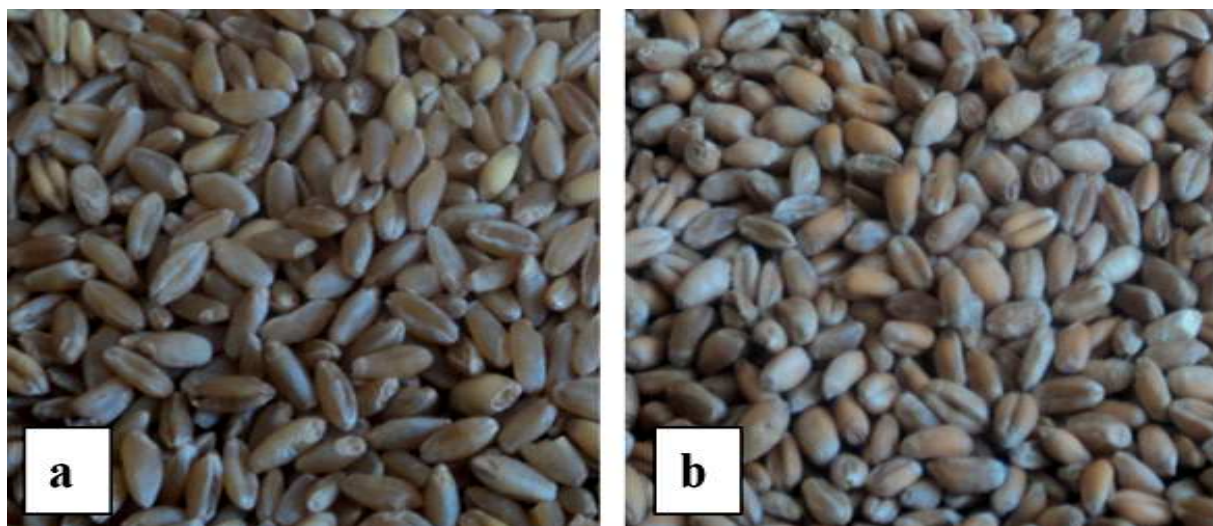


**Figure 11:** Petit capucin des grains *R. dominica* adulte (A) face ventrale (B) face dorsale (Originale, 2021).

## 1.2.2. Matériel végétal

### 1.2.2.1. Le substrat

Des grains sains du blé dur *T. durum* et de blé tendre *T. aestivum* ont été utilisés comme substrat pour l'élevage de masse de *R. dominica*. Le blé tendre a été utilisé dans les tests d'inhalation. Ces grains proviennent du marché local de la ville de Tizi - Ouzou, située à 100 km au Sud-Est d'Alger. Ces grains ont été soumis à une température de 60°C pendant 30 minutes pour éliminer tout insecte éventuellement caché et conservé à l'intérieur des boîtes en plastique, fermées hermétiquement, afin d'éviter toute contamination par les insectes ravageurs (Figure 12).



**Figure 12 :** a) Blé dur *T. durum* et b) blé tendre *T. aestivum* (Originale, 2021).

### 1.2.2.2. Les huiles essentielles

Deux huiles essentielles ont été testées durant notre étude, elles ont été extraites des clous de girofle, *S. aromaticum*, et du bois de Hô, *C. camphora*.

Les deux huiles essentielles ont été extraites dans le laboratoire Aroma Zone : laboratoire d'analyse des extraits végétaux et des arômes (Paris, France).

#### a) Caractéristiques de l'huile essentielle des clous de girofle

Selon le laboratoire français Aroma Zone (Anonyme, 2021), les caractéristiques de l'huile essentielle du giroflier (Figure 13) sont les suivantes :

- Procédé d'obtention : Distillation par entraînement à la vapeur d'eau ;
- Partie de la plante extraite : Clous ;
- Nom botanique : *Syzygium aromaticum*; ou
- Autre nom : *Eugenia caryophyllus* Sprengel
- Famille botanique : Myrtacées
- Huile Essentielle Botaniquement et Biochimiquement Définie (HEBBD)
  - 100% pure (exempte d'autres huiles essentielles proches)
  - 100 % naturelle (non dénaturée avec des molécules de synthèse)
  - 100% intégrale (non décolorée, non déterpénée, non rectifiée...)
- Pays d'origine : Madagascar
- Culture : Biologique, certifié par Ecocert FR-BIO-01
- Propriétés organoleptiques
  - Aspect : liquide mobile
  - Couleur : jaune à jaune pâle
  - Odeur : aromatique, épicée, puissante, avec une odeur aldéhydée
- Densité : 1.04 - 1.06
- Point éclair : 97°C
- Composition: Principaux constituants biochimiques - Chromatographie en phase gazeuse :
  - Phénol : eugénol (79.54%)
  - Sesquiterpènes : bêta-caryophyllène (5.41%)
  - Esters : acétate d'eugényle (12.97%).



**Figure 13:** Huile essentielle des clous de girofle (Originale, 2021).

### b) Caractéristiques de l'huile essentielle du bois de Hô

Selon le laboratoire français Aroma Zone (Anonyme, 2021), les caractéristiques de l'huile essentielle du bois de Hô *C. Camphora* (Figure 14) sont les suivantes :

- Procédé d'obtention : Distillation complète par entraînement à la vapeur d'eau puis rectification par distillations successives
- Partie de la plante extraite : Feuilles et branches
- Nom botanique : *Cinnamomum camphora* CT linalol
- Famille botanique : Lauracées
- Huile essentielle botaniquement et biochimiquement définie (HEBBD)
  - 100% intégrale (non décolorée, non déterpénée, non rectifiée...)
  - 100% pure (exempte d'autres huiles essentielles proches)
  - 100 % naturelle (non dénaturée avec des molécules de synthèse)
- Pays d'origine : Chine
- Culture : Biologique, certifié par Ecocert FR-BIO-01
- Autre nom : Bois de Shiu, Laurier du Japon
- Propriétés organoleptiques
  - Aspect : liquide mobile limpide
  - Couleur : incolore à légèrement jaune
  - Odeur : rafraîchissante, douce, semblable au bois de rose
- Densité : 0.850 - 0.875
- Point éclair : 75°C

- Composition : Principaux constituants biochimiques - Chromatographie en phase gazeuse :
  - Monoterpénols : linalol (99.11%)
  - Oxydes monoterpéniques (faibles pourcentages) : (Z)-oxyde de linalol (0.11%), (E)- Oxyde de linalol (0.37%).



**Figure 14** : Huile essentielle du bois de Hô (Originale, 2021).

## 2. Méthodes

### 2.1. Elevage de masse

Il consiste à mettre en contact les adultes de *R. dominica* avec les graines de blé saines dans des bocaux en verre. Ces derniers sont maintenus dans une étuve réglée à une température de  $30\pm 1^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative de  $70\pm 5\%$ . Cet élevage permet de fournir un nombre suffisant d'adultes de *R. dominica* destinés aux différents essais biologiques (Figure 15).



**Figure 15** : Elevages de masse de *R. dominica* (Originale, 2021).

## 2.2. Test de répulsivité

Ce test consiste à étudier l'effet répulsif des deux huiles essentielles sur les adultes de *R. dominica*, en utilisant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre.

Elle consiste à découper en deux parties égales des disques de papier filtre (9 cm de diamètre), l'une (Tr) est traitée avec l'une des deux huiles essentielles à différentes doses (5, 10, 15 et 20 µl) diluées dans 0,5 ml d'acétone, l'autre est traitée uniquement avec le même volume d'acétone (NT). Les deux demi-disques de papier filtre sont séchés à l'air libre puis réunis à l'aide d'un ruban adhésif et déposés sur le fond d'une boîte de Pétri en plastique (10 cm de diamètre et de 1,8 cm de hauteur). 20 adultes de *R. dominica* sont ensuite déposés au centre des boîtes ainsi préparées. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque dose (Figure 16).

Après une demi-heure de traitement, le dénombrement des individus présents sur chacune des deux parties est réalisé. Le pourcentage de répulsion (PR), induit par les huiles essentielles sur les adultes de *R. dominica*, est calculé selon la formule de Mc Donald et al. (1970) :

$$PR\% = \left[ \frac{NT - Tr}{NT + Tr} \right] \times 100$$

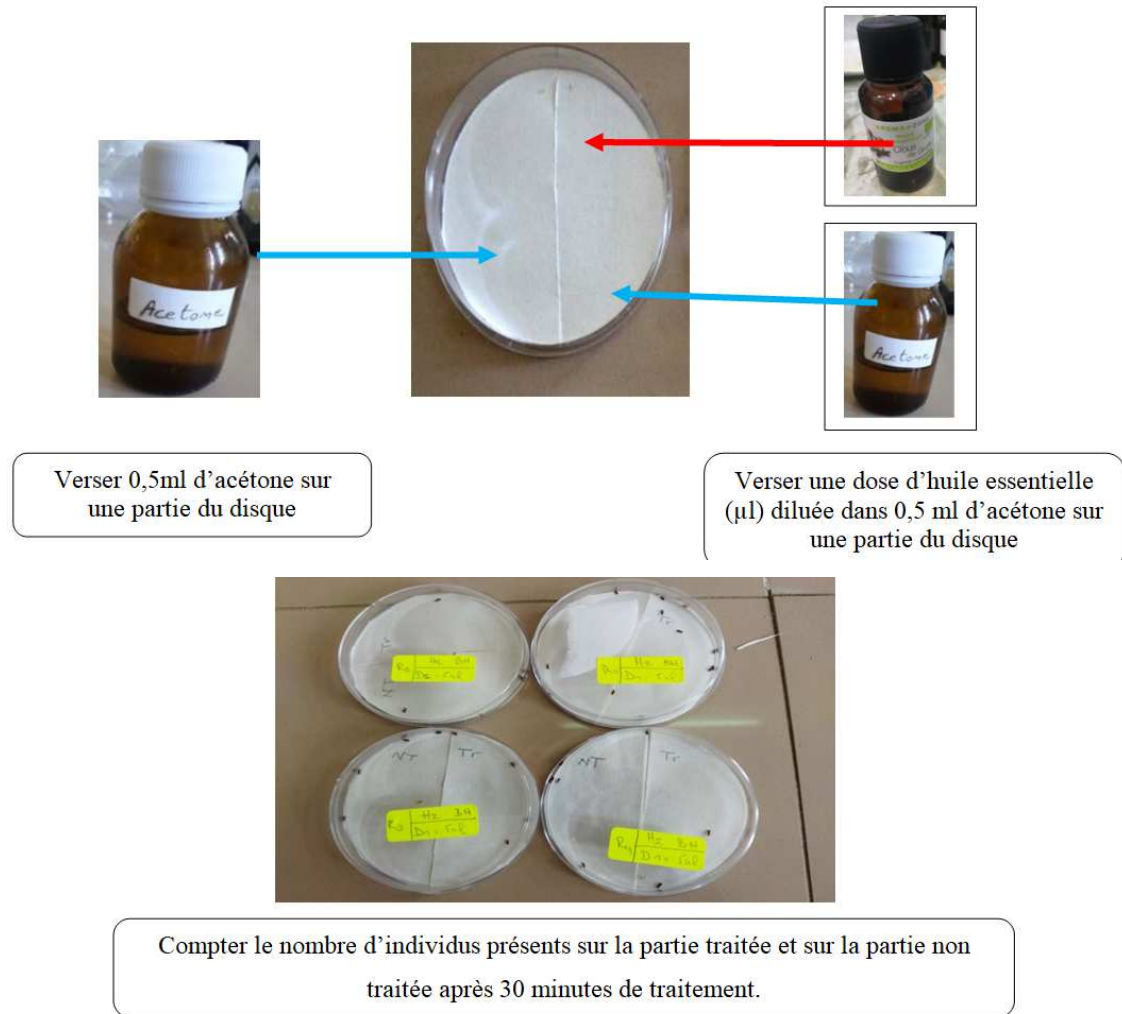
Où : NT = nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'acétone uniquement.

Tr = nombre d'individus présents dans la partie traitée avec l'huile essentielle diluée dans l'acétone.

