

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère De L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb- Blida 01



Faculté des Sciences de la Nature et de la vie

Département de Biologie

Mémoire De Fin d'Etudes

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master dans le Domaine SNV

Filière Sciences Biologiques

Option : Parasitologie

Thème :

Test biocide de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* contre *Tribolium castaneum* (Coleoptera, Tenebrionidae), ravageur secondaire de blé.

Soutenu le : 12, juillet 2021.

Présenté par :

- Mlle Berrazouane Rania.

- Mme Oukaci Yasmine.

Soutenu devant le jury composé de :

- | | | | |
|-------------------|------|-------|----------------|
| ▪ Mme Boulkour S. | MCB | USDB1 | Présidente. |
| ▪ Mme Zerkaoui A. | MAA | USDB1 | Examinatrice. |
| ▪ Mme Tail G. | Prof | USDB1 | Promotrice. |
| ▪ Mme Bachir K. | MAB | UMMTO | Co-Promotrice. |

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Avant tout, rendons grâce à Dieu le tout puissant pour nous avoir permis de réaliser ce modeste mémoire de master .

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide de notre promotrice Mme Tail et notre Co-promotrice Mme Bachir.

Nous les remercions vivement pour la qualité de leur encadrement et leur disponibilité durant notre préparation.

De plus, nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres de jury mesdames Boulkour et Zerkaoui pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre mémoire.

Nos remerciements vont également à Monsieur Rafik, responsable de laboratoire, ainsi qu'au directeur de l'unité de stockage du groupe Sim.

Sans oublier, mesdames Mansouri et Souad de la CCLS, Monsieur Youcef de la faculté de Biologie et enfin Madame Naziha ingénieure du laboratoire de parasitologie au niveau de l'université de Saad Dahleb.

Pour finir, nous tenons à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mon père Oukaci Samir et ma mère Bencherchali Mounie pour leur amour inestimable, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer tout au long de ma vie et mon chemin d'étude.

A mon marie Sidimoussa Ismail, la source de mon bonheur, pour son soutien, son encouragement et sa grande compréhension durant ces années d'étude.

A mes grand-mères Bencherchali Naziha et Sidimoussa Zakia, pour toute l'affection qu'elles m'ont donnée et pour leurs précieux encouragement.

A mes sœurs et mes frères Sarah, Chaima, Abou bakr, Omar et Toufik pour leur tendresse, leur complicité et leur présence.

A ma chère amie, sœur et binôme Rania.

A mes beaux parents et mes tantes et mes oncles de la famille Oukaci ainsi que de la famille Kara, spécialement, Meriem, Zazi, Fatiha, Papa Bedredine, Hassine et Djamel ainsi que ma belle sœur Amel et mes trois cousines Samira Lila et Imene dont je l'ai considère comme mes sœurs depuis mon enfance, pour leurs mots d'encouragement et leur gentillesse.

Je dédie ce mémoire également

A mes chères amies Asma, Chahinez, Chaima, Amira, Meriem et Louiza pour nos souvenirs inoubliables

À tous ceux qui pensent à moi et que je n'ai pas mentionné

Yasmine

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A la mémoire de mon père qui s'est sacrifié pour me voir réussir.

A ma mère qui ma soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A mes grand-mères, mes oncles et mes tantes, spécialement Lyes, Said, Omar, Habiba, Houria, Samou, Ismahane, Mounira, Fatiha, Bahia, Salima.

A mes deux frères Khalil et Mohammed.

A Yasmine, chère amie avant d'être binôme.

A mes cousines et cousins Noor, Yasmine, Dalia, Anis et Bakouch.

A mes amis(e) Rayan, feriel, Rania, Radia, Madina, Mounira, Meriem, Nesrine, Imene, Farah, Lyna, Farida, Naima, Sara, Seif et Latif pour nos souvenirs inoubliables. Que notre amitié dure à jamais.

À tous ceux qui pensent à moi et que je n'ai pas mentionné.

Rania

Liste des abréviations

AFNOR: Association Française de normalisation.

CCLS : Coopératives de Céréales et de Légumes Secs.

FAO: Food Agricultural Organization.

HE: Huile Essentielle.

ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages.

UCA : Unions des Coopératives Agricoles.

Liste des figures

Figure	Page
Figure 1 : Diverses espèces de blé	3
Figure 2 : Silos de stockage à Mouzaïa (1) les silos métalliques / (2) silo mécanique avec le rigoleur.....	5
Figure 3 : Distribution géographique des silos prospectés au Nord de l'Algérie.....	6
Figure 4 : <i>Tribolium castaneum</i> - (1) la Larve / (2) Vue ventrale d'un adulte / (3) Vue dorsale d'un adulte.....	8
Figure 5 : schéma du cycle vital du <i>Tribolium castaneum</i> H.....	10
Figure 6 : les dégâts causés par <i>Tribolium castaneum</i> : (1) et (2) observation à l'œil nu / (3) et (4) observation sous loupe binoculaire.....	12
Figure 7 :(1) Arbuste de la plante du Thym/ (2) la morphologie de la plante du Thym.....	17
Figure 8 : Elevage du <i>Tribolium</i>	21
Figure 9 : Schéma des étapes de l'hydrodistillation.....	22
Figure10 : Technique de dilutions en série.....	24
Figure 11 : Protocole de dilution en série.....	25
Figure12 : Schéma du protocole expérimentale du test biocide de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> vis-à-vis le <i>Tribolium castaneum</i>	27
Figure 13 : Courbes des taux des moyennes de la mortalité observée.....	32
Figure 14 : Corrélation entre les doses utilisés et la durée de traitement contre <i>Tribolium castaneum</i> (ACP/PAST).....	35

Liste des tableaux

Tableau	Page
Tableau I : Les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde.....	4
Tableau II : Principaux insectes déprédateurs des céréales stockées.....	7
Tableau III : Insectes les plus rencontrés sur les céréales stockées en Algérie.....	9
Tableau IV : Effet de la température sur les insectes.....	13
Tableau V : Doses utilisées dans le test de contact pour l'huile essentielle du <i>Thymus vulgaris</i>	23
Tableau VI : Les moyennes des mortalités observées en pourcentage	31
Tableau VII : DL50, DL70 et DL90 de la population traitée.....	33
Tableau IIX : Données économiques pour une culture de thym (6ans).....	41
Tableau IX : Coût des investissements pour l'extraction de l'HE de Thym.....	42

Table des matières

- Liste des abréviations
- Liste des figures
- Liste des tableaux
- Résumé
- Introduction générale1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les espèces de blé étudiées Blé tendre *Triticum aestivum*, blé tendre et le blé dur *Triticum durum*.

- I. Introduction3
- II. importance économique du blé 3
- III. Conditions et méthodes de stockage du blé en Algérie 4
- IV. les ennemis naturels de blé6

Chapitre 2 : Présentation du ravageur du blé *Tribolium castaneum* H Herbst (1797)

- I. Introduction8
- II. Description et distribution de *Tribolium castaneum* 8
- III. Classification du *Tribolium castaneum* 10
- IV. Biologie du *Tribolium castaneum*..... 10
- V. Modes de dissémination du *Tribolium castaneum*..... 11
- VI. Les dégâts causés par *Tribolium castaneum*..... 12

Chapitre 3 : Méthodes de lutte adaptées contre le *Tribolium castaneum* H

- I. Introduction 13
- II. Lutte préventive 13
- III. Lutte physique 14
- IV. Lutte chimique 14
- IV. a). Inconvénients de la lutte chimique..... 14

V. Lutte biologique.....	15
Chapitre 4 : La lutte biologique par l'utilisation de l'huile essentielle du thym <i>Thymus vulgaris</i> à l'égard du <i>Tribolium castaneum</i>	
I. Introduction	16
II. Généralités sur les huiles essentielles	16
III. Généralités sur l'huile essentielle de la plante du <i>Thymus vulgaris L</i>	16
III. a) La plante du <i>Thymus vulgaris L</i> , Origine et description	16
IV. Classification taxonomique de <i>Thymus vulgaris</i>	17
V. Composition chimique et activité biologique de <i>Thymus vulgaris</i>	17
Partie II : Partie Expérimentale	
II. Matériels et méthodes	19
II. A. Matériels	19
II. A. 1) Matériel non biologique	19
II. A. 2) Matériel biologique animal	19
II. A. 2). a) Identification de l'espèce de <i>Tribolium castaneum</i>	20
▪ L'élevage de masse de <i>T. castaneum</i>	20
II. A. 3) Matériel biologique végétal	21
▪ La plante du blé.....	21
▪ La plante du thym.....	21
II. B. Méthodes	22
II. B. 1). Méthode d'extraction de l'huile essentielle du <i>Thymus vulgaris</i>	22
II. B. 2) Activité insecticide de l'Huile essentielle du <i>Thymus vulgaris</i> vis-à-vis du <i>Tribolium castaneum</i>	23
II. B. 2). a). Préparation des doses de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> à appliquer dans le traitement biocide vis-à-vis du <i>Tribolium castaneum</i>	23
● Préparation des doses	23