Le pourcentage de répulsion moyen pour chaque huile est calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives variant de 0 à V (Mc Donald et al., 1970) (tableau 3).

**Tableau 3** : Pourcentage des répulsions selon le classement de Mr Donald et al (1970).

Classes	Intervalle de répulsion	Propriétés
<b>Classe 0</b>	$PR \leq 0,1\%$	Très faiblement répulsif
<b>Classe I</b>	$0,1\% < PR \leq 20\%$	Faiblement répulsif
<b>Classe II</b>	$20\% < PR \leq 40\%$	Modérément répulsif
<b>Classe III</b>	$40\% < PR \leq 60\%$	Moyennement répulsif
<b>Classe IV</b>	$60\% < PR \leq 80\%$	Répulsif
<b>Classe V</b>	$80\% < PR \leq 100\%$	Très répulsif



**Figure 16:** Dispositif expérimental du test de répulsivité des deux huiles essentielles à différentes doses à l'égard de *R. dominica* (Originale, 2021).

### 2.3. Test d'inhalation

Les tests de toxicité par inhalation ont été réalisés dans des petits flacons en plexiglas de 64 ml de volume et à des temps d'exposition de 24, 48, 72 et 96h. Des morceaux de papier filtre (Wattman N°1) ont été suspendus à l'aide d'un fil à la face inférieure des bouchons à vis des flacons et ont été imprégnés avec les doses appropriées d'huile essentielle pure.

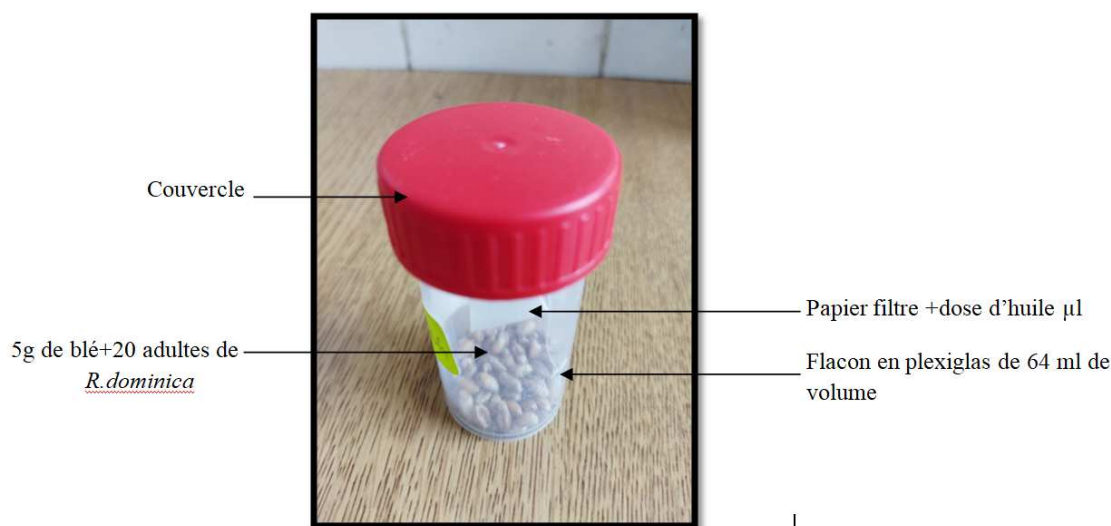
Les concentrations testées sont 5, 10, 15 et 20  $\mu$ l/64 ml d'air correspondant aux doses 78,12 ; 156,25 ; 234,37 ; 312,5  $\mu$ l/L d'air. Parallèlement, un témoin est réalisé (papier filtre sans huile essentielle). Cinq (5 g) de blé tendre et 20 adultes de *R. dominica* sont introduits dans chaque flacon qui sera ensuite fermé hermétiquement. Cinq répétitions ont été réalisées pour chaque dose et pour le témoin (Figure 17).

Après fumigation, les insectes sont retirés des flacons et mis dans des petites boîtes de pétri et un dénombrement des individus morts est ensuite effectué 24 h après le traitement.

Les mortalités observées ont été ensuite corrigées en tenant compte des mortalités naturelles observées dans les témoins en utilisant la formule de correction d'Abbott (Abbott, 1925):

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

Où : MC= pourcentage de mortalité corrigée ; M = pourcentage de morts dans la population traitée et Mt = pourcentage de morts dans la population témoin.



**Figure 17** : Dispositif expérimental du test d'inhalation effectué sur les adultes de *R. dominica* traités par différentes doses des deux huiles essentielles (Originale, 2021).

### 2.3.1. Paramètres biologiques étudiés

#### a- Paramètres biologiques étudiés chez *R. dominica*

La toxicité des huiles essentielles, dans les tests d'inhalation, est évaluée sur deux paramètres biologiques de *R. dominica*, à savoir la mortalité des adultes et le taux d'émergence des individus de la première génération.

##### ▪ la mortalité des adultes de *R. dominica*

Les individus morts sont dénombrés dans chaque boîte de Pétri après des temps d'exposition variable : 24, 48, 72 et 96 heures.

##### ▪ le taux d'émergence des adultes

Le dénombrement des descendants de la première génération a été effectué du 28<sup>ème</sup> au 45<sup>ème</sup> jour du début du traitement. Ainsi les individus adultes sont retirés des boîtes au fur et à mesure qu'ils émergent des graines traitées.

#### b-Paramètres agronomiques

L'effet des différents traitements sur les graines de blé dur *T. durum* est évalué à l'aide de deux paramètres agronomiques : le poids et la faculté germinative des graines.

### ▪ Les pertes en poids

La perte en poids des graines ayant subi les différents traitements est évaluée en procédant à la pesée des lots de graines. Ce poids est ensuite comparé au poids initial avant traitement des graines de blé (5 g).

Les pertes en poids sont exprimées en pourcentage calculé comme suit :

$$\text{La perte en poids \%} = [(\text{poids initial}) - (\text{poids final}) / \text{le poids initial}] \times 100.$$

### ▪ La faculté germinative des graines

Le test de germination est nécessaire pour évaluer l'impact des infestations par *R. dominica* et l'effet protecteur ou résiduel éventuel des huiles essentielles utilisées lors des traitements des graines de blé.

Nous prélevons de chaque lot traité ou non traité 50 graines que nous mettons dans des boîtes de Pétri contenant du coton imbibé d'eau (Figure 18).

Après 5 jours, nous procédons au dénombrement des graines germées et le taux de germination (en %) est calculé selon la formule suivante:

$$\text{Taux de germination (\%)} = (\text{nombre de graines germées} / \text{nombre total des graines } 50) \times 100$$



**Figure 18:** Test de germination des graines de blé tendre *T. durum* (Originale, 2021).

### 3. Analyse statistique

Les résultats des différentes expériences sont soumis au test de l'analyse de la variance (ANOVA) selon plusieurs critères de classification en utilisant le logiciel statbox, version 6.4. (Grimmer software, France). Dans le cas où les différences s'avèrent significatives, un test complémentaire de Newman et Keuls, au seuil de 5%, est effectué afin de déterminer les groupes homogènes.

- $P \geq 0,05$  : différence non significative.
- $P \leq 0,05$  : différence significative.
- $P \leq 0,01$  : différence hautement significative.
- $P \leq 0,001$  : différence très hautement significative.

# *Chapitre V*

*Résultats*

*Et*

*Discussion*

**Chapitre V : Résultats et discussion**

Les résultats obtenus mettent en évidence une variation significative de la bioactivité des huiles essentielles testées par répulsivité et par inhalation à l'égard de *R. dominica*.

**1. Résultats des tests d'inhalation des huiles essentielles des clous de girofle et de bois de Hô sur les adultes de *R.dominica* :**

L'activité insecticide par inhalation de l'huile essentielle des clous de girofle et du bois de Hô est évaluée par le dénombrement des adultes morts du petit capucin au niveau des différents traitements réalisés.

Les résultats de l'analyse de la variance de l'effet insecticide de ces deux huiles essentielles révèlent que le taux de mortalité varie de façon très hautement significative suivant le facteur huile F1 (F= 881.351 ; P= 0 ; DDL= 1), le facteur concentration F2 (F= 218.397 ; P= 0 ; DDL= 4) et le facteur temps F3 (F= 61.199 ; P= 0 ; DDL= 3). Par ailleurs, l'effet de l'interaction huile essentielle x concentrations x temps n'est pas significatif (F=0.629 ; P= 0,81453; DDL= 12) (Tableau 4).

**Tableau 4:** Résultats de l'analyse de la variance de la toxicité des deux huiles essentielles testées, vis-à-vis des adultes de *R. dominica*, dans les tests d'inhalation.

	DDL	Carré Moyen (C.M.)	Test de Fischer (TEST F)	Probabilité (PROBA)	Ecart- total (E.T.)	Coefficient de variation (C.V.)
<b>Variation totale</b>	159	748,969				
<b>Variation Facteur 1 F1 (huile)</b>	1	44388,9	881,351	0		
<b>Variation Facteur 2 F2 (Concentration)</b>	4	10999,45	218,397	0		
<b>Var. Facteur (temps)</b>	3	3082,24	61,199	0		
<b>Variation F1 x F2 (huile x Concentration)</b>	4	3090,861	61,37	0		
<b>Var. Inter F1 x F3</b>	3	304,742	6,051	0,00081		
<b>Var. Inter F2 x F3</b>	12	145,912	2,897	0,00155		
<b>Var. Inter F1 x F2 x F3</b>	12	31,692	0,629	0,81453		
<b>Variation résiduelle</b>	120	50,365			7,097	18,36%

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle du bois de Hô testée a une forte activité insecticide par inhalation par rapport à celle des clous de girofle, vis-à-vis des adultes de *R. dominica*. Le taux moyen de mortalité des insectes dans les bocaux témoins est négligeable, c'est une mort naturelle des individus puisqu'il n'y a pas eu de traitement avec l'huile essentielle. Par contre, dans les bocaux traités, la mortalité augmente en fonction de la concentration et du temps d'exposition (Tableau 5).

Un effet concentration est observé dans tous les cas et varie selon les huiles essentielles utilisées. L'effet insecticide le plus élevé est obtenu avec le bois de Hô, comparativement à l'huile des clous de girofle. Le taux de mortalité varie entre 3.89% (24h) et 41.09% (96h) pour les clous de girofle et entre 7.5% (24h) et 94.36% (96h) pour le bois de Hô. Le taux de mortalité le plus élevé est enregistré avec la concentration de 20µl/64ml d'air et après 96h d'exposition, il est de 94.36% pour le bois de Hô et de 41.09% pour les clous de girofle (Tableau 5).

**Tableau 5 :** Pourcentages de mortalité moyens (moyenne ± écart- type, n = 4 répétitions contenant chacune 20 individus) chez *R. dominica* en fonction des concentrations des huiles essentielles et des durées d'exposition, après correction avec la formule d'Abbott (1925).

Huiles essentielles	Concentrations (µl/64 ml d'air/5 g de grains de blé tendre)	Temps d'exposition (h)			
		24	48	72	96
<i>S. aromaticum</i>	0	3,75 ±2,78	8,75 ±4,78	8,75 ±4,78	8,75 ±4,78
	5	3,89 ±0,21	9,58 ±0,21	16,43 ±0	27,39 ±7,02
	10	6,49 ±0,70	19,17 ±1,50	21,91 ±2,71	31,50 ±7,11
	15	3,89 ±1,9	19,17 ±0	26,02 ±1,9	34,24 ±6,01
	20	3,89 ±0,21	23,28 ±5,21	28,76 ±0,70	41,09 ±5,52
<i>C. camphora</i>	0	7,5 ±2,88	7,5 ±2,88	7,5 ±2,88	11,25 ±2,5
	5	41,89 ±10,56	43,24 ±9,98	50 ±4,75	56,33 ±8,80
	10	51,35 ±6,42	56,75 ±4,30	66,21 ±3,50	70,42 ±6,19
	15	55,40 ±5,82	63,51 ±1,95	64,86 ±6,88	81,69 ±2,34
	20	74,32 ±0,39	75,67 ±0	79,72 ±0,39	94,36 ±3,35

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les deux huiles essentielles (F1) dans deux groupes homogènes A et B ; le bois de Hô appartient au groupe A avec une moyenne égale à 55.313%, il manifeste une toxicité supérieure à celle des clous de girofle du groupe B avec une mortalité moyenne égale à 22 % (Tableau 6).