II. B. 2). b). Test biocide de l'huile essentielle du <i>Thymus vulgaris</i> vis-à-vis du <i>Tribolium castaneum</i> par effet d'ingestion	25
II. B. 2). c). Evaluation de la mortalité des Adultes de <i>Tribolium castaneum</i>	28
II. B. 3). Méthodes d'exploitation des résultats	28
II. B. 3). a). Correction de la mortalité	28
II. B. 3). b). Calcul des doses létales	29
• Détermination des doses létales DL ₅₀ , DL ₇₀ et DL ₉₀	29
II. B. 3). c). Analyse statistique	29
III. Résultat et discussion	30
III. A). Résultat.....	30
III. A). 1). Activité insecticide de l'huile essentielle de <i>Thymus vulgaris</i> vis-à-vis du <i>Tribolium castaneum</i>	30
III.A). 1). a). Evaluation de la mortalité observée des adultes de <i>Tribolium</i> par effet d'ingestion	30
III.A). 1). b). Evaluation de la mortalité corrigée.....	30
III.A). 2). Calcul des doses létales.....	33
III.A). 3). L'analyse statistique (corrélation).....	34
III.B). Discussion générale	36
IV. Conclusion générale	39
IV. A) Perspectives futures.....	40
IV.A). 4). Aspect économique	40
IV.A). 4). a). La culture du thym	40
IV.A). 4). b). L'extraction de l'huile essentielle	41
IV. 4). c). Conclusion	42
V. Références bibliographique.....	43
VI. Annexes.....	47

Résumé

Le thym (*Thymus vulgaris*) est une plante largement utilisée dans la médecine traditionnelle. Cette étude est basée sur l'évaluation de l'activité insecticide de l'huile essentielle du *Thymus vulgaris* extraite par hydrodistillation vis-à-vis du *Tribolium castaneum*, ravageur secondaire de blé. L'activité insecticide de cette huile a été vérifiée par la réalisation d'un test biocide par ingestion sur les adultes du *Tribolium castaneum*, après avoir fixé 3 doses différentes de l'huile essentielle de thym à savoir, 125µl, 250µl et 500µl. Les résultats menés au laboratoire ont révélé que la mortalité a commencé à se manifester après 5 minutes à la dose 3 (500µl), pour atteindre un taux de mortalité de 100% à la dose 1 (125µl).Après120 heures suivant le traitement, comparativement aux témoins. Ces résultats montrent que l'huile essentielle de thym a une capacité insecticide élevée contre *Tribolium castaneum*.

Mots clés : Activité insecticide, blé, dose, hydrodistillation, ingestion, *Thymus vulgaris*, *Tribolium castaneum*.

Abstract

Thyme (*Thymus vulgaris*) is a herb that has been utilized in traditional medicine for thousands of years. This research is based on the insecticidal development of Thyme *Thymus vulgaris* essential oil extracted by hydrodistillation in relation to Tribolium Secondary wheat pest .The insecticidal activity of this oil was verified by conducting an oral biocidal test on adults of the *Tribolium castaneum*, after setting 3 different doses of thyme essential oil, namely, 125µl, 250µl and 500µl.

The results lead to the laboratory it is noted that the morality began to manifest after 5 minutes at dose 3 (500 µl) to reach a mortality rate of 100%.

When compared to controls after 120 hours of treatment, these findings reveal that thyme essential oil has increased insecticidal activity against *Tribolium castaneum*.

Key words: Insecticidal activity, Essential oil, Hydrodistillation, Oral, *Tribolium castaneum*, *Thymus vulgaris*, wheat.

ملخص :

الزعر *Thymus vulgaris* هو نبات كثير الاستخدام في الطب التقليدي .تقوم هذه الدراسة على تقييم نشاط المبيد للحشرات .

لقد تم التحقق من فعالية الزيت العطري المستخرج بالتقطير المائيللز عترضد المدمر الثانوي للقمح عن طريق إجراء اختبار

مبيد حيوي بواسطة تناول البالغين *Tribolium castaneum*

. بعد وضع 3 جرعات مختلفة من زيت الزعر العطري وهي 125 ميكرو لتر ، 250 ميكرو لتر و 500 ميكرو لتر

أظهرت النتائج التي أجريت في المختبر أن معدل الوفيات بدأ بالظهور بعد 5 دقائق بجرعة 3 (500 ميكرو لتر) ، ووصل معدل

الوفيات إلى 100٪ عند الجرعة الأولى (125 ميكرو لتر) ، بعد 120 ساعة بعد العلاج ، مقارنة بالشهود. تظهر هذه النتائج أن

زيت الزعر الاساسي له فعالية فائقة ضد *Tribolium castaneum*.

الكلمات المفتاحية: *Thymus vulgaris* ، *Tribolium castaneum*، الزعر ، التقطير المائي ،القمح، التناول ، الزيت الاساسية.

Introduction générale

Les produits céréaliers, notamment le blé sont des matières premières qui occupent à l'échelle mondiale une place stratégique importante. Ces produits constituent une majeure partie de la nutrition humaine et animale dans le monde (**Slama *et al.*, 2005**).

En Algérie, le blé revête une place économique et agricole considérable. Il contribue énormément aux apports caloriques et protéiques de la population (**Boulai *et al.*, 2007**). A cet effet, l'Algérie, face à la demande de sa population très consommatrice de cette denrée alimentaire, l'Algérie importe environ 5.5 millions de tonnes de blé (dur et tendre), représentant 60 % de la demande nationale, soit environ 40% de la demande de produits de blé dur est importée sous forme de semoule (**Kellou, 2008**).

Le problème auquel est confronté le blé, en post récolte, est l'apparition d'agents de détérioration (acariens, vertébrés, moisissures et insectes...) causant des dégâts qualitatives et quantitatives au niveau des stocks (**Pfohl-Leszkowicz, 1999**). D'après la **FAO (2012)**, les insectes qui représentent la majeure partie des ravageurs causant des pertes considérables, correspondent à dommages entre 35% et 44% de la production agricole mondiale.

Depuis des années, en raison de son efficacité, l'utilisation des pesticides chimiques pour lutter contre les insectes des denrées stockées est la méthode la plus adaptée (**Gilles, 1999**).

Cependant, l'emploi intensif et abusif de ces insecticides a provoqué une contamination de la chaîne alimentaire, l'apparition d'insectes résistants ainsi que des problèmes de pollution environnementaux. Ces problèmes ont abouti à la nécessité de trouver des alternatives plus efficaces, saines et respectueuse de l'environnement (**El Idrissi *et al.*, 2014**).

Le contrôle alternatif repose essentiellement sur l'adaptation de la lutte biologique en se basant sur l'utilisation des biocides biodégradables, extraite de plantes aromatiques sans effets indésirables et sans danger pour l'environnement (**Benkhellat & Mouhou, 2017**).

Les recherches menées par **Guèye *et al* (2011)** et **Kassimi *et al*, (2011)** ont montré que l'huile essentielle de thym possède des composant bioactifs à effet fortement insecticide en présentant une efficacité remarquable contre plusieurs insectes ravageurs des céréales.

Introduction générale

L'objectif de notre étude consiste à évaluer l'activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*, extraite par hydrodistillation, sur le coléoptère rouge de la farine *Tribolium castaneum*, ravageur secondaire du blé stocké, dans le but d'encourager l'adaptation de la lutte biologique, principalement, l'utilisation des bio pesticides.

Notre manuscrit est divisé en deux grandes parties :

- I. Une synthèse bibliographique contenant des données bibliographiques sur le Blé, le coléoptère rouge de la farine et sur la plante de thym, *Thymus vulgaris*.
- II. Une partie expérimentale présentant le matériel, la méthodologie de travail, les résultats et leur discussion. On finalise notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Partie I :
Synthèse
Bibliographique



Partie Bibliographique

Chapitre 1 : Généralités sur les espèces de blé étudiées Blé tendre *Triticum aestivum*, blé tendre et le blé dur *Triticum durum*.

I. Introduction

Blé est un terme générique qui désigne plusieurs céréales. Ce sont des plantes annuelles herbacées, monocotylédones appartenant au genre *Triticum* de la famille des graminées et cultivées dans la majorité des pays du monde. Le blé est considéré comme l'aliment de base dans plusieurs régions du monde (Feillet, 2000).