**Tableau 6:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la mortalité des adultes de *R. dominica*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPEs HOMOGENES	
2.0	H2 (bois de Hô)	55,313	A	
1.0	H1 (clous de girofle)	22		B

Par ailleurs, le test de Newman et Keuls classe le facteur concentration (F2) en quatre groupes homogènes (A, B, C et D). La concentration 20µl/64ml d'air est la plus efficace, elle appartient au groupe A avec une moyenne de (56.094%), les concentrations 15µl et 10µl /64ml d'air montrent une efficacité moindre, et appartiennent au groupe B (47.813% et 45%), respectivement. La concentration 5µl/64ml d'air appartient au groupe C avec une moyenne de 36.406% et enfin nous avons la concentration 0µl/64ml d'air appartenant au groupe D du lot témoin (Tableau 7).

**Tableau 7:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la mortalité des adultes de *R. dominica* (C : Concentration).

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPEs HOMOGENES			
5.0	C5	56,094	A			
4.0	C4	47,813		B		
3.0	C3	45		B		
2.0	C2	36,406			C	
1.0	C1	7,969				D

Pour le facteur temps (F3), le test de Newman et Keuls fait ressortir quatre groupes homogènes A, B, C, D: un temps de 96h est dans le groupe A avec une moyenne de 49.125%, plus élevée. Le temps 72 h est classé dans le groupe B, avec une moyenne de 40.75%, alors que le temps 48h avec une moyenne 36.75% est classé dans le groupe C et enfin le temps 24h se retrouve dans le groupe D avec la moyenne la plus faible (28%) (Tableau 8).

**Tableau 8 :** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet du facteur temps sur la mortalité des adultes de *R.dominica*.

F3	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
4.0	T4	49,125	A			
3.0	T3	40,75		B		
2.0	T2	36,75			C	
1.0	T1	28				D

### Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude montrent nettement que les deux huiles essentielles testées, ont un effet toxique très hautement significatif sur les adultes de *R. dominica*, au fur et à mesure que la concentration et le temps d'exposition augmentent, et il est nettement plus important pour l'huile essentielle de bois de Hô comparé à celui des clous de girofle.

Plusieurs études ont montré que les huiles essentielles ont un large spectre d'action sur les insectes des denrées stockées (Hamoudi, 2000 ; Keita et al. 2000). L'étude réalisée par Shaaya et al. (1993) sur la toxicité par fumigation de 26 huiles essentielles a montré que seul le laurier, la sauge et la lavande manifestaient 100 % de mortalité sur *R. dominica*, le silvain dentelé *Oryzaephilus surinamensis*, le tribolium rouge de la farine *Tribolium castaneum* et le charançon des grains *Sitophilus oryzae*, pour une concentration de 15 ml/l. Raja et al. (2001) affirment aussi que les huiles essentielles de *Mentha arvensis*, *M. piperita* et *M. spicata* possèdent une action biocide inhalatoire significative vis-à-vis de *C. maculatus* (F). Cette efficacité varie en fonction de l'huile, de la dose et de l'insecte. Ces variations peuvent être expliquées par la composition chimique de l'huile et le comportement du ravageur.

Selon Amrani (2018), le taux de mortalité des individus de *Tribolium confusum* est égale à zéro dans la majorité des tests par inhalation avec l'huile essentielle des clous de girofle (*Eugenia aromatica*), quelles que soient la dose et la durée d'exposition, et des taux faibles de mortalité chez les témoins.

Koroghli (2018) a montré que les deux huiles essentielles de la menthe pouliot et de la sauge officinale présentent un effet toxique très hautement significatif sur les adultes de *R. dominica* au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent ; cet effet toxique est nettement plus important pour l'huile essentielle de la menthe pouliot que celui de l'huile essentielle de la sauge.

Par ailleurs, Bounoua-Fraoucene et *al.* (2019) ont montré que les huiles essentielles de *Lavandula officinalis*, *Mentha piperita*, *Ocimum basilicum* et *Origanum compactum* sont souvent plus toxiques à l'égard de *R. dominica* que vis-à-vis de *S. oryzae*. Le taux de mortalité observé chez *R.dominica* augmente de manière significative avec l'augmentation de la concentration de l'huile essentielle et du temps d'exposition, tandis que l'augmentation de la mortalité chez *S.oryzae* reste faible. L'huile d'*O.basilicum* a provoqué, après 96 heures de fumigation, à la concentration 20µl/L d'air/ 20 g de grains de blé dur *Triticum durum*, des taux de mortalité de 100% chez *R. dominica* et de 41±13,87% chez *S. oryzae*.

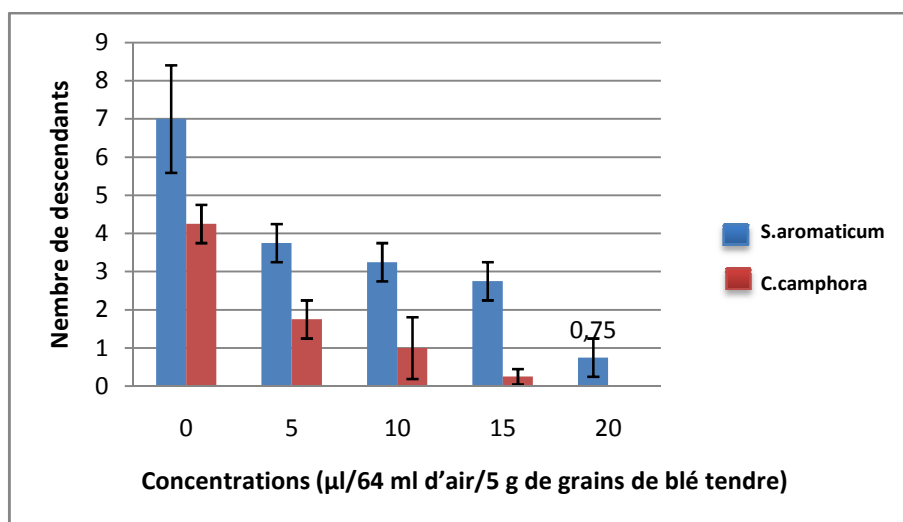
**2-Résultats relatifs à l'effet des traitements sur l'émergence des adultes de la première génération de *R. dominica*.**

L'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence très hautement significative pour les facteurs concentration ( $F = 70.104$ ;  $P = 0$ ), huile ( $F = 95.151$  ;  $P = 0$ ) et une différence significative pour leur interaction ( $F = 2.745$ ;  $P = 0.04623$ ) (Tableau 9).

**Tableau 9 :** Résultats de l'analyse de la variance du nombre d'individus de *R.dominica* émergeant des graines de blé tendre infestées par le même ravageur et traitées avec les deux huiles essentielles.

	DDL	Carré Moyen (C.M.)	Test de Fischer (TEST F)	Probabilité (PROBA)	Ecart- total (E.T.)	Coefficient de variation (C.V.)
<b>Variation totale</b>	39	4,717				
<b>VAR.FACTEUR F1 (huile)</b>	1	42,025	95,151	0		
<b>VAR.FACTEUR F2 (Concentration)</b>	4	30,963	70,104	0		
<b>VAR.INTER F1× F2</b>	4	1,213	2,745	0,04623		
<b>Variation résiduelle</b>	30	0,442			0,665	26,85%

Les traitements avec les huiles essentielles réduisent nettement le taux d'émergence des adultes de la première génération de *R. dominica* par rapport aux lots témoins où il est maximal  $7 \pm 1.41$  pour *S. aromaticum* et  $4.25 \pm 0.5$  pour *C. camphora*. Ce taux diminue au fur et à mesure que la concentration augmente dans les lots traités avec les deux huiles essentielles pour atteindre les valeurs les plus faibles à la plus forte concentration ( $20 \mu\text{l}/64\text{ml}$  d'air) avec un taux de  $0,75 \pm 0,5$  pour *S. aromaticum* et nul pour *C. camphora*, respectivement (Figure19).



**Figure 19 :** Nombre d'individus de *R. dominica* émergeant (moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre infestées par le même ravageur et traitées avec les deux huiles essentielles.

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les deux huiles essentielles dans deux groupes homogènes A et B ; le clou de girofle appartient au groupe A avec une moyenne de 3.5, celle de Bois de Hô au groupe B avec une moyenne de 1.45 (Tableau 10)

**Tableau 10:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur l'émergence des adultes de *R. dominica* (H : Huile).

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	H1	3,5	A	
2.0	H2	1,45		B

Ainsi, le test de Newman et Keuls classe le facteur concentration (F2) en cinq groupes homogènes (A, B, BC, C et D). Le témoin appartient au groupe A avec une moyenne de 5.625, la concentration de 5µl/64ml d'air réduit le plus les émergences et appartient au groupe B, avec une moyenne de 2.75, vient en dernier la concentration 20µl/64ml d'air appartenant au groupe D, avec une moyenne de 0.375 (Tableau 11).

## Chapitre V : Résultats et discussion

**Tableau 11:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des quatre concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur l'émergence des adultes de *R. dominica* (C : Concentration).

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	C1	5,625	A			
2.0	C2	2,75		B		
3.0	C3	2,125		B	C	
4.0	C4	1,5			C	
5.0	C5	0,375				D

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les interactions entre les deux facteurs étudiés en sept groupes homogènes. Le groupe A correspond à l'émergence la plus élevée et obtenue avec la combinaison clous de girofle témoin. Le groupe B correspond à l'émergence obtenue avec la combinaison de bois de Hô et le témoin. Le groupe E correspond à l'émergence la plus faible obtenue avec la combinaison de bois de Hô et la dose 15µl/64ml d'air (Tableau 12).

**Tableau 12 :** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs (huile x concentration) sur l'émergence des adultes de *R. dominica*.

F1	F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0	1.0	H1 C1	7	A			
2.0	1.0	H2 C1	4,25		B		
1.0	2.0	H1 C2	3,75		B	C	
1.0	3.0	H1 C3	3,25		B	C	
1.0	4.0	H1 C4	2,75			C	
2.0	2.0	H2 C2	1,75				D
2.0	3.0	H2 C3	1				D E
1.0	5.0	H1 C5	0,75				D E
2.0	4.0	H2 C4	0,25				E
2.0	5.0	H2 C5	0				E

### Discussion

Les résultats des tests de toxicité des huiles essentielles montrent que le taux d'émergence des adultes de *R. dominica*, à la plus forte concentration de 20µl/64ml d'air, est nul pour le bois de Hô et très faible pour les clous de girofle.

Dans cette étude, nous avons observé qu'en augmentant la concentration on obtient moins d'individus émergents. Nos résultats concordent avec ceux de Kellouche et Soltani (2004) qui confirment l'effet toxique de l'eugénol vis-à-vis de la bruche du niébé *C. maculatus*. A la dose 5µl/50g de graines, il réduit la longévité (1 jour), le nombre d'œufs pondus ( $0 \pm 0,00$ ) et celui des descendants ( $0 \pm 0,00$ ).

De même, Khalfi- Habes (2007) a montré que la fécondité des femelles de *C. maculatus* s'annule à la dose 0,4 µl/g de niébé avec l'huile essentielle de l'origan et de la menthe, et qu'aucune émergence n'est observée à la dose de 0,2 µl/g de niébé.

L'application de poudres de kaolin aromatisées par les huiles essentielles de *Tagetes minuta* (Composées), *Hyptis suaveolens*, *O. basilicum* et *O. canum* (Lamiacées) et de *Piper guineense* (Pipéracées) a un impact significatif sur les émergences des adultes de *C. maculatus* avec un taux de 0% contre 100% dans les lots témoins (Kéita et al, 2000). Pannuti et al. (2012) ont testé une dizaine de poudres végétales, les tests ont révélé l'efficacité de celles de *Chenopodium ambrosioides* L. et de *Piper nigrum* L., en réduisant l'oviposition et l'émergence des adultes de *C. maculatus*.

D'après Kellouche et al. (2004), aucune émergence n'est observée aux doses 0,4 ml et 0,8ml /50g de grains, pour quatre huiles végétales testées (huile d'olive de première pression, huile d'olive de deuxième pression, huile d'oléastre et huile de tournesol). De même, Namane et Mezani (2014) n'ont pas observé d'émergence d'adultes de *C. maculatus*, après le traitement des graines de niébé, avec les huiles d'olive de quatre régions différentes, à la forte dose 0,4ml/50g. Par ailleurs, Bellahmer (2012) observe que le taux d'émergence des adultes de *C. maculatus* diminue au fur et à mesure que la dose d'acide oléique augmente.

L'effet des deux huiles essentielles testées sur l'émergence des adultes de *R. dominica* peut être lié à leurs composés majoritaires : le linalool (99.11%) pour le bois de Hô et l'eugénol (79.54%) pour les clous de girofle. Des résultats similaires ont été obtenus par Regnault-Roger et al. (2002) qui ont montré que le carvacrol, le linalool, le thymol, le terpinéol et l'eugénol inhibent complètement l'émergence des adultes de la bruche du haricot, *Acanthocelides obtectus*, et les huiles essentielles de *Thymus vulgaris*, *Thymus serpyllum*, *Cinnamomum verum*, *Rosmarinus officinalis*, *Ocimum basilicum* et *Petroselinum sativum* affectent considérablement le taux de viabilité des adultes d'*A. obtectus*. Selon Kellouche et

## Chapitre V : Résultats et discussion

---

Soltani (2004), l'huile essentielle des clous de girofle à été également testée sur les adultes de la bruche du niébé qui vivent moins de 24 h avec les doses respectives de 0.5% et 5  $\mu$ l/ 50g de niébé.

La variation du nombre de descendants de *R. dominica* des graines de blé tendre infestées et non traitées des lots témoins s'explique par la variété et l'historique des semences du blé et l'origine de l'insecte ainsi que les conditions de laboratoire.

### 3. Résultats des tests par répulsion des huiles essentielles des clous de girofle et de bois de Hô sur les adultes de *R.dominica*

Les résultats de l'analyse de la variance pour les tests de répulsivité montrent qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur huile ( $F=97,524$  ;  $P= 0$ ) et le facteur dose ( $F=38,286$ ;  $P= 0$ ) et une différence hautement significative pour l'interaction des deux facteurs huile x dose ( $F=5,524$ ;  $P= 0,00506$ ) (Tableau 13).

**Tableau 13** : Analyse de la variance pour les tests de répulsivité avec les deux huiles essentielles.

	DDL	Carré Moyen (C.M.)	Test de Fischer (TEST F)	Probabilité (PROBA)	Ecart-total (E.T.)	Coefficient de variation (C.V.)
<b>Variation totale</b>	31	1070,968				
<b>Variation Facteur 1 F1 (huile)</b>	1	12800	97,524	0		
<b>Variation Facteur 2 F2 (dose)</b>	3	5025	38,286	0		
<b>Variation F1× F2 (huile× dose)</b>	3	725	5,524	0,00506		
<b>Variation résiduelle</b>	24	131,25			11,456	22,91%

Les deux huiles essentielles ont montré une activité répulsive variable à l'égard des adultes de *R. dominica*. Cette activité augmente significativement avec l'augmentation de la dose (Tableau 14).

Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), l'huile essentielle de *C. camphora* est répulsive (70%) alors que celle de *S. aromaticum* est modérément répulsive (30%). *C. camphora* s'est révélée comme la plus répulsive avec un taux de 90% à la plus forte dose testée (20 µl).

Les pourcentages de répulsion sont fortement dépendants de la nature de l'huile essentielle ainsi que des doses testées.

**Tableau 14:** Taux moyen de répulsivité (%) des deux huiles essentielles vis-à-vis des adultes de *R. dominica* (moyenne  $\pm$  écart- type, n = 5 répétitions, n= 20 individus) (les moyennes suivies d'une lettre différente diffèrent de façon très hautement significative, selon le test de Newman et Keuls, au seuil P= 5 %) (La comparaison a été faite entre les deux facteurs: huile x doses).

Huiles essentielles	Doses				Taux moyen de répulsivité	Classe de répulsivité
	5 $\mu$ l	10 $\mu$ l	15 $\mu$ l	20 $\mu$ l		
<i>S. aromaticum</i>	5 $\pm$ 5,774 C	20 $\pm$ 8,165 BC	25 $\pm$ 5,774 BC	70 $\pm$ 8,165 A	30	II (Modérément répulsive)
<i>C. camphora</i>	32,5 $\pm$ 26,3 B	77,5 $\pm$ 5 A	80 $\pm$ 8,165 A	90 $\pm$ 8,165 A	70	IV (répulsive)

La comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe l'huile essentielle de *C. camphora* dans le groupe homogène A, avec une répulsion moyenne de 70% et l'huile essentielle de *S. aromaticum* dans le groupe homogène B avec une répulsion moyenne de 30% (Tableau 15).

**Tableau 15:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles (F1) testées par répulsivité, sur les adultes de *R. dominica* (H : Huile).

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPE HOMOGENES	
2.0	H2	70	A	
1.0	H1	30		B

Le test de Newman et Keuls a réparti les différentes doses, testées par répulsivité, dans 3 groupes homogènes ; la dose 20 $\mu$ l avec le taux le plus élevé, avec une moyenne de 80% dans le groupe homogène A, suivie de la dose 15 $\mu$ l classée dans le groupe homogène B, dont la moyenne est de 52,5%, puis la dose 10 $\mu$ l dans le groupe B, ( 48,75% ) et enfin la dose 5 $\mu$ l avec le plus faible taux de répulsivité (18, 75%) est dans le groupe homogène C (Tableau 16).

**Tableau 16:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des quatre doses des huiles essentielles, testées par repulsivité, sur les adultes de *R. dominica* (D : dose).

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	D4	80	A		
3.0	D3	52,5		B	
2.0	D2	48,75		B	
1.0	D1	18,75			C

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe les interactions des deux facteurs : (huile x dose) en trois groupes homogènes. Le groupe A représente une meilleure interaction avec une moyenne variant de 70 à 90%, entre l'huile essentielle du Bois de Hô et les doses 10,15 et 20 $\mu$ l et entre l'huile essentielle des clous de girofle et la dose 20 $\mu$ l. Le groupe homogène C représente l'interaction la plus faible avec une moyenne de 5% entre l'huile essentielle des clous de girofle et la dose 5 $\mu$ l. Les groupes homogènes B et BC regroupent les interactions restantes, avec des moyennes très proches et variant de 20 à 32,5% (Tableau 17).

**Tableau 17:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs (huile x dose) sur les adultes de *R. dominica*.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
2.0 4.0	H2 D4	90	A		
2.0 3.0	H2 D3	80	A		
2.0 2.0	H2 D2	77,5	A		
1.0 4.0	H1 D4	70	A		
2.0 1.0	H2 D1	32,5		B	
1.0 3.0	H1 D3	25		B	C
1.0 2.0	H1 D2	20		B	C
1.0 1.0	H1 D1	5			C

### Discussion

L'objectif principal de notre travail étant de tester un moyen alternatif de lutte contre le petit capucin, *R. dominica* l'un des principaux 4 ravageurs des stocks de blé et du riz en utilisant deux huiles essentielles : *S. aromaticum* et *C. camphora*.

Cette étude est réalisée à travers deux tests en utilisant différentes doses pour les deux huiles essentielles (5µl, 10µl, 15µl et 20µl) ; un test par inhalation pour évaluer la mortalité des adultes de *R. dominica* et l'autre par répulsion afin de constater l'effet répulsif des deux huiles.

Les résultats obtenus montrent clairement que les deux huiles essentielles testées, *S. aromaticum* et *C. camphora*, ont un effet répulsif à l'égard des adultes de *R. dominica*.

L'activité répulsive de ces deux huiles essentielles augmente au fur et à mesure que les concentrations augmentent.

A la dose 20µl, les deux substances naturelles testées ont montré une activité répulsive variant entre 70% et 90% vis-à-vis de *R. dominica*.

L'huile de *C. camphora* est la plus répulsive (70%) tandis que celle de *S. aromaticum* présente un taux moyen de répulsivité de 30%.

Pellecuer et *al.* (1976), cité par Akono Ntonga et *al.* (2012), suggèrent que l'activité biologique d'une huile essentielle est liée à sa composition chimique. Ainsi, le potentiel insecticide plus important de l'huile de *C. camphora* et de celle de *S. aromaticum*, à la dose 20µl, pourrait être attribué à la présence de quantités élevées de leurs principaux composants : le linalol (90%) et l'eugénol 79,54%, respectivement. Dans ce contexte, Kellouche et Soltani (2004) ont démontré que l'huile essentielle des clous de girofle, dont l'eugénol est le principal constituant, à la dose 5 µl/50 g de grains de niébé *Vigna unguiculata*, diminue de manière très significative la fécondité de *C. maculatus*. De même Goucem- Khelfane (2014) suggère que la richesse des huiles essentielles des Rutacées en acétate de linalyl et en linalol explique leur action significative sur les adultes d'*Acanthocelides obtectus*.

Bounoua-Fraoucene et *al.* (2019) ont rapporté que l'activité repulsive importante de l'huile essentielle d'*O. basilicum* sur *Sitophilus oryzae* pourrait être attribuée à la présence de quantités élevées de ses principaux composants : le 1,8-cineole, le linalol et l'eugénol.

Dans cette étude, l'huile essentielle du bois de Hô *C. camphora* s'est montrée la plus toxique par inhalation et la plus répulsive sur le ravageur *R. dominica*. Dans la littérature, aucune étude n'a traité, jusque-là, l'activité de cette huile sur les insectes inféodés aux grains

stockés. Cependant, son principal constituant : le linalol est bien connu pour son utilisation comme insecticide contre *T. confusum* (Kheloul et al., 2019 ; Kheloul et al., 2020 ) et *R. dominica* , *S. oryzae* et *T. castaneum* (Rozman et al., 2007).

L'effet répulsif des huiles essentielles sur les insectes ravageurs des denrées stockées a été confirmé par plusieurs travaux. C'est ainsi que Kishan et al. (2001), ont montré que l'huile essentielle d'*Artemisia annua* est modérément répulsive vis-à-vis de trois coléoptères des denrées stockées, *C. maculatus*, *R. dominica* et *Sitophilus oryzae*, avec une répulsion moyenne variant de 65 à 74%, à la plus forte dose testée (4µl/ml) pendant 1 heure. De même, Roy et al. (2005) affirment que l'huile essentielle extraite de Lastron bâtard (*Blumea lacera*) manifeste une répulsion de 55.7% à l'égard de *R. dominica* et de 55.34% a l'égard de *S. oryzae*.

Selon Goucem-Khelfane (2014), les huiles essentielles de *Laurus nobilis*, *Citrus reticulata*, *Lavandula angustifolia* se sont montrées répulsives a l'égard des adultes d'*A. obtectus* même à la plus faible dose. L'activité de répulsion de ces huiles essentielles augmente en fonction de la dose, elle varie entre 60% et 100% à la dose de 80µl.

Par ailleurs, les résultats obtenus par Krim (2019) ont montré que les deux huiles essentielles testées, la sauge officinale et la menthe pouliot ont un effet répulsif à l'égard des adultes de *R. dominica* : la sauge est très répulsive et la menthe pouliot est modérément répulsive.

Ndomo et al. (2009) rapportent qu'après deux heures d'exposition, les différentes doses des huiles des feuilles de *Callistemon viminalis* (de 0.031 à 0.25 µl) ont occasionné une répulsion dont le taux varie de 36.6 à 80 % vis –à-vis des adultes d'*A.obtectus* (Coleoptera : Bruchidae). Ceci montre clairement que le pourcentage de répulsion augmente en fonction de la dose.