Il existe plusieurs espèces de blé (Fig.1). Actuellement, deux espèces dominent la production. Il s'agit du blé tendre *Triticum aestivum* et du blé dur *Triticum durum* (Annexe.1). La production du blé est facile car il s'adapte à des sols et des climats variés (ITCF, 2001). Cette facilité, accompagnée de l'apparition de résistance à de nombreuses maladies, ont permis de cultiver le blé dans de nombreux pays. Il existe des blés d'hiver et des blés de printemps, leurs périodes de plantation et de récoltes dans l'année sont différentes (Boutigny 2007).

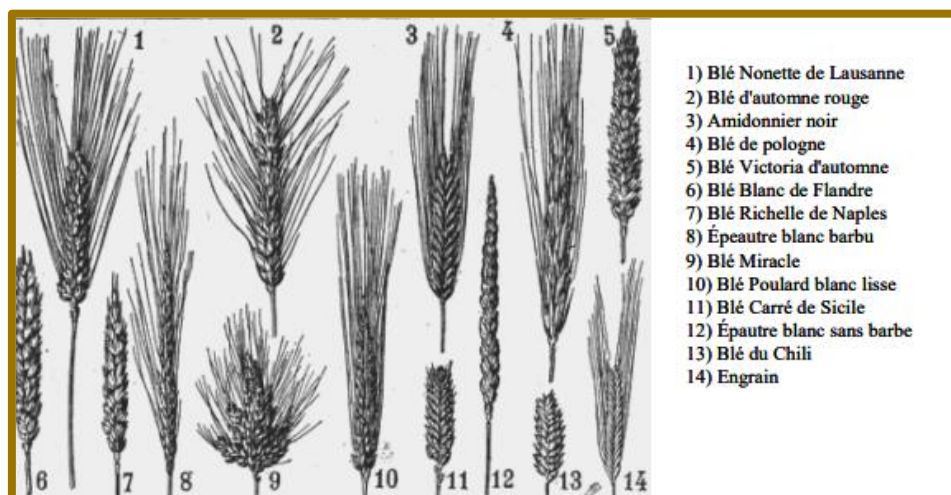


Figure 1 : Les diverses espèces de blé, (Boutigny 2007).

Comme toutes les céréales, le blé est une source principale de glucides (fournisseur d'énergie). Il est utilisé pour les fabrications boulangères et autres. Cette graine possède d'autres applications en industrie agroalimentaire (Rastoin et Ben abderrazik, 2014).

II. importance économique du blé

Le blé est une matière première stratégique qui joue, depuis l'origine des civilisations antiques, un rôle central pour le développement des sociétés et l'organisation des relations et du pouvoir. (CIC, 2010).

Partie Bibliographique

Cette noble graine est la première céréale cultivée au monde. Les superficies cultivées à travers les continents se mesurent en millions d'hectares et les récoltes en millions de tonnes (**Ait Kaki, 2008**).

La production mondiale de blé dur varie entre 22,3 millions de tonnes (En 1983-84 et 1988-89) et 34,4 millions de tonnes (1991-92), soit une moyenne de 27 millions de tonnes. Elle présente donc d'importantes fluctuations proches de 25% (**Ait Kaki, 2008**). Par contre, la production mondiale de blé (tout blés confondus : dur et tendre surtout) est de 660 millions de tonnes lors de la campagne 2009-2010 (**Tab I**), c'est-à-dire près de 100 kg par habitant par an, pour l'ensemble de la population mondiale. En volume de production en Afrique, le blé occupe une place stratégique parmi les céréales cultivées (**CIC, 2010**).

Triticum aestivum (blé tendre) et *Triticum durum* (blé dur), représentent les deux espèces de blé qui prédominent le marché des céréales, et à mesure qu'elles sont transformées en différents produits alimentaires, leur valeur économique augmente. Le blé dur (*Triticum durum*) demeure la base de l'alimentation en Algérie car c'est un composant essentiel de la production des pâtes, de la semoule, principalement du "Couscous", le plat algérien le plus populaire à l'échelle mondiale (**Rastoin et ben abderrazik, 2014**). Tandis que, le blé tendre (*Triticum aestivum*) est la base du pain, biscuiterie, pâtisserie...etc. (**Belaid, 2000**).

Tableau I: les dix grands premiers producteurs du blé dans le monde (106 t/an)

Rang	pays	Production 10 ⁶ t/an
1	China	115.18
2	India	80.80
3	United States of America	60.10
4	Russian Federation	41.51
5	France	40.79
6	Germany	24.11
7	Pakistan	23.31
8	Canada	23.16
9	Australia	22.13
10	Turkey	19.66

(FAO, 2006)

Actuellement, l'Algérie est considérée parmi les pays les plus grands importateurs de blé vu la demande croissante pour cette denrée. Selon les statistiques de **Chellali (2007)**, la consommation de blé en Algérie augmente d'une année à une autre.

III. Conditions et méthodes de stockage du blé en Algérie

Le blé est un produit durable, s'il est récolté et stocké dans les normes et dans de bonnes conditions. Le stockage des céréales est un processus temporaire et répétitif, durant le transit de la

Partie Bibliographique

céréale récoltée, des producteurs vers les transformateurs et enfin vers le consommateur (**Udoh et al, 2000**). Il permet de maintenir un approvisionnement constant en gardant aux maximums les qualités originales des grains et des graines, durant toute l'année. Par ailleurs, il est important de respecter les conditions idéales d'emballage vu que ce sont également des facteurs primordiaux pouvant contribuer à une bonne ou une mauvaise conservation des céréales (**Thamaga-Chitja et al., 2004**).

Selon **Udoh et al, (2000)**, la destination des produits récoltés, pour l'alimentation (humaine et animale), spéculation et semence, dépend d'un choix entre Trois techniques de stockage .Ainsi différentes structures sont identifiées:

- Stockage traditionnel ou domestique au niveau des fermes et des domiciles utilisant des plateformes, des champs ouverts et des greniers traditionnels.
- Stockage semi-moderne sous atmosphère renouvelée par l'utilisation des systèmes de ventilation et des cribs améliorés.
- Stockage moderne sous atmosphère confinée ou modifiée au niveau commercial utilisant des silos (stockages centralisés) qui peuvent être des silos métalliques (Fig.2) ou en béton, ou par l'utilisation des entrepôts (stockages commercial, administratif ou privé).



Figure 2: Silos de stockage (1) les silos métalliques / (2) silo métallique avec le rigleur (**Aoues, 2017**).

Aujourd'hui, les silos métalliques en tôle galvanisée sont la meilleure alternative pour le stockage de céréales en Afrique par rapport aux silos en béton. Grâce à leur polyvalence, leur facilité de montage, avantage de capacité et l'hygiène dans leur manipulation, ainsi que leur faible coût de stockage (**Aoues, 2017**).

Partie Bibliographique

En Algérie, les produits céréaliers, principalement le blé, est stocké dans des silos métalliques distribués dans le nord du pays (Aoues, 2017) (Fig.3).

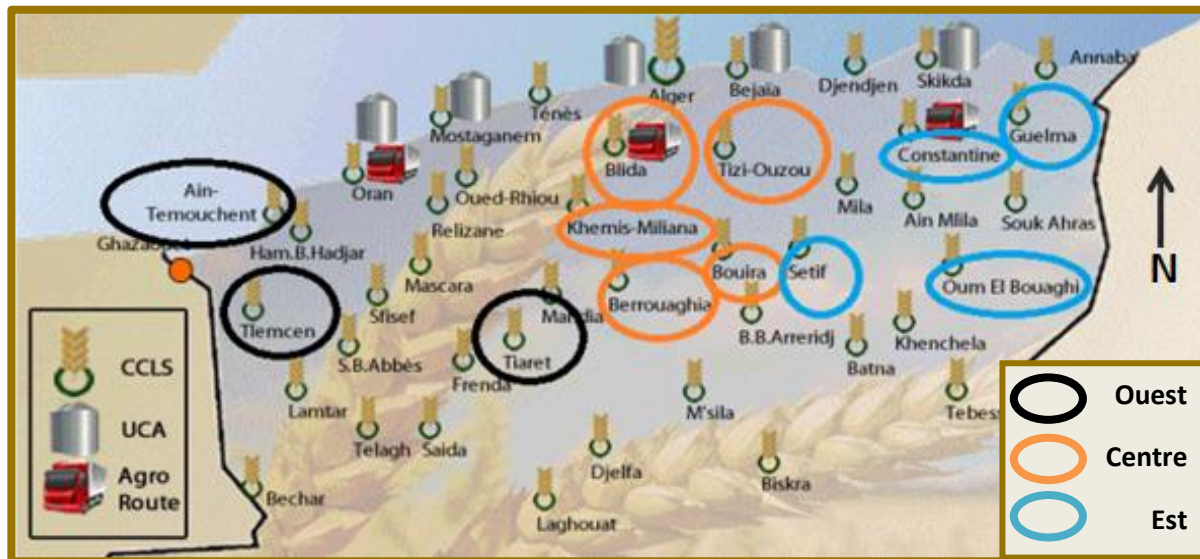


Figure 3: Distribution géographique des silos prospectés au Nord de l'Algérie (Aoues, 2017)

IV. les ennemis naturels du blé

Durant la période de stockage, les grains de blé stockés sont susceptibles de subir une dégradation ; cette détérioration est due à des agressions, d'origine biotique, représentées par des invasions des différents microorganismes à savoir les champignons et les moisissures, les bactéries et les virus ainsi que par l'attaque des rongeurs et des insectes (Chomchalow, 2003).