### 4 .Résultats de l'impact des traitements sur les paramètres agronomiques des grains de blé.

#### 4.1. Impact des traitements sur la perte en poids des graines

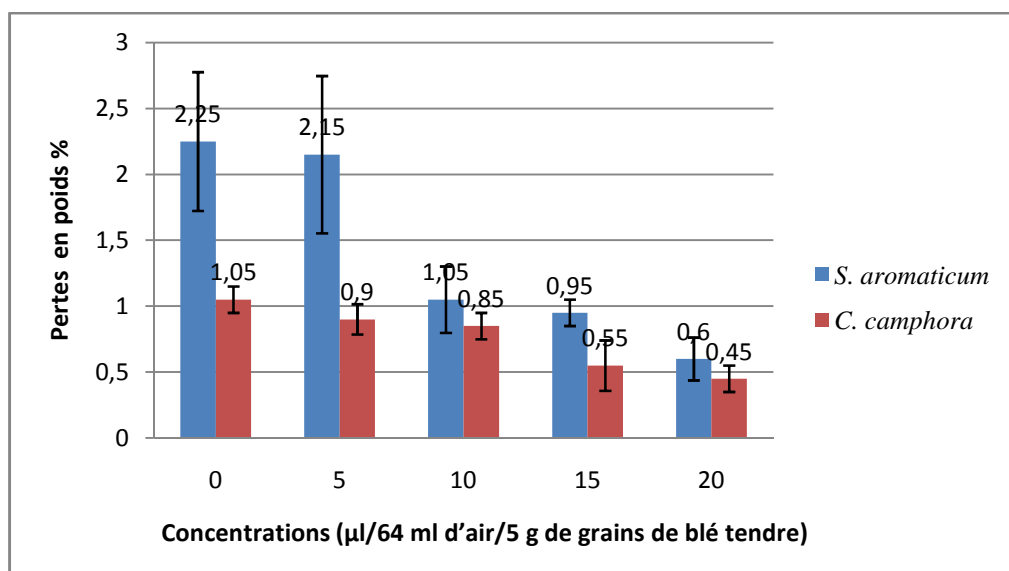
L'analyse de la variance à deux critères de classification, pour les pertes en poids des graines de blé tendre, a révélé une différence très hautement significative pour les facteurs concentration ( $F = 23,527$ ;  $P = 0$ ) et huile ( $F = 50,361$ ;  $P = 0$ ). Il en est de même pour l'interaction des deux facteurs, huile x concentrations ( $F = 7,236$ ;  $P = 0,00036$ ) (Tableau 18).

**Tableau 18 :** Résultats de l'analyse de la variance des pertes en poids des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par le *R.dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.

	DDL	Carré Moyen (C.M.)	Test de Fischer (TEST F)	Probabilité (PROBA)	Ecart- total (E.T.)	Coefficient de variation (C.V.)
<b>Variation totale</b>	39	0,424				
<b>VAR.FACTEUR F1 (huile)</b>	1	4,096	50,361	0		
<b>VAR.FACTEUR F2 (Concentration)</b>	4	1,913	23,527	0		
<b>VAR.INTER F1× F2</b>	4	0,589	7,236	0,00036		
<b>Variation résiduelle</b>	30	0,081			0,285	26,41%

La figure 20 montre que l'utilisation des deux huiles essentielles diminue considérablement les pertes en poids des graines du blé au fur et à mesure que les concentrations augmentent.

En effet, les pertes en poids maximales sont enregistrées dans les lots témoins non traités  $2,25 \pm 0,52\%$  ; ces pertes se réduisent à  $0,6 \pm 0,16\%$  avec les clous de girofle et à  $0,45 \pm 0,1\%$  avec le bois de Hô, à la plus forte concentration  $20 \mu\text{l}/64 \text{ ml}$ . Elles sont proportionnelles au nombre d'adultes émergents des graines.



**Figure 20 :** Pertes moyennes en poids (%) (Moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les deux huiles essentielles dans deux groupes homogènes A et B ; les clous de girofle appartiennent au groupe A avec une moyenne de 1,4%, elle manifeste une perte en poids supérieure à celle de Bois de Hô du groupe B avec 0,76% (Tableau 19).

**Tableau 19:** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la perte en poids des graines de blé tendre (H : Huile).

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	H1 clous de girofle	1,4	A	
2.0	H2 bois de Hô	0,76	B	

Ainsi le test de Newman et Keuls classe le facteur concentration (F2) en cinq groupes homogènes (A, B, BC et C). Pour les concentrations 0µl et 5µl/64ml d'air, les pertes en poids sont élevées, elles appartiennent au groupe A avec des moyennes de 1,65 et 1,525, respectivement. Avec les concentrations 10 µl et 15µl/64ml d'air, la perte en poids est moindre, et appartiennent aux groupes B (0,95) et BC (0,75) et enfin vient la concentration 20µl/64ml d'air appartenant au groupe C, avec une moyenne de 0,525 (Tableau 20).

## Chapitre V : Résultats et discussion

**Tableau 20:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la perte en poids des graines de blé tendre (C : concentration).

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	C1	1,65	A		
2.0	C2	1,525	A		
3.0	C3	0,95		B	
4.0	C4	0,75		B	C
5.0	C5	0,525			C

Le test de Newman et Keuls classe les interactions des deux facteurs, huile x concentration, en deux groupes homogènes. Le groupe A représente une meilleure interaction avec des moyennes de 2,25 et 2,15, entre l'huile essentielle des clous de girofle et les concentrations 0µl et 5µl/64ml d'air, respectivement. Le groupe homogène B regroupe les interactions restantes, avec des moyennes très proches et variant de 0,95 à 1,05; l'effet de ces interactions étant plus faible (Tableau 21).

**Tableau 21:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs huile x concentration sur la perte en poids des graines du blé tendre.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0 1.0	H1 C1	2,25	A	
1.0 2.0	H1 C2	2,15	A	
2.0 1.0	H2 C1	1,05		B
1.0 3.0	H1 C3	1,05		B
1.0 4.0	H1 C4	0,95		B
2.0 2.0	H2 C2	0,9		B
2.0 3.0	H2 C3	0,85		B
1.0 5.0	H1 C5	0,6		B
2.0 4.0	H2 C4	0,55		B
2.0 5.0	H2 C5	0,45		B

### 4.2. Etude de la faculté germinative des graines de blé tendre

L'analyse de la variance à deux critères de classification, pour le taux de germination des graines de blé tendre, a révélé une différence hautement significative pour le facteur huile F1 ( $F=13,115$ ,  $p= 0,00116$ ) et des différences très hautement significatives pour le facteur concentration F2 ( $F= 27,262$ ,  $P= 0$ ), ainsi que pour l'interaction des deux facteurs, huile x concentrations ( $F= 7,992$ ,  $P= 0,00018$ ) (Tableau 22).

**Tableau 22 :** Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet des deux huiles essentielles testées sur le taux de germination des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica*.

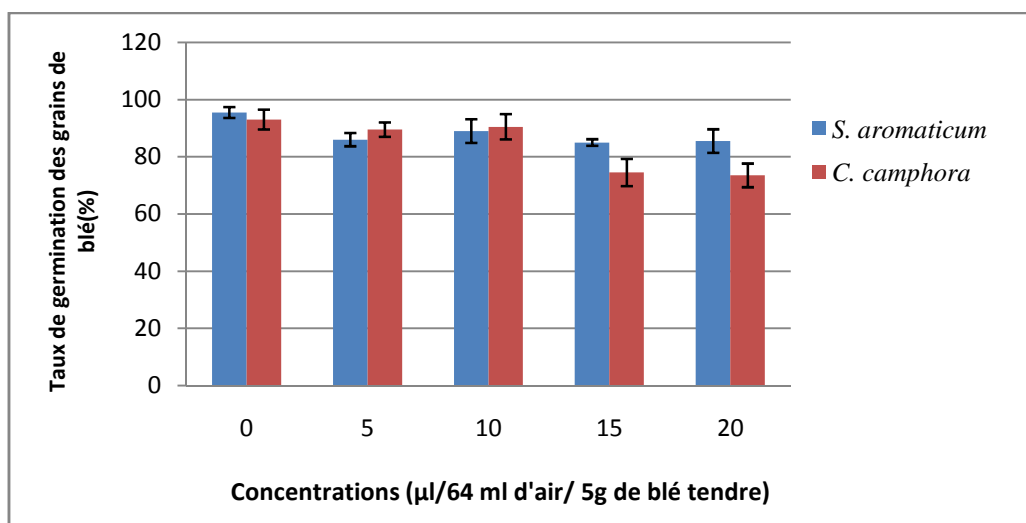
	DDL	Carré Moyen (C.M.)	Test de Fischer (TEST F)	Probabilité (PROBA)	Ecart- total (E.T.)	Coefficient de variation (C.V.)
<b>Variation totale</b>	39	57,6				
VAR.FACTEUR <b>F1 (huile)</b>	1	160	13,115	0,00116		
VAR.FACTEUR <b>F2 (Concentration)</b>	4	332,6	27,262	0		
VAR.INTER <b>F1× F2</b>	4	97,5	7,992	0,00018		
<b>Variation résiduelle</b>	30	12,2			3,493	4,05%

La figure 21 montre que l'utilisation des différentes huiles essentielles diminue considérablement le nombre de graines du blé tendre germées au fur et à mesure que les concentrations augmentent.

En effet, la faculté germinative dans les lots témoins est plus élevée atteignant ( $95,5 \pm 1,91$  %) alors qu'elle diminue dans les lots traités avec les deux huiles essentielles jusqu'à atteindre les taux de  $85,5 \pm 4,12$  % pour les clous de girofle et  $73,5 \pm 4,123$  % pour le bois de Hô (figure 21).

Aux faibles concentrations  $5 \mu\text{l}$  et  $10 \mu\text{l}/64\text{ml}$  d'air, les deux huiles permettent une meilleure protection des graines dont les taux sont respectivement, de  $86 \pm 2,309$  à  $89 \pm 4,163$  %, pour les clous de girofle et  $89,5 \pm 2,517$  à  $90,5 \pm 4,435$  %, pour le bois de Hô; par contre aux plus fortes doses  $15 \mu\text{l}$  et  $20 \mu\text{l}/64\text{ml}$  d'air, les graines traitées par les deux huiles

montrent des taux de germination plus faibles pour les clous de girofle,  $85 \pm 1,155$  à  $85,5 \pm 4,123\%$ , et pour le bois de Hô,  $74,5 \pm 4,726$  à  $73,5 \pm 4,123$ . (Figure 21).



**Figure 21 :** Taux de germination (%) (Moyenne  $\pm$  écart- type, n = 4 répétitions) des graines de blé tendre *T. aestivum* infestées par *R. dominica* et traitées avec les deux huiles essentielles.

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les deux huiles essentielles dans deux groupes homogènes A et B ; les clous de girofle appartiennent au groupe A avec une moyenne égale à 88,2, la faculté germinative des graines traitées est supérieure à celle observée dans les traitements avec le bois de Hô qui appartient au groupe B, avec une moyenne égale à 84,2 (Tableau 23).

**Tableau 23 :** Résultats du test de Newman et Keuls portant sur l'effet des deux huiles essentielles, (F1) testées par inhalation, sur la germination des graines de blé tendre (H : Huile).

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	H1 clous de girofle	88,2	A	
2.0	H2 bois de Hô	84,2		B

Ainsi le test de Newman et Keuls classe le facteur concentration (F2) en trois groupes homogènes A, B, et C. La concentration  $0 \mu\text{l}/64\text{ml}$  d'air est la plus élevée, elle appartient au groupe A avec une moyenne de (94,25). Les concentrations 15 et  $20 \mu\text{l}/64\text{ml}$  d'air appartenant au groupe C, avec des valeurs plus faibles du taux de germination (Tableau 24).

**Tableau 24:** Résultats du test Newman et Keuls montrant l'effet des cinq concentrations des huiles essentielles testées par inhalation sur la germination des graines de blé tendre (C : concentration).