Les insectes en post-récolte constituent les ravageurs les plus économiquement importants, pouvant causer la perte totale d'un stock de blé. En quelques générations, ils sont représentés majoritairement par les Coléoptères, causant des dégâts considérables dans les lots stockés (Tab.II) (Pimentel *et al.*, 2007). Ces dommages se chiffrent à près de 475 millions de dollars par an (Dominguez et Marrero, 2010).

De plus, les lots de grains et graines livrés par les producteurs au silo contiennent toujours, en plus ou moins grandes quantités, des impuretés (graines cassées, brûlées, tachetées...etc.). C'est l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans les stocks et les lots arrivés (ITCF, 2001).

D'un point de vue économique et qualitatif, ces impuretés, principalement, la présence des graines cassées dû aux chocs pendant le stockage et les différentes opérations de transports mécaniques, altère les rendements meuniers du blé et pose également des problèmes durant la

Partie Bibliographique

conservation, parce qu'ils sont plus accessibles aux attaques des ravageurs secondaires (ITCF, 2001).

Tableau II: Principaux insectes déprédateurs des céréales stockées

Espèce	Nom commun	Céréales attaquées
Ordre des Coléoptères		
<i>Sitophilus oryzae</i> L.	Charançon du riz	Blé orge, riz, maïs, sorgho, mil, millet
<i>Sitophilus zeamais</i> M.	Charançon du maïs	Blé, maïs
<i>Sitophilus granarius</i> L.	Charançon du blé	Blé
<i>Rhizopertha dominica</i> F.	Capucin des grains	Millet, orge, riz maïs, sorgho
<i>Trogoderma granarium</i> (Everst)	Dermeste des grains	Millet, riz, blé
<i>Oryzaephilus surinamensis</i> L.	Silvain	Blé, maïs, millet
<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	Tribolium roux	Blé, maïs, riz, orge, sorgho, mil, millet
<i>Tribolium confusum</i> (Duval)	Tribolium sombre	Riz, millet
<i>Tenebroides mauritanicus</i>	Cadelle	Blé, maïs
<i>Cryptolestes ferrugineus</i> (Stephens)	petit cucujide plat	Blé
<i>Prostphanus truncatus</i> (Horn)	Grand capucin des grains	Maïs
<i>Carpophilus dimidiatus</i> F.	Carpophile des grains	Maïs
<i>Sitotroga cerealella</i> (Oliv.)	Alucite des grains	Maïs, blé
<i>A. leavigatus</i> (F.)	ténébrion du champignon	Maïs
<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panz)	petit ténébrion mat	Maïs
<i>Corcyra cephalonica</i> (Staint)	pyrale du riz	Riz
Ordre des Lépidoptères		
<i>Sitotroga cerealella</i> (olivier)	Alucite	orge, blé, riz, mil, sorgho, millet
<i>Ephestia cautella</i> walker.	Pyrale des amandes	millet, riz
<i>Ephestia kuehneli</i> (zaller)	Mite de la farine	maïs
<i>Plodia interpunctella</i>	Pyrale des fruits secs	riz, maïs, sorgho, mil
<i>Corcyra cephalonica</i> (staniton)	Mite du riz	blé, maïs, riz, sorgho, millet
<i>Pyralis farinalis</i> L.	Pyrale de la farine	Blé

(Balachowsky *et al.*, 1963)

Chapitre 2 : Présentation du ravageur du blé *Tribolium castaneum* Herbst (1797)

I. Introduction

Il existe plusieurs ravageurs de blé, responsables des dégradations des qualités et des quantités dans les stocks. Ces ravageurs peuvent être des ravageurs primaires tels que le charançon du blé *Sitophilus granarius* L (Balachowsky *et al.*, 1963), qui cause d'importantes pertes par la perforation des graines et entraîne l'invasion de nombreux ravageurs secondaires, essentiellement du *Tribolium castaneum* H (Cruz *et al.*, 2016).

II. Description et distribution de *Tribolium castaneum* H

Le *Tribolium castaneum* H., populairement appelé le petit ver de farine ou coléoptère rouge de la farine (Fig. 4) (Rees, 1996 ; Faroni et Sousa, 2006).

Le *Tribolium castaneum* est un insecte ravageur qui attaque les denrées stockées, plus particulièrement, le blé stocké (Trematerra & Sciarretta, 2002; DGLISH, 2006).



Figure 4 : *Tribolium castaneum* / vue dorsale d'un adulte (DGLISH, 2006).

D'après Bousquet (1990) et Christine (2001), ce ravageur passe par quatre stades au cours de son développement : œuf, larve, nymphe et adulte (Annexe.6).

Les œufs du *T. castaneum* sont cylindriques, blancs ou incolores, de très petite taille. Ils mesurent environ 0,5 mm de long. Ils sont collants, ce qui les rend couverts de farine et ainsi se fixent aux contenants.

Les larves sont des vers cylindriques minces et segmentées, couvertes de poils fins. Possédant une couleur pâle, blanche jaunâtre. Leur taille est d'environ 6mm de long. La tête est brun pâle et le dernier segment de l'abdomen a deux structures pointues et retournées de couleur

Partie Bibliographique

foncée. Les nymphes sont dépourvues de cocon et d'une couleur blanche jaunâtre, devenant brune plus tard.

Le *Tribolium* adulte mesure entre 3 et 4 mm de long avec un corps aplati, de couleur uniformément brune rougeâtre aux cotés arrondis. La tête et la partie supérieure du thorax sont couvertes de piqûres minuscules et les élytres (ailes antérieurs) sont striés sur leur longueur. Les yeux sont de couleur noir rougeâtre. Et les antennes s'agrandies aux pointes (capitées) avec les trois derniers segments plus larges que les segments précédents. (**Bousquet 1990**).

Il est possible de confondre le coléoptère rouge de la farine (*Tribolium castaneum* H) avec le «coléoptère confus de la farine» (*Tribolium confusum* D) à cause de la grande similitude morphologique qu'ils présentent (**Pereira & Almeida, 2001**). Il est très difficile de distinguer les stades du développement des deux espèces surtout durant les stades larvaires. La séparation se fait essentiellement par les différences dans leurs antennes et leurs structures de tête ainsi que la couleur du corps, durant le stade adulte (**Mason, 2003**).

De même, le sexage du *Tribolium* peut être effectué aux stades adultes grâce à la présence d'un dimorphisme sexuel au niveau des pattes prothoraciques, par la présence des glandes, ainsi que la présence d'un tubercule pilifère arrondi à la base du fémur antérieur chez le mâle qui est absent chez la femelle (**Delobel et Tran, 1993**). Au stade nymphal, les organes reproducteurs sont visibles de l'extérieur, ce qui rend les pupes femelle facilement distinguées par les extrémités postérieures des organes génitaux, qui sont absents chez les mâles. (**McKay et al., 2017**)

Les recherches menées par **Rees (1996)**, **Faroni et Sousa (2006)** ont affirmé que le *Tribolium castaneum* représente l'insecte de stocks le plus ubiquiste (cosmopolite), présent dans le monde entier, notamment, dans la majorité des pays tropicaux.

En Algérie, ce ravageur occupe une place stratégique parmi les insectes dévastateurs les plus rencontrés dans les stocks des céréales dans plusieurs wilaya (**Mebarkia et al., 2001**) (Tab. III).

Tableau III: insectes les plus rencontrés sur les céréales stockées en Algérie

Nom scientifique	Céréale attaquée	Famille	Ordre
<i>Sitophilus granarius</i> L	Maïs, blé dur et tendre	Curculionidae	Coleoptera
<i>Sitophilus oryzae</i> L	blé dur, blé tendre	Curculionidae	Coleoptera
<i>Tribolium castaneum</i> H	blé dur, blé tendre	Tenebrionidae	Coleoptera
<i>Tribolium confusum</i> D	blé dur, blé tendre	Tenebrionidae	Coleoptera
<i>Cryptolestes ferrugineus</i> S	blé dur, blé tendre	Cucujidae	Coleoptera

(**Mebarkia et al., 2001**)

III. Classification du *Tribolium castaneum*

La position taxonomique du *T. Castaneum* est présentée comme suite :

- Règne : Animaux
- Embranchement : Arthropodes
- Sous Embranchement : Antennates
- Classe : Insectes
- Ordre : Coléoptère
- Famille : Tenebrionidae
- Genre : Tribolium
- Espèce : *Tribolium castaneum* H

Le *Tribolium castaneum* appartient à l'embranchement des Arthropodes, à la classe des insectes, à l'ordre des Coléoptères et à la famille des Tenebrionidae (**Herbest, 1797**).