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0	C1	94,25	A		
3.0	C3	89,75		B	
2.0	C2	87,75		B	
4.0	C4	79,75			C
5.0	C5	79,5			C

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les interactions entre les deux facteurs étudiés en six groupes homogènes (A, AB, ABC, BC, C et D). Le groupe A présente le taux de germination le plus élevé et correspond aux lots témoins (0 µl/64ml d'air) réalisés en parallèle avec les lots traités avec les clous de girofle. Le groupe D représente les interactions les plus faibles avec des moyennes de 74,5 et 73,5, entre l'huile essentielle du bois de Hô et les concentrations 15 et 20µl//64ml d'air. Les groupes homogènes AB, ABC, BC et C regroupent les interactions restantes avec des taux de germination intermédiaires (Tableau 25).

**Tableau 25:** Résultats du test de Newman et Keuls indiquant l'effet de l'interaction des deux facteurs huile x concentration sur la germination des graines du blé tendre.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
1.0 1.0	H1 C1	95,5	A			
2.0 1.0	H2 C1	93	A	B		
2.0 3.0	H2 C3	90,5	A	B	C	
2.0 2.0	H2 C2	89,5	A	B	C	
1.0 3.0	H1 C3	89	A	B	C	
1.0 2.0	H1 C2	86		B	C	
1.0 5.0	H1 C5	85,5		B	C	
1.0 4.0	H1 C4	85			C	
2.0 4.0	H2 C4	74,5				D
2.0 5.0	H2 C5	73,5				D

### Discussion

En l'absence de traitements insecticides contre le petit capucin avec les deux huiles essentielles, les graines de blé subissent des pertes aussi bien quantitatives (perte pondérale) que qualitatives (pouvoir germinatif). Au niveau des lots témoins non traités, la perte pondérale est très visible à travers une réduction du poids des graines attaqués par *R.dominica*.

Il ressort globalement que le traitement avec les deux huiles essentielles protège les graines de blé tendre ; ainsi, les pourcentages des pertes pondérales diminuent au fur et à mesure que la concentration augmente pour presque s'annuler aux plus fortes concentrations, quelle que soit l'huile essentielle utilisée.

Les pertes pondérales les plus élevées sont enregistrées au niveau du lot témoin non traité ( $2,25 \pm 0,52\%$ ) alors qu'elles atteignent les valeurs les plus basses dans les lots traités à la plus forte concentration  $20\mu\text{l}/64\text{ ml}$  :  $0,6 \pm 0,16\%$  pour les clous de girofle et à  $0,45 \pm 0,1\%$  pour le bois de Hô.

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Bouzidi et Toubal (2015) et Chaouadi et Smaili (2017) qui rapportent que la perte en poids des graines de blé infestées par *R. dominica* est inversement proportionnelle à la dose utilisée et quelle que soit l'origine de l'huile d'olive utilisée comme traitement.

Concernant la faculté germinative des graines, des différences hautement significatives pour le facteur huile sont enregistrées, classant en première position les clous de girofle (88,2%) et en deuxième position le bois de Hô (84,2%). Le taux de germination des graines diminue avec l'augmentation de la concentration de l'huile utilisée.

Ces résultats montrent que les deux huiles essentielles testées ont affecté légèrement le pouvoir germinatif des graines de blé tendre.

Par ailleurs, Adli et Belmadani (2003) signalent que les huiles de soja, de ricin, de tournesol et d'amande douce n'affectent pas la faculté germinative des graines de niébé traitées aux doses 0.2 et 0.4ml, mais celle-ci diminue en augmentant la dose à 1 ml.

Pour sa part, Aiboud (2011) a traité les graines de niébé contre *C. maculatus* avec les huiles essentielles extraites de *Myrtus communis*, *Thymus vulgris*, *Origanum vulgare*, *Eucalyptus smithii*, *Pimenta racemosa*, *Ocimum basilicum* et *Ssygyzium aromatica* et a démontré qu'elles ont une activité très hautement significative sur la réduction des pertes en poids des graines et constate aussi que la faculté germinative des graines traitées aux fortes doses est très élevée, étant donné que l'émergence des adultes de *C. maculatus* est faible.

L'extrait hydro méthanoïque et l'huile essentielle des clous de girofle ont une influence sur le pouvoir germinatif des graines du blé. Un taux dépassant le 80% noté pour les graines testées par l'extrait a été enregistré pour les doses 5% et 10% et un taux de 60% pour la dose 15% avec une faible germination qui n'a pas dépassé les 50% pour les doses restantes, 20% 25% et 30%. Par contre l'huile essentielle des clous de girofle seule a enregistré des taux de germination des graines très appréciables avec 95% ; 89% ; 83% et 71%, respectivement pour les doses 5, 10, 15 et 20ul/ml et de faibles taux de l'ordre de 57% et 31% pour les doses 25 et 30ul/ml. Alors que le témoin a enregistré une germination à 100%. A travers ces résultats, on peut dire que la germination est affectée par la dose de dilution de l'huile essentielle, en effet, le taux de germination des graines diminue lorsque la dose augmente (Baba et Touhari, 2020).

Selon Houidef (2020), le test de germination des grains de blé dur traités avec l'huile essentielle et l'extrait hydro méthanoïque des clous de girofle, a présenté une sensibilité importante vis-à-vis des deux extraits testés. En effet l'augmentation de la dose des deux extraits a permis de réduire le taux de germination du blé dur.

Le taux de germination des graines infestées et non traitées dans les lots témoins est plus élevé que celui des gaines infestées et traitées avec les huiles essentielles, à la plus forte dose testée (20µl). Ce résultat peut s'expliquer par l'origine différente des graines utilisées dont l'historique n'est pas maîtrisé.

*Conclusion*  
*Générale*

### Conclusion

Au cours de notre travail, nous avons tenté d'évaluer l'efficacité des deux huiles essentielles des clous de girofle *Syzygium aromaticum* et du bois de Hô *Cinnamomum camphora* à l'égard des adultes du petit capucin des grains stockés *R. dominica*. Compte tenu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que les deux huiles testées exercent une toxicité importante, par inhalation et répulsion sur ce ravageur des grains stockés.

Lors des tests par inhalation, nous avons constaté que l'huile essentielle du bois de Hô a une forte activité insecticide par rapport à celle des clous de girofle vis-à-vis des adultes de *R. dominica*.

L'efficacité des deux huiles essentielles de *S. aromaticum* et de *C. camphora* sur la mortalité des adultes de *R. dominica* varie selon la concentration utilisée. Le taux de mortalité le plus élevé des individus est enregistré avec la concentration de 20µl/64ml d'air et après 96h d'exposition, il est de 94.36% pour le bois de Hô et de 41.09% pour les clous de girofle.

En ce qui concerne le test par répulsion, les deux huiles ont montré un effet répulsif très significatif à l'égard du petit capucin des grains. Selon le classement de Mc Donald et al. (1970), l'huile essentielle du bois de Hô est répulsive avec un taux de répulsion moyen de 70%, tandis que l'huile essentielle des clous de girofle est modérément répulsive avec un taux de répulsion moyen de 30%.

Par ailleurs, les pertes en poids des graines de blé tendre traitées avec les deux huiles essentielles sont négligeables. Les deux huiles ont affecté légèrement le pouvoir germinatif des graines, tandis que le taux d'émergence des adultes de la première génération est faible.

Les résultats obtenus montrent que les substances naturelles utilisées ont une bonne action insecticide à l'égard de *R. dominica*, leur toxicité varie selon le type de test effectué (Inhalation ou répulsion).

Ce travail basé sur l'utilisation des plantes aromatiques comme insecticides nous ouvre de larges perspectives d'une part dans le domaine des connaissances fondamentales et d'autre part dans le domaine appliqué, pour cela nous recommandons des recherches sur :

- l'évaluation des effets des autres plantes aromatiques locales sur les principaux insectes nuisibles des grains.

- L'évaluation des effets de nos huiles essentielles sur d'autres insectes nuisibles des denrées stockées (*Callosobrochus maculatus*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granarius*, *Sitophilus zeamais* ... etc.).
- D'un point de vue pratique, il est important de tester les extraits des plantes et les substances pures en plein champ afin d'évaluer leur efficacité dans le milieu naturel en interaction avec les facteurs biotiques et abiotiques, en vue de leur exploitation en tant que biopesticide.
- L'identification des principes actifs des huiles essentielles des plantes locales et leur formulation pour leur application dans le traitement des stocks représentent également une étape importante dans nos travaux de recherche.

*Références*

*Bibliographiques*

## Résumé

La présente étude a pour objet d'évaluer l'activité par inhalation et par répulsion des huiles essentielles de clous de girofle (*Syzygium aromaticum*) et de bois de Hô (*Cinnamomum camphora*) sur les adultes du petit capucin des grains *Rhyzopertha dominica* F. Des grains de blé tendre traités avec ces huiles à différentes doses (0µl, 5µl, 10µl, 15µl et 20µl) ont été exposés aux adultes de *R. dominica*, pendant 24 à 96h, dans des conditions de laboratoire, afin d'évaluer leurs effets sur la longévité et l'émergence de ce coléoptère ainsi que sur les paramètres agronomiques des grains de blé. Le suivi de la mortalité des individus a permis de constater une toxicité croissante pour les deux huiles testées par inhalation en fonction des doses et du temps d'exposition. La plus forte dose utilisée (20µl/64ml d'air) s'est révélée létale pour 94.36% des individus et ce après 96h d'exposition pour le bois de Hô. L'huile essentielle de bois de Hô a révélé un effet insecticide plus rapide que celle de clous de girofle. L'huile essentielle de bois de Hô est répulsive, avec un taux de répulsion moyen de 70%, tandis que l'huile essentielle de clous de girofle est modérément répulsive (30%). Il ressort de notre étude que les deux huiles présentent des propriétés insecticides remarquables par inhalation sur le petit capucin qui ouvrent des perspectives encourageantes dans la recherche de moyens de lutte alternatifs dans les lieux de stockage des grains de céréales.

**Mots- clés :** Huile essentielle, *Rhyzopertha dominica*, activité insecticide, *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum camphora*.

## Abstract

The purpose of this study is to evaluate the inhalation and repulsion activities of two essential oils of cloves (*Syzygium aromaticum*) and Ho woods (*Cinnamomum camphora*) on adults of *Rhyzopertha dominica* F. Soft wheat grains treated with these oils at different doses (0µl, 5µl, 10µl, 15µl and 20µl) were exposed to adults of *R. dominica* from 24 to 96 h, under laboratory conditions, in order to assess their effects on the longevity and emergence of this beetle as well as the agronomic parameters of wheat grains. Monitoring the mortality of individuals, the results showed an increasing mortality for the two oils tested by inhalation as a function of the doses and the exposure time. The highest dose used (20µl / 64ml of air) was lethal for 94.36% of individuals after 96 h of exposure for Ho wood. Ho wood essential oil has shown an insecticidal effect faster than that of cloves. Ho wood essential oil is repellent, with an average repellency rate of 70% while clove essential oil is moderately repellent (30%). Our study showed that the two oils have insecticidal properties by inhalation on *R. dominica* and can therefore constitute an alternative means of control of stored grains pests.

**Keywords:** Essential oil, *Rhyzopertha dominica*, insecticidal activity, *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum camphora*.