IV. Biologie du *Tribolium castaneum*

Suivant les conditions abiotiques, la longévité de l'insecte est de 2 à 8 mois, pouvant se prolonger jusqu'à atteindre 3 ans dans des conditions adéquates, à savoir : entre 30° et 40°C de températures et entre 50 et 80% d'humidité relative (**Rees., 2004**).

Dans les conditions optimales, les femelles, au cours de leur durée de vie adulte, pondent entre 500 et 800 œufs ou plus (**Rees., 2004**), avec environ une dizaine d'œufs, comme proportion quotidienne, qui éclosent au bout de 3 à 5 jours. Les larves libérées circulent en toute liberté dans les grains infestés et passent par 5 à 11 mues durant 2 à 3 semaines. A la fin du dernier stade larvaire, les larves s'immobilisent, cessent de se nourrir et entrent en nymphose. L'adulte émerge de la nymphe dans le sixième jour de sa formation (Fig.5) (**Delobel et Tran., 1993**).

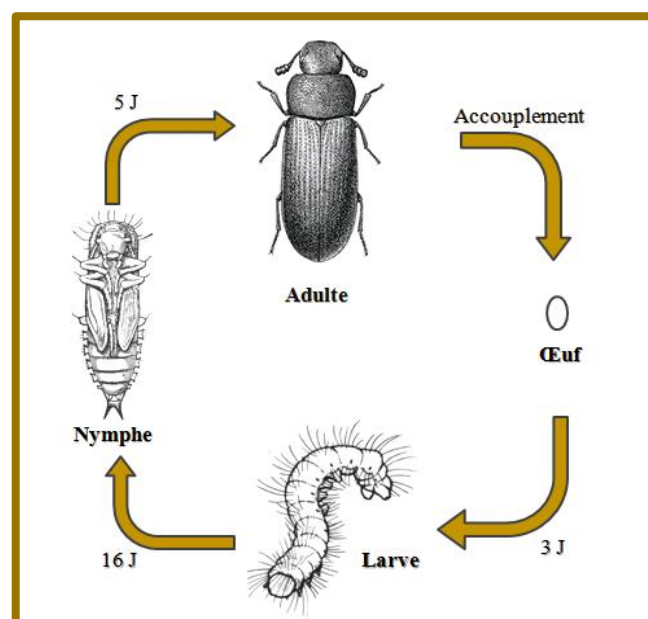


Figure 5: Schéma du cycle vital du *Tribolium castaneum* H (**Delobel et Tran., 1993 ; Modifiée**)

De plus, de nombreux insectes femelles possèdent une capacité de s'accoupler avec plusieurs mâles durant une même période de fertilité, en dépit des dépenses d'énergie et du temps, ceci augmente le nombre de générations en cinq générations par an. Conséquemment, le *Tribolium* est une espèce très prolifique et sa population peut être multipliée par 60 en vingt-huit jours (**Pai., 2003**).

En d'autres termes, la durée minimale du cycle est notée en 20 jours seulement. Cette dernière est influencée fortement par les conditions du climat (température et humidité), ainsi que par les conditions de stockage (mesures de prévention) et l'état de la céréale stockée (présence ou absence de brisures) (**Seck et al., 1992**).

V. Modes de dissémination du *Tribolium castaneum*

Grâce à sa mobilité excessive, le *T. castaneum* possède une grande compétence dans la dispersion et la dissémination d'un stock à un autre (**Rees., 2004**).

Le *Tribolium* est un insecte qui se déplace rapidement lorsqu'il est dérangé ou perturbé, l'adulte est un très bon voilier, pouvant voler après 48h de son émergence. Son vol devient primordial quand l'alimentation est rare ou détériorée (**Campbell et Arbogast, 2004**). Il se déplace par temps chaud et calme autour des installations alimentaires et avec une distance de dispersion documentée d'au moins 1,6 km (**Perez-Mendoza, 2007**). Le *Tribolium* fuit à partir des stocks infestés à la recherche de nouvelles sources alimentaires par son succès à immigrer vers de nouvelles installations alimentaires (**Mahroof et al., 2010**), permettant leur contamination ainsi que le développement larvaire. En effet, la capacité de dispersion de ce redoutable ravageur est mesurée par la capacité de se déplacer vers une parcelle de ressources éloignée en faveur de son comportement locomoteur développé (**Morrison et al., 2018**).

Le risque de dissémination du coléoptère rouge de la farine est toujours présent, à cause de l'abondance d'insectes à l'extérieur des installations alimentaires, des refuges naturels et des accumulations de nourriture présentes dans et autour des structures anthropiques (**Dowdyet McGaughey., 1998**).

De plus, le transport des produits infestés par des insectes d'une installation à une autre, accompagné de la demande croissante des produits à faible teneur en insecticide par les consommateurs peuvent encore compliquer les choses en engageant l'infestation et la contamination des autres silos (**Campbell et Arthur., 2007**).

De même, et dans certains cas, les moyens de lutte qui peuvent participer, de manière indirecte, à la contamination des stocks, tel que le transilage qui contribue à la contamination des silos sains par l'introduction des lots déjà infestés (Morrison *et al.*, 2018).

VI. Les dégâts causés par *Tribolium castaneum*

Les adultes et les formes immatures (les larves) de ce coléoptère, se nourrissent de graines pré-fissurés, cassés ou précédemment endommagés par les ravageurs primaires (Fig.6). Il peut être présent en grand nombre dans le grain infesté, mais sans attaquer le grain sain ou intact (Cruz *et al.*, 2016).

Néanmoins, selon White (1982), pour certaines cultures, des rapports dans la littérature décrivent la capacité de cet insecte à coexister même dans les grains intacts. Ceci dépend du degré de résistance de la surface de la graine.

Le *T. castaneum* fait partie des insectes les plus nuisibles pour les graines, c'est un insecte polyphage qui peut causer des pertes économiques importantes. En raison de cette capacité, ce ravageur est responsable des dommages quantitatifs ainsi qu'une chute conséquente des qualités agronomiques et organoleptiques des grains du blé stocké, en les vidant de l'intérieur (Annexe.2) (Venkatrao *et al.*, 1958). Dans des conditions favorables (la température et l'humidité élevées), ces dommages économiques sont représentés principalement par des pertes considérables de volume, de masse et de la qualité des graines et par conséquents, de la valeur des lots du blé stockés (Caneppele *et al.* 2003). (Annexe.8).



Figure 6: les dégâts causés par *Tribolium castaneum* (McKay *et al.*, 2017).

Aidés par leur grande capacité de voler, les adultes du *T. castaneum* sont attirés par les grains à forte proportion en humidité et peuvent donner une teinte grise aux grains qu'ils infestent (McKay *et al.*, 2017). Les lésions infligées par cet insecte peuvent évoluer vers des galeries et même des blessures capables de modifier la forme originale de la graine. Par ailleurs, ils dégagent une forte odeur désagréable et leur présence favorise la croissance de moisissures dans le grain (Pires., 2017).

Partie Bibliographique

Chapitre 3 : Méthodes de lutte adaptées contre le *Tribolium castaneum*

I. Introduction

L'étape de stockage nécessite de faire appel à plusieurs techniques de protection qui assureraient la qualité durable des grains au cours du stockage (Ames, 2013).

II. Lutte préventive :

La clé des programmes de lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) pour les installations alimentaires et les produits stockés à base de céréales est la prévention (Phillips et Throne 2010).

Avant la mise en stock des céréales, il est indispensable de nettoyer correctement les silos par le balayage, le brossage des murs et le comblement des fissures car les locaux de stockage doivent être propres et parfaitement dégagés (Bullen, 2007).

Les mesures de préventions et de protections des locaux de stockage contre les infestations, passent par plusieurs procédés (Ames, 2013 ; Amari, 2014) :

- Assainissement du milieu interne du système de stockage ainsi que ses alentours par l'élimination des insectes persistants d'une part. D'autre part, la protection de toute source de contamination externe.
- Installation d'un système de refroidissement et de séchage des grains par aération. A fin baisser la température (Tab. IV) et diminuer le taux d'humidité des silos remplis de grains.
- Inspection régulière des silos remplis de grains entreposés par la surveillance fréquente.
- Utilisation des emballages résistants comme les sacs en polyéthylène doublé en coton que les insectes sont incapable de percer.

Tableau IV: Effet de la température sur les insectes

	T° (°C)	Effets
Létale	45 à 62	Mort en moins d'1 jour
	35 à 45	Diminution des populations
Suboptimale	32 à 35	Ralentissement du développement des populations
Optimale	25 à 32	Vitesse de développement maximale
Suboptimale	13 à 25	Diminution des populations
Létale	1 à 13	Mort en quelques semaines
	-25 à 1	Mort en moins d'1 h

(Fields,2006)

Partie Bibliographique

Sous l'objectif de mettre sur le marché des céréales conformes et sans insectes, des mesures correctives sont adaptées en Algérie, principalement, le transilage qui désigne une opération effectuée à l'aide des logiciels informatiques de programmation mécanique (des automates) (Annexe 6), consistant à faire passer les grains en vrac d'un silo plein à un silo vide pour diminuer la température et pour maintenir le taux relatif d'humidité sécuritaire du grain (< à 15%).

III. Lutte physique

Les procédés de la lutte physique en post-récolte sont adaptés aux différents processus de stockage. Ils consistent à la manipulation de l'environnement physique par l'augmentation des températures jusqu'à des degrés létales de l'utilisation du choc thermique et des radiations (**Vincent et al., 2000**).

IV. Lutte chimique

Plusieurs composants chimiques ont été utilisés, en premier lieu pour lutter contre le *Tribolium* rouge de la farine à savoir : les organophosphorés et les pyréthrinoïdes de synthèse en adaptant différentes techniques, dont la plus connue est la fumigation, qui réside à l'exposition des céréales aux produits chimiques sous forme de gaz ou de vapeur (**Huang et Subramanyam, 2005**).

Les insecticides de synthèse restent le moyen le plus efficace et le plus accessible pour la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées (**Abramson et al., 2001**). Il existe des formulations d'insecticides qui permettent un traitement durable des céréales (Pouvant aller jusqu'à une année) contre les insectes au moment de l'entreposage. Ces formulations peuvent être pulvérisées sur les grains ou mélangées à ces derniers sous forme de poudre mouillable composée de farine de blé traitée (**Huang et Subramanyam, 2005**). Les insecticides chimiques les plus adaptées dans les coopératives de stockage des céréales en Algérie sont des insecticides à base de Pirimiphos-Méthyl (Annexe.3) qui représentent une formulation très polyvalente, adaptée à une utilisation en pulvérisation spatiale d'insecticide à effet rémanent sur la trémie (Annexe.4) pour lutter contre un large éventail d'insectes nuisibles à la santé publique (**Mebarkia et al., 2001**).

IV. a). Inconvénients de la lutte chimique

Les produits à base chimique ayant une grande efficacité contre les ravageurs de stocks, possèdent également des impacts négatifs sur les organismes utiles, par l'accumulation de leurs résidus dans l'environnement. De plus, ces produits représentent un danger sur la santé humaine et animale accompagnée du manque de respect de leurs temps de rémanence (**ITCF, 2001**).

Partie Bibliographique

La lutte chimique, repose principalement sur l'utilisation de pesticides chimiques qui, malheureusement, perdent de leur efficacité face à des ravageurs qui développent de plus de plus de résistance à leur rencontre, par l'effet de leur utilisation excessive et répétée (**El Idrissi *et al.*, 2014**).

Ainsi, cette lutte devient inefficace, onéreuse et surtout dangereuse pour l'homme, ses produits agricoles et son environnement (**El Idrissi *et al.*, 2014**).

V. Lutte biologique

Face aux problèmes de la résistance et de la nocivité des insecticides synthétiques et malgré leurs succès enregistrés, il est nécessaire de trouver des alternatives plus efficaces et plus saines basées sur l'adaptation de la lutte biologique (**Regnault-Roger, 2005 ; Regnault-Roger, 2008**).

A l'heure actuelle, la protection de l'environnement s'impose en plus comme une préoccupation mondiale majeure. Dans cet objectif, la solution est d'aborder une lutte biologique appropriée (**Regnault-Roger, 2005 ; Regnault-Roger, 2008**).

La lutte biologique désigne toute méthode de lutte avec un intérêt de maintenir l'organisme nuisible au dessous du seuil de nuisibilité, par l'utilisation des organismes vivants ou des produits naturels en évitant les produits chimiques (**Tia, 2013**).

Chapitre 4 : La lutte biologique par l'utilisation de l'huile essentielle du thym *Thymus vulgaris* à l'égard du *Tribolium castaneum*

I. Introduction

Actuellement, la lutte biologique met en évidence l'importance du développement des produits phytosanitaires. Différentes méthodes basées sur l'emploi de bio-pesticides, en particulier l'utilisation des huiles essentielles (HE) (Seri-Kouassi, 2004). La Pharmacopée européenne définit l'huile essentielle (HE) comme un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie (Ainane *et al.*, 2018).

II. Généralités sur les huiles essentielles

D'après Seri-Kouassi, (2004), les HE sont définies comme l'essence distillée, étant la sécrétion naturelle élaborée au sein des organes producteurs des plantes aromatiques. Ce sont des métabolites secondaires produits par les plantes et peuvent être adaptés comme un moyen de lutte biologique contre les différents ravageurs phytophages (Swisseo, 2005).

De nombreux biologistes (Regnault-Roger, 2005 ; Aissata, 2009 ; et Ainane *et al.*, 2018), qui sont à la recherche des bio-insecticides efficaces, peu rémanents, respectueux de la santé humaine, animale et de l'environnement, se sont penchés sur l'utilisation des HE des plantes aromatiques présentant des propriétés insecticides sur les insectes céréaliers.

En parallèle, il a été démontré que les HE de *Ocimum basilicum*, *Ocimum gratissimum* et *Cymbopogon citractus* possèdent une activité insecticide remarquable sur le *Tribolium castaneum* (Aissata, 2009).

III. Généralités sur l'huile essentielle de la plante du *Thymus vulgaris* L

III. a) La plante du *Thymus vulgaris* L, Origine et description

Thymus vulgaris, communément appelé "Thym" (Fig.7), est une espèce de plante épicée toujours verte de la famille des Lamiacées originaire des régions méditerranéennes. En effet, le bassin méditerranéen est considéré comme étant le berceau du genre *Thymus*, où on trouve plus de 110 espèces différentes de ce genre (Nickavar *et al.*, 2005).

Thymus vulgaris est une des plantes aromatiques les plus populaires utilisées dans le monde. A ce titre, divers travaux ont visé à étudier la composition chimique et les propriétés biologiques de l'HE de *T. vulgaris* (Assouad&Valdeyron, 2014).

Partie Bibliographique

Cette fameuse plante a été adaptée à de nombreux climats différents à travers le monde. C'est un arbuste buissonnant à base ligneuse, de petite taille (10 à 40 cm de haut) avec de petites feuilles ovales gris-vert très aromatiques contenant de nombreuses petites glandes avec des grappes de petites fleurs généralement violettes (Assouad&Valdeyron, 2014).

Thymus (*Thym*), un terme dérivé du grec (thumos) qui signifie parfum ou plante odoriférante était considéré comme un symbole de force chez les romains. Ce genre comprend environ 400 espèces, dont plusieurs sont largement employé en médecine traditionnelle, car elle a été dirigée dans le traitement de différentes maladies (Goetz et Ghédira, 2012).

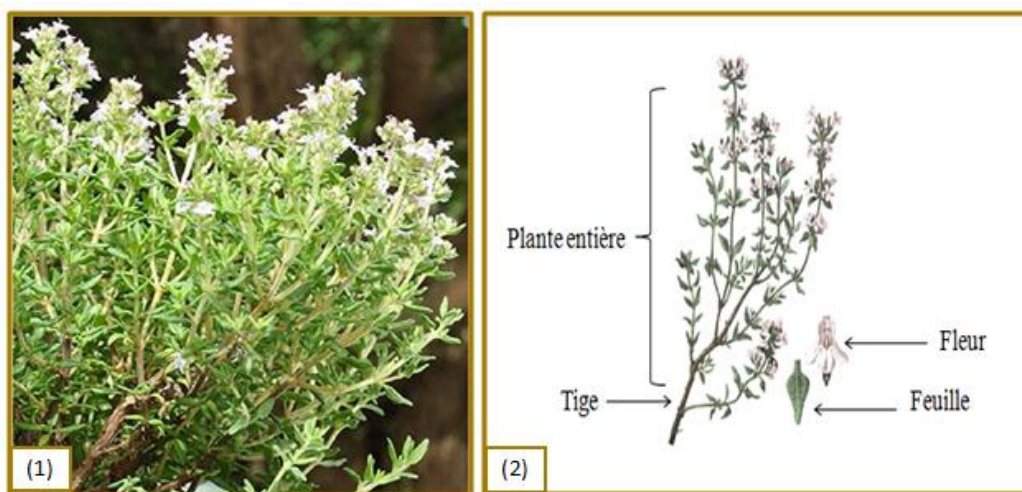


Figure 7: (1) Arbuste de la plante du Thym/ (2) la morphologie de la plante du Thym

(Assouad &Valdeyron, 2014)

IV. Classification taxonomique de *Thymus vulgaris*

D'après Goetz et Ghédira(2012), le thymus est une espèce qui appartient à :

- Règne : Plantae
- Embranchement : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Genre : *Thymus*
- Espèce : *Thymus vulgaris* L

V. Composition chimique et activité biologique de *Thymus vulgaris*

Les principaux constituants de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* sont deux composés phénoliques, le thymol (2-isopropyl-5-méthylphénol) et son isomère de conformation, le carvacrol (5-isopropyl-2-méthylphénol). D'autres composants de l'huile essentielle sont l'éther méthylique de thymol, le cinéol, le cymène, le -pinène et le bornéol (Nikolic *et al.*, 2014).