## Références Bibliographiques

- **Abbott, W.S. 1925.** A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**: 265–267.
- **Abdelaziz, S.E. 2011.** Control Strategies of Stored Product Pests. *Journal of Entomology* 8(2):101-122.
- **Adli, H. et Balmadani, K. 2003.** Action de quelques extraits végétaux sur la bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Mémoire d'Ingénieur en Biologie U.M.M.T.O. 70 p.
- **AFSSAPS. 2008. Agence Française de Sécurité Sanitaire et des Produits de Santé.** Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles.
- **Aiboud, K. 2011.** Etude de l'efficacité de quelques huiles essentielles à l'égard de la bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) et impacts des traitements sur la germination des graines de *Vigna unguiculata*. Mémoire de Magister en sciences Biologiques. U.M.M.T.O. 58p.
- **Akono Ntonga, P., Belong, P., Tchoumboungang, F., Bakwo, Fils, E. M. & Fankem, H. 2012.** Composition chimique et effets insecticides des huiles essentielles des feuilles fraîches d'*Ocimum canum* Sims et d'*Ocimum basilicum* L. sur les adultes d'*Anopheles funestus* ss, vecteur du paludisme au Cameroun. *Journal of Applied Biosciences* **59**: 4340–4348.
- **Alexandratos, N. & Bruinsma J., 2012.** World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. Global Perspective Studies Team, FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Rome. 154p.
- **Amrani, T., 2018.** Etude de l'effet bio-insecticide de l'huile essentielle des clous de girofle (*Eugenia aromatica*) vis-à-vis d'un ravageur des denrées stockées (coléoptère; ténébrionidé) *Tribolium confusum*. Mémoire de master en sciences biologiques, UMMTO, 60p.
- **Anonyme 1, 2021.** [www.aroma-zone.com](http://www.aroma-zone.com)
- **Anonyme 2, 2021.** [compagnie-des-sens.fr](http://compagnie-des-sens.fr).
- **Anonyme, 2021.** [www.aroma-zone.com](http://www.aroma-zone.com)
- **ANSM, 2016.** Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. Pharmacopée française - 11ème édition.

- **Aoues, K., Boutoumi, H. & Benrima, A. 2017.** Etat Phytosanitaire Du Blé Dur Locale Stocké En Algérie, *Revue Agrobiologia*, 7(1): 286-296.
- **Arthur, F.H. 2006.** Initial and delayed mortality of late-instar larvae, pupae, and adults of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) exposed at variable temperatures and time intervals. *Journal of Stored Products Research* 42: 1-7.
- **Auzias D., 2007.** Madagascar, édition le petit futé, 694p.
- **Babba, I. et Touhari, M.2020.** Etude de l'activité biologique de l'huile essentielle et l'extrait hydro méthanoïque des clous de girofle (*Syzygium aromaticum*) à l'égard du bioagresseur des denrées stockées *Trogoderma granarium*. Mémoire de master en agronomie. U.M.M.T.O. 77p.
- **Balachowsky, A. & Mesnil, L. 1936.** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs, leur destruction. Ed. Busson, Paris : 1722 – 1723, 1745 – 1746.
- **Balachowsky, A. S., 1962.** Entomologie appliquée à l'agriculture, Tome 1. Volume 1 : Coléoptères. Ed. Masson et Cie, Paris : 304, 392, 485 – 487.
- **Barbelet, S. 2015.** Le giroflier : historique, description et utilisations de la plante et de son huile essentielle. Université de Lorraine. Thèse de Doctorat en Pharmacie. 120p.
- **Barron, C., Surget, A. and Rouau, X. (2007)** Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *Journal of Cereal Science*, 45, 88–96.
- **BASTIEN, F. 2008.** Effet larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calcitrans* à la Réunion. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Toulouse, France, 78 pp.
- **Bekon, K. & Fleurat Lessard, F., 1989.** Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire *Tribolium castaneum* (Herbet) (Coleoptera : Tenebrionidae), lors de la conservation des céréales, en région chaudes. Aupelf-Uref, Ed. John Libby Eurotexi, Paris : 97-104.
- **Bellahmer, 2012.** Effet bio insecticides de l'acide oléique et de l'acide stéarique à l'égard de *Callosobruchus maculatus*. Mémoire d'ingénieur. UMMTO. 45 p.
- **Benhalima, H., Chaudhry, M.Q., Mills, K.A. & Price, N.R., 2004.** Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. *Jornal of Stored Product Research* 40: 241-249.

- **Benkhellat O, 2002-** Contribution à l'étude des conditions de manutention du blé et de l'écologie des arthropodes dans les écosystèmes de stockage de la région de Bejaia et essai de lutte contre *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera :Bostichidae) à base de poudre de plantes. Thèse. mag. Science de la nature. Univ. Bejaia.102p.
- **Ben-ziane A. & Ismail Y. 2001.** Contribution à l'étude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région de Djelfa : Activité antibactérienne des huiles essentielles des feuilles de *Pistacia atlantica Desf.*, from <https://sites.google.com/site/pastoraldz/plantesmedicinales>.
- **Boina, D. & Subramanyam, B. 2004.** Relative susceptibility of *Tribolium confusum* life stages exposed to elevated temperatures. *Journal of Economic Entomology* 97(6) : 2168-2173.
- **Bonjean, A. & Picard, E. 1990.** Les céréales à paille ; Origine, Historique, Economique, Sélection. Softword – Groupe ITM, Paris, 208 p.
- **Bonnafous C. 2013.** Traité scientifique Aromathérapie - Aromatologie & aromachologie. **Édition** : Dangles. 522p.
- **Bonvicini , S. et Vuitton , L. 2004.** *Une saga française*, Paris, Fayard, 363 p.
- **Botineau M. et Pelt, J. M. 2010.:** *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Ed. Tec & Doc, Linda Conway Duever : Floridata : *Cinnamomum camphora*, octobre 2000. URL <http://www.floridata.com>
- **Bounoua-Fraoucene, S., Kellouche, A. & Debras, J.F. 2019.** Toxicity of four essential oils against two insect pests of stored grains, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *African Entomology* 27(2):344-359.
- **Bounoua-Fraoucene, S., Kellouche, A., Debras, J.F., 2019.** Toxicity of four essential oils against two insect pests of stored grains, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *African Entomology* 27(2):344-359.
- **Bouzidi, M. et Toubal, N. 2015.** Effet insecticide de l'huile d'olive de différentes régions de Kabylie à l'égard de quatre coléoptères ravageurs des grains stockés : *Sitophilus oryzae*(curculionidae), *Rhyzopertha dominica* (bochtrydae), *Tribolium castaneum* tenebrionidae) et *Callosobruchus maculatus*(bruchidae).Mémoire de master en biologie. U.M.M.T.O.

- **Bouzouita N., Kachouri F., Ben Halima M. & Chaabouni M.M., 2008-** Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. J. Soc Pharmacognosie. Chim. Tunis. Pp119-125.
- **Bruneton, J. 1999.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème éd. Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris. pp. 484 - 535.
- **Cássia da Silveira e Sá, R., Andrade, L., & De Sousa, D. (2013).** A Review on Anti-Inflammatory Activity of Monoterpenes. *Molecules*, 18(1), 1227–1254.
- **Chaoudi, Z. et Smaili, S. 2017.** Caractérisation physico-chimique de l'huile d'olive de la variété « chemlal » et étude de son activité biologique a l'égard de deux insectes ravageurs de grains stockés, *Rhyzopertha domnica coleoptera :bostrychidae*) et *Sitophilus oryzae (coleoptera : curculionidae)*. ). Mémoire de master en biologie. U.M.M.T.O. 61p.
- **Charmet, G., Abécassis, J., Bonny, S., Fardet, A., Forget, F. & Lullien-Pellerin, V. 2017.** Agriculture et alimentation durables Trois enjeux dans la filière céréales .Éditions Quæ. France. 195p.
- **Cheftel J.C & Cheftel H., 1992-** Introduction à la biochimie des aliments Ed. Tech. doc. Lavoisier., Paris, vol I, 381p.
- **Cheftel, J.C & Cheftel, H., 1977.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, pp. 105-130.
- **Chenni, M. 2016.** Etude comparative de la composition chimique et de l'activité biologique de l'huile essentielle des feuilles du basilic «*Ocimum basilicum L.*» extraite par hydro-distillation et par micro-ondes. Thèse de Doctorat, université d'Oran. 185p.
- **Couic-Marinier, F. & Lobstein, A. (2013).** Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(525), 18–21.
- **Cronquist, A. 1981.** An integrated system of classification of flowering plants. Columbia Univ. Press. New York.1262 P.
- **Cruz, J.F. & Troude, F. 1988.** Conservation des Grains en Régions Chaudes « Techniques Rurales en Afrique ». 2 éd. France, CEEMAT, 548 p.
- **Cruz, J.F., Hounhouigan, D.J. & Fleurat-Lessard, F. 2016.** La conservation des grains après récolte. Éditions Quæ, France. 256p.
- **De Cássia da Silveira e Sá, R., Andrade, L., & de Sousa, D. (2013).** A Review on Anti-Inflammatory Activity of Monoterpenes. *Molecules*, 18(1), 1227–1254.

- **Deguiche, M., 1997.** Etude de la biologie du *Tribolium castaneum* H. (Coleoptera, Tenebrionidae) et essais de lutte par des plantes locales. Thèse d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. Université de Tizi-Ouzou, p 30.
- **Delobel, A. & Tran, M. 1993.** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Ed. Orstom. Paris. 424 p.
- **Diaz-Gomez, O., Rodriguez, J.C., Shelton, A.M., Lagunes, T.A. & Bujanos, M.R. 2000.** Susceptibility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations in Mexico to commercial formulations of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology* 93(3): 963-970.
- **Doumandji, A., Doumandji-Mitiche, B. & Salaheddine, D., 2003.** Cours de technologie des céréales technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stockage. Office des Publications Universitaires, pp. 1-22.
- **Druvefors, U.Ä., 2004.** Yeast Biocontrol of Grain Spoilage Moulds Mode of Action of *Pichia anomala*. Doctoral thesis. University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. Agraria 44-466.
- **Duron, B.S., 1999.** Le Transport Maritime des Céréales. Mémoire de D.E.S.S. Université d'Aix-Marseille, pp 81.
- **Enan E., 2001.** Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 130(3) : 325-337.
- **Enan, E., 2005.** Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 35(4), 309–321.
- **Feillet, P. 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation. Edition INRA, Paris. pp. 23-25
- **Feillet, P., 2000.** Le grain de blé: composition et utilisation: Mieux Comprendre. INRA, Paris, 308p.
- **Fianko, J.R., Donkor, A., Lowor, S.T., Yeboah, P.O., Glover, E.T., Adom, T. & Faanu A., 2011.** Health risk associated with pesticide contamination of fish from the densu river basin in Ghana. *Journal of Environmental Protection* 2(2): 115-123.
- **Fleurat-Lessard, F. & Dupuis, S.A. 2010.** Comparative analysis of upper thermal tolerance and CO<sub>2</sub> production rate in two different European strains of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 46: 20-27.

- **Flinn, P.W., Kramer, K.J., Throne, J.E. & Morgan, T.D., 2005.** Protection of stored maize from insect pests using a two-component biological control method consisting of a hymenopteran parasitoid, *Theocolax elegans*, and transgenic avidin maize powder. *Journal of Stored Products Research*. **42**,218-225.
- **Gacem, M.A. 2011.** Contribution à l'étude de l'activité antifongique et antimycotoxinogène des extraits méthanolique et aqueux des graines de *Citrullus colocynthis* sur la croissance de quelque moisissure d'altération de blé tendre Stocké. Magister en Microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah- Ouargla. Algérie. 149p.  
**Garneau F.-X. (2005).** Le matériel végétal et les huiles essentielles (Laseve-UQAC, Chicoutimi ed).
- **Glitho I.A, Ketoh K.G., Nuto P.Y., Amevoin S.K. & Huignard I. 2008.** Approches non toxiques et nonpolluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest.Ch.9. In : Regnault Roger C, Philogène BJR, Vincent C, *Biopesticides d'Origine Végétale*. 2éd, Paris, Lavoisier, TEC & DOC. 550p.
- **Gocem-Khelfane, K. 2014.** Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard de la bruche du haricot *Acanthocelide sobtectus* Sey. (Coleoptera : Chrysomelidae), bruchinae et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus vulgaris* L.). Thèse de doctorat en sciences biologiques. U.M.M.T.O., 143p.
- **Grainscanada, 2017.** Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures. Disponible sur internet : <https://www.grainscanada.gc.ca>
- **Guèye M.T., Seck D., Wathelet J-P. & Lognay G. 2011.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agro. Soc. Environ.***15**(1): 183-194.
- **Guèye, M .T. 2012.** Gestion intégrée des ravageurs de céréales et de légumineuses stockées au Sénégal par l'utilisation de substances issues de plantes. Thèse de doctorat, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 216 p.
- **Hagstrum, D.W. 2001.** Immigration of insects into bins storing newly harvested wheat on 12 Kansas farms. *Journal of Stored Products Research* **37**, 221–229.