Partie Bibliographique

La composition chimique de *T. vulgaris* montre des variations, six chémotypes dont les plus connus par leur effet biocide étant principalement rapportés, à savoir : le thymol le géraniol, et le gamma -terpinéol. La composition chimique des HE dépend d'un certain nombre de facteurs (l'environnement, la région de croissance et les pratiques de culture) (**Khazim Al-Asmari et al., 2017**).

Cette fameuse plante contient du thymol, du p- cymène, du carvacrol et du -terpiène comme composants principaux, qui présentent de très fortes activités ethno-médicinales (**Khazim Al-Asmari et al., 2017**).

En raison de ses propriétés, l'HE du *T. vulgaris* est considérée comme un agent stimulant, antiseptique, sédatif, antispasmodique, antimicrobien, antioxydant, anti-inflammatoire, antiviral, carminatif, expectorant, diaphorétique et diurétique, avec des activités antifongiques prouvées sur certains agents pathogènes humains (**Razzaghi-Abyaneh et Rai, 2013**).

Partie II :

Partie

Expérimentale



Matériels et méthodes

L'objectif de notre étude consiste à évaluer l'activité insecticide de l'HE de *Thymus vulgaris* extraite par hydrodistillation vis-à-vis de *Tribolium castaneum* au laboratoire.

- **Lieu de stage**

Une partie de notre stage pratique a été effectuée au niveau du CCLS à Blida - Sidi Abdelkader ainsi qu'au niveau de l'unité de stockage du groupe Sim à Blida – Mouzaïa.

Notre expérimentation a été réalisée au niveau de la "Station expérimentale" de la faculté des Sciences de la nature et de la vie, Université de – Saad Dahleb – Blida 1, Algérie. Et la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université de Ziane Achour de Djelfa, Algérie.

- **Période de stage**

La totalité de notre stage pratique a duré environ trois mois, du 10 Mars 2021 jusqu'à 5 Juin 2021.

II. Matériels et méthodes

II. A. Matériels

II. A. 1) Matériel non biologique (Annexe.5)

II. A. 2) Matériel biologique animal

Notre matériel entomologique est constitué d'individus du *Tribolium castaneum*, dans des différents stades de leur développement.

À partir de deux stations différentes de CCLS à Blida (Blida et Affroun) et de l'unité de stockage du groupe Sim à Blida – Mozaïa, nous avons prélevé 3 insectes différents.

Notre travail a pour intérêt de mettre en évidence l'espèce de *Tribolium castaneum*.

II. A. 2). a) Identification de l'espèce de *Tribolium castaneum*

L'identification de l'espèce des insectes récupérés a été déterminée à partir des critères d'identification du *Tribolium castaneum*, à savoir, l'absence du rostre et des pièces buccales broyeuses qui sont présents chez les adultes du charançon du blé *Sitophilus granarius*, et la forme capitée des antennes accompagnée de la couleur rougeâtre du corps représentent les différences morphologiques entre le *T. castaneum* et le *T. confusum* (Mason, 2003).

Afin d'avoir un nombre d'individus suffisant pour l'expérimentation, nous avons réalisé un élevage de masse avec les grains de blé, en suivant le protocole adapté par Hassani *et al.*, (2017).

■ L'élevage de masse de *T. castaneum* (Hassani et al, 2017)

Le *Tribolium castaneum* est un coléoptère non exigeant nécessitant peu d'entretien pour coexister (Rees., 2004).

L'élevage de masse est effectué dans des bocaux en verre (Fig.8), dans lesquels nous avons mis une quantité de 100g de farine de blé tendre avec 100g de graines de blé perforées pour garantir l'alimentation des individus. Afin d'assurer l'absence de moisissures, nous avons placé les bocaux au congélateur pendant au moins 24 h puis quelques heures à température ambiante, environ 27°C.

Nous avons ajouté un nombre suffisant d'insectes de *Tribolium castaneum*, de sexe et âge indéterminé, à l'intérieur des bocaux qui doivent être bien fermés avec un couvercle en compresse, maintenu par un élastique, puis placés dans une chambre de culture à température ambiante (27°C) et une humidité relative, entre 60% et 80%

Après la multiplication du nombre d'individus et l'apparition des nouveaux adultes de *Tribolium* (environs deux à trois semaine d'infestation), ces adultes sont utilisés pour le test (Annexe.9).



Figure 8: Elevage du *Tribolium* (Originale, 2021)

II. A. 3) Matériel biologique végétal

- La plante du blé

Triticum aestivum (blé tendre) et *Triticum durum* (blé dur) représentent les deux espèces de blé les plus attaquées par le *Tribolium castaneum*.

Dans le cadre de notre expérimentation, nous avons eu besoin de grains de blé déjà perforés ou piqués par les ravageurs primaires, pour assurer l'alimentation des individus.

- La plante du thym

Pour la réalisation de notre étude, nous avons testé la plante à propriétés aromatiques et pharmacologique "*Thymus vulgaris*" de la Famille des Lamiacées, Le Thym.

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* a été fournie par Dr. BACHIR K après un échantillonnage dans la forêt de Djellal à Djelfa son extraction a été réalisée par hydrodistillation au laboratoire des PFE de la faculté des sciences de la nature et de la vie à l'Université de Ziane Achour de Djelfa.

II. B. Méthodes

II. B. 1).Méthode d'extraction de l'huile essentielle du *Thymus vulgaris*

Pour l'extraction de l'HE de thym, la méthode d'extraction la plus adaptée est la méthode d'hydrodistillation. Cette technique consiste à immerger la matière première (quantité sèche et écrasée de la plante du thym) dans un bain d'eau et l'ensemble est porté à ébullition (Annexe.12).Ainsi, le contact direct des constituants de l'HE avec l'eau provoque des réactions chimiques menant à des modifications dans la composition finale de l'extrait (HE) (Boukhatem *et al.*, 2019).

L'hydrodistillation, comprend quatre étapes, pendant lesquelles la matière première subit des changements dans sa composition pour avoir l'HE comme un produit final. (Fig.9)