- **Hamoudi S., 2000.** Extraction des huiles essentielles du romarin et du thym. Evaluation de leur toxicité vis-à-vis d'un insecte des denrées stockées. Mémoire d'ingénieur en génie chimique. Ecole Nationale Polytechnique. El-Harach, 76p.
- **Houidef, D., 2020.** Effet insecticide de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique des clous de girofle (*Syzygium aromaticum*). Mémoire de master en biologie. U.M.M.T.O. 74p.
- **Isman, M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603–608.
- **Keane, S., & Ryan, M. . (1999).** Purification, characterisation, and inhibition by monoterpenes of acetylcholinesterase from the waxmoth, *Galleria mellonella* (L.). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 29(12), 1097–1104.
- **Kéita S.M., Vincent C., Schmidt J.P., Ramaswamy S. & Bélanger A. 2000.** Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research* 36: 355-364.
- **Kéita S.M., Vincent C., Schmidt J.P., Ramaswamy S. & Bélanger A. 2000.** Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research* 36: 355-364.
- **Kellouche, A. & Soltani, N. 2004.** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles à l'égard de *Callosobruchus maculatus*. *International journal of tropical insect science* 24 (1): 184-191.
- **Kellouche, A. & Soltani, N. 2004.** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F). *International Journal of Tropical Insect Science* 24(2): 184–191.
- **Kellouche, A. 1987.** Relations parasitaires entre *Lariophagus distinguendus* FORSTER et *Chaetospila elegans* WESTWOOD (*Hymenoptera : Pteromalidae*) et les ravageurs des denrées stockées : *Sitophilus oryzae* LINNEAUS et *Rhyzopertha dominica* Fabricius (*Coleoptera : Curculionidae et Bostrychidae*). Thèse de Doctorat de troisième cycle en Ecologie. Université Paul Sabatier Toulouse : 14 – 19.
- **Kellouche, A., Soltani, N., Kreiter, S., Auger, J., Arnold, I. & Kreiter P. 2004.** Biological activity of four vegetable oils on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). *REDIA*, LXXXVII: 39-47.

- **Ketoh, G.K., Glitho, I. A., Nuto, Y. & Koumaglo, H.K., 1998.** Effets de six huiles essentielles sur les oeufs et les larves de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera : Bruchidae). Sciences et médecine Revue Cames:16-20.
- **Ketoh, G.K., Glitho, I.A. & Koumaglo, H.K. 2004.** Activité insecticide comparée des huiles essentielles de trois espèces du genre *Cymbopogon* (Poaceae). *J. Soc. Ouest-Afr. Chim* 18: 21-34.
- **Khalfi-Habes O., Boutekedjir C. & Sellami S. 2014.** Etude des huiles essentielles de la plante *Mentha piperita* et tester leurs effets sur un modèle biologique des infusoires. Institut National Agronomique EI-Harrach.
- **Khalfi-Habes, O. 2007.** Evaluation du potentiel biocide et étude de l'influence de la composition des huiles essentielles de quelques plantes algériennes sur *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) et *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, El Harrach, Algérie. 119p.
- **Kheloul, L., Anton, S., Gadenne, C. & Kellouche, A. 2020.** Fumigant toxicity of *Lavandula spica* essential oil and linalool on different life stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology* 1-20.
- **Kheloul, L., Kellouche, A., Bréard, D., Gay, M. Gadenne, C. & Anton, S. 2019.** Trade-off between attraction to aggregation pheromones and repellent effects of spike lavender essential oil and its main constituent linalool in the flour beetle *Tribolium confusum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 1-9.
- **Kishan, K. A., Arun, K. T., Veena, P. & Sushil, K. 2001.** Toxicity of 1,8-Cineole Towards Three Species of Stored Product Coleopterans. *Insect Science. Application* 21(2) : 155-160.
- **Koroghli, K. 2018.** Activité insecticide des huiles essentielles de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) et de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) à l'égard du petit capucin des grains de blé *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera : Bostrychidae). Mémoire de master en sciences biologiques, UMMTO, 58p.
- **kouassi S. B.P., C. Kanko; L.R.N. Aboua; K. A. Bekon; A. I. Glitho; G. Koukoua; Y. T. N'guessan, 2004.** Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé », *C.R. Chimie* 7 1043-1046.
- **Krim, S. 2019.** Activité insecticide des huiles essentielles de sauge (*Salvia officinalis* L.) et de la menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.) à l'égard du petit capucin des grains

de blé *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrychidae). Mémoire de master en sciences agronomiques, UMMTO, 50p.

- **Lakhdar L. 2015.** Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles Marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* : étude in vitro. Faculté de médecine dentaire de Rabat, centre d'étude doctorale des sciences de la vie et de la santé. 183p.
- **Lamendin, H., 2004.** Huiles essentielles en diffusion atmosphérique.
- **Lardry, J.-M., & Haberkorn, V. (2007).** *L'aromathérapie et les huiles essentielles. Kinésithérapie, La Revue*, 7(61), 14–17.
- **Lepesme, P. 1944.** Les coléoptères des denrées alimentaires et les produits industriels entreposés. Ed. Paul le chevalier, Paris, 335p.
- **Longstaff, B. C. & Evans, D. E., 1983.** The demography of the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae): submodels of adult survival and fecundity. *Bull. em. Res.* 73 : 333-344.
- **Maatougui M. E. H., Bouznad Z. & Labdi M. 1996.** Chickpea in Algeria. In N.P., Saxena, M.C., Johansen C., Virmani S. M., and Harris H. (eds). A chapter from adaptation of chickpea in the west Asia and North Africa region. pp: 89-99.
- **Mcdonald, L.L., Guey, R.H. & Speir, R.D. 1970.** Preliminary Evaluation of New Candidate Materials as toxicants, Repellents and Attractants against Stored Product Insects. Marketing Research Report No. 882. Agricultural Research Service, U.S Department of Agriculture, Washington DC, U.S.A.
- **Molinié, A., Faucet, V., Castegnaro, M. & Pfohl-Leszkowicz, A. 2005.** Analysis of some breakfast cereals collected on the French market for their content in OTA, Citrinin and Fumonisin B1. Development of a new method for simultaneous extraction of OTA and Citrinin. *Food chemistry* 92, 391-400.
- **Multon J. L., 1982.** Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés ; céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Volume 1. Technique et Documentation (Lavoisier). Paris. pp.394-397.
- **Namane, D. & Mezani F. 2014.** Composition chimique de l'huile d'olive de différentes régions de Kabylie, étude de son activité insecticide à l'égard de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Mémoire de Master en Biologie. U.M.M.T.O. : 20 - 34.

- **Ndomo, A. F., Tapondjou, A. L., Tendonkeng, F. & Tchouanguép, F. M. 2009.** Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus*(Say) (Coleoptera; Bruchidae), *Tropicultura* 27 (3): 137-143.
- **Ngamo L.S.T. & Hance T., 2007.** Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicultura* 25 (4): 215-220.
- **Ozenda, P. 2000.** Organismes végétaux, 2.Végétaux supérieurs Tome 2. Paris. 516p.
- **Pannuti, L.E.R., Marchi, L.S. & Baldin, E.L.L. 2012.** Use of vegetable powders as. Alternative to control of *Callosobruchus maculatus*. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas. Vol. 38: 33-40. *Sitophilus zeamais* and *Tribolium confusum* du Val. Journal of Stored Products Research 41: 91- 102.
- **Pesson, P. et louveaux, J. 1984.** Pollinisation et production végétale, édition INRA, 663p.
- **Pomeranz, Y. (1988)** Chemical composition of kernel structures. *Wheat Chem. Technol.*, 2, 97–158.
- **Pretty, J. & Hine, R., 2005.** The pesticide detox: Towards a More Sustainable Agriculture. London, Earth scan, 293 p.
- **Raja N., Albert S., Ignacimuthu S., Dorn S., 2001.** Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna Unguiculata* (L) Walpers against *Callosobruchus Maculatus* F. (Coleoptera:Bruchidae) infestation. Journal of Stored Products Resarch, 37(2): 127-132.
- **Ravindran PN., Nirmal-Babu K. et Shylaja M. 2003.:** *Cinnamon and cassia : the genus Cinnamomum*. CRC press
- **Reed, C., 1992.** Development of storage techniques: A historical perspective. In Storage of Cereal Grains and Their Products. Edited by D. B, Sauer, St Paul, pp. 143-156.
- **Regnault-Roger, C. 2002.** De nouveaux phyto-insecticides pour le troisième illénaire? In Biopesticides d'origine végétale, ed. C. Regnault-Roger, B.J.R. Philogène,C. VincentParis: Lavoisier Tech & Doc, pp. 19-40.
- **Regnault-Roger, C., Philogène, B. J. R. & Vincent, C., 2002.** Biopesticides d'origines végétales. Tec & Doc Eds, Paris, 337 p.
- **Ritter M. et Reimer J. 2015.** Ufei - selectree : *Cinnamomum camphora* tree record In <https://selectree.calpoly.edu>

- **Rivière C., Nicolas J.-P., Caradec M.-L., Desirea O., Ahmed Hassan D., Rémy G., Delelis A. & Dupont F. 2005:** Importance de l'identification botanique dans la démarche ethnopharmacologique ; cas d'une bignoniaceae malgache, *Perichlaena richardii baill.* *Acta botanica gallica*, 152(3):377–388.
- **Roy, B., Amin, R., Uddin, M. N., Islam, A.T.M.S., Islam, M.J. & Hadler, B.C. 2005.** Leaf extracts of shyalmutra (*Blumea lactera* Dc.) as botanical insecticides against lesser grain borer and rice weevil. *Journal of Biological Sciences* 5(02) : 201-204.
- **Rozman, V., Kalinovic, I. & Korunic, Z. 2007.** Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *Journal of Stored Products Research* 43: 349–355.
- **Schuster, CL. & Smeda, R.J. 2007.** Management of *Amaranthus rudis* S. in glyphosate resistant corn (*Zea mays* L) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Crop Protection* 26 : 1436-1443.
- **Scotti G., 1978.** Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. AFNOR – I.T.F.C. 221p.
- **Shaaya, E., Ravid, U., Paster, N., Kostjukovsky, M., Menasherov, M., Plotkin, S. 1993.** Essential oils and their components as active fumigants against several species of stored product insects and fungi. *Acta Horticulturae* 344: 131–137.
- **Shi M., 2012.** Individual-based modeling of the efficacy of fumigation tactics to control lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*) in stored grain, *Journal of Stored Products Research* 51: 23-32.
- **Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M. & Zid, E.D., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT). Univ. Elmanar. Tunisie. 62 p.
- **Surget, A. & Barron, C. 2005.** Histologie du grain de blé. *Ind. des céréales* 145 : 3–7.
- **Tapondjou A L., Ndomo A F., TendonkengF.,Tchouangyep F M ., 2009,** Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera, Bruchidae). *Tropicultura*. Pp.137-143.

- **Taponjou, L.A., Adler, C., Bouda, H. & Fontem, D.A. 2002.** Efficacy of powder and essential oil from ambrosioides leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research* **38**: 395-402.
- **Treiner, J. 2000.** Extrait du Bulletin officiel n° 6 du 12 août 1999, France. 143p.
- **U.S. National Plant Germplasm System 2013.** : *Cinnamomum camphora* information from npgs, in <https://npgsweb.ars-grin.gov/>
- **Upadhyay, R.K et Ahmad, S. 2011.** Management Strategies for Control of Stored Grain Insect Pests in Farmer Stores and Public Ware Houses. *World Journal of Agricultural Sciences* 7(5): 527-549.
- **Wang, D., Collins, P.J., et Gao X. 2006.** Optimizing indoor phosphine fumigation of paddy rice bag-stacks under sheeting for control of resistant insects, *Journal of Stored Products Research* 42 (2): 207-217.
- **Woodard, P. 2010.** *Cinnamomum camphora* at turrumurra railway station, Australia. In <https://commons.wikimedia.org>