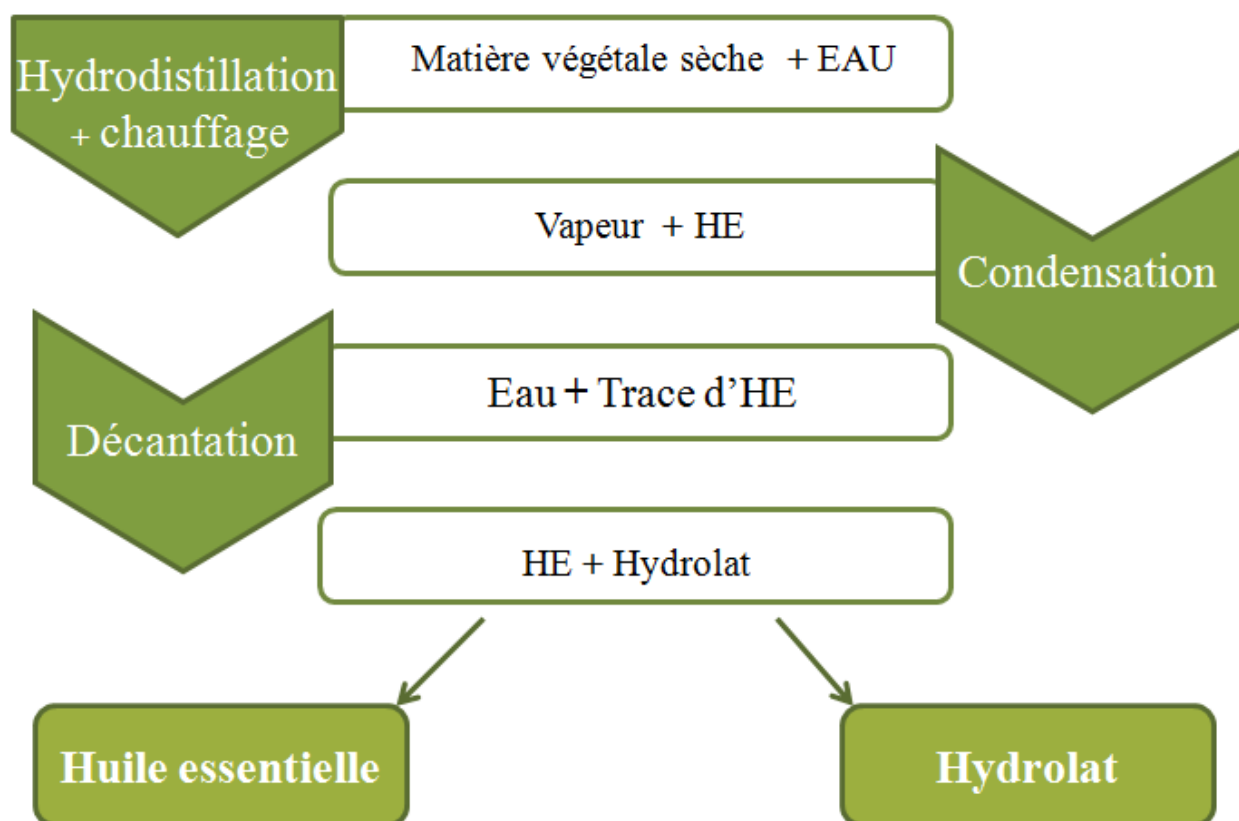


Figure 9:Schéma des étapes de l'hydrodistillation

(Boukhatem *et al.*, 2019, Modifié)

II. B. 2) Activité insecticide de l'Huile essentielle du *Thymus vulgaris* vis-à-vis du *Tribolium castaneum*

II. B. 2). a). Préparation des doses de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* à appliquer dans le traitement biocide vis-à-vis du *Tribolium castaneum*

Le test de toxicité du *Thymus vulgaris* sur *Tribolium castaneum* consiste à étudier l'effet de l'HE sur la mortalité des adultes du Tribolium.

Le traitement par contact a été effectué après avoir retenu trois doses de l'HE, fixées après plusieurs essais réparties de la plus faible jusqu'à la plus forte, employées comme traitement (Tab.V).

Tableau V : Doses utilisées dans le test de contact pour l'huile essentielle de *Thymus vulgaris*

Doses	D1	D2	D3
Volume (µl)	125µl	250µl	500µl

- **Préparation des doses**

L'huile essentielle qui résulte de l'hydrodistillation est un produit hautement concentré qui ne peut pas être appliqué dans cet état, c'est-à-dire, pour la préparation des trois doses, il a été question de réaliser une dilution de notre huile essentielle. Cette opération représente l'étape initiale du protocole pour la réalisation du test biocide.

Pour la dilution de l'HE, Nous avons appliqué la technique de dilutions en séries sur les trois doses (Fig.10) (Ben-David, 2014).

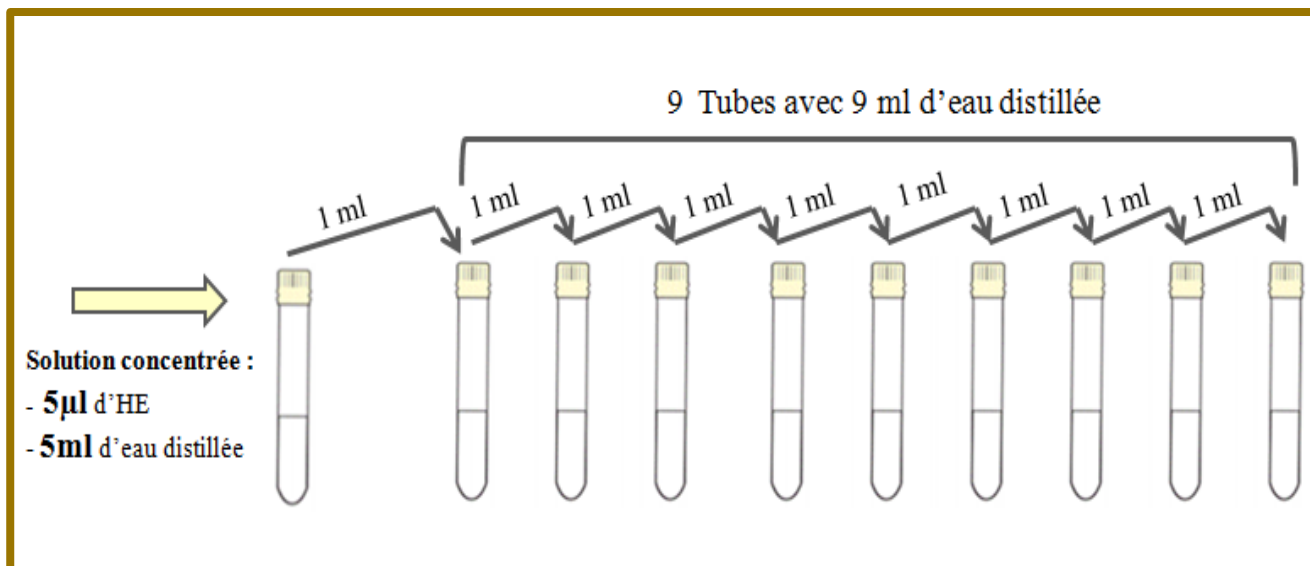


Figure 1 : Technique de dilutions en série (Ben-David, 2014 ; Modifié).

C'est une réduction systématique de concentration par des dilutions successives, suivant un facteur de dilution déterminé, d'une solution initiale (solution mère) en volumes fixes (10 ml) d'un diluant liquide (eau distillée) ce qui facilite la réduction logarithmique de la concentration, la nouvelle solution (solution fille) contiendrait alors $1/10^e$ de la concentration initiale.

Il s'agit de réaliser une série de 10 répétitions de dilutions à partir d'une solution plus concentrée en HE suivant les étapes suivantes (Fig.11):

Dans le cas de notre expérimentation, le facteur de dilution est de 10, une dilution en série 10 fois pour l'obtention de la concentration désirée ($1/10^{10}$).

- 1-** La préparation de la solution mère : A l'aide d'un agitateur magnétique et un barreau, nous avons mélangé, dans un erlenmeyer, 5µl de l'HE, prélevé par une micropipette de 5µl, avec 5ml d'eau distillée.
- 2-** Pour la 2^{ème} étape, nous avons réalisé la première dilution de la solution mère en prélevant 1ml de cette dernière pour la diluer avec 9ml d'eau distillée dans un tube à essai. La solution résultante possède une concentration de $1/10^1$ de la concentration de la solution mère.
- 3-** Pour un facteur de dilution de 10, l'opération précédente a été répétée 9 fois en prélevant toujours 1ml de la solution obtenue et la diluer ensuite avec 9ml d'eau distillé dans un nouveau tube à essai.

- 4- Après la série de 10 dilutions, nous avons réussi à préparer une solution fille de l'HE diluée à $1/10^{10}$ de la solution mère, avec un volume de 10ml.
- 5- A partir de cette solution, on a prélevé les 3 doses fixées avant.



Figure 11 : Protocol de la technique de dilutions en série (Originale, 2021)

II. B. 2). b). Test biocide de l'huile essentielle du *Thymus vulgaris* vis-à-vis du *Tribolium castaneum* par effet d'ingestion

Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque dose de l'HE de *T. vulgaris* testée avec un témoin positif et un témoin négatif.

Nous avons préparé un disque de papier filtre préalablement placé dans une boîte de pétri, en plastique, d'un diamètre de 11cm en fonction de la taille de l'insecte. Avant l'application des doses, il est important d'assurer la nutrition et la respiration des individus à traiter en mettant environ 10 graines piquées (avec un poids près de 0,5g) par boîte de pétri (Fig. 12.1). Ensuite, après avoir percé environ cinq petits trous sur le couvercle de la boîte, afin de permettre la respiration des insectes à

Matériels et méthodes

traiter. Il est à noter que 12 boîtes de pétri ont été disposées (4 boîtes pour chaque dose) avec 2 boîtes témoins (positif et négatif) (Fig.12.1).

Après la préparation des doses et pour mettre en évidence l'effet d'ingestion de l'HE, chaque dose a été pulvérisée, à l'aide des micropipettes à volumes différents (125µl, 250µl, 500µl), sur les graines de chaque boîte de pétri. Pour les témoins, les graines du témoin positif ont été traitées par le solvant uniquement (l'eau distillée), tandis que les graines du témoin négatif sont restées sans traitement. (Fig.12.2).

Après la séparation des adultes de la farine et les grains d'élevage (Figure 12.3), un nombre de 10 insectes adultes d'une population homogène de *Tribolium castaneum* a été introduit dans chaque boîte de Pétri préparées précédemment (Fig.12.4), ces derniers sont bien fermées afin d'éviter la fuite des insectes.

Les boîtes sont prêtes ainsi pour les observations à l'œil nu (Fig.12.5).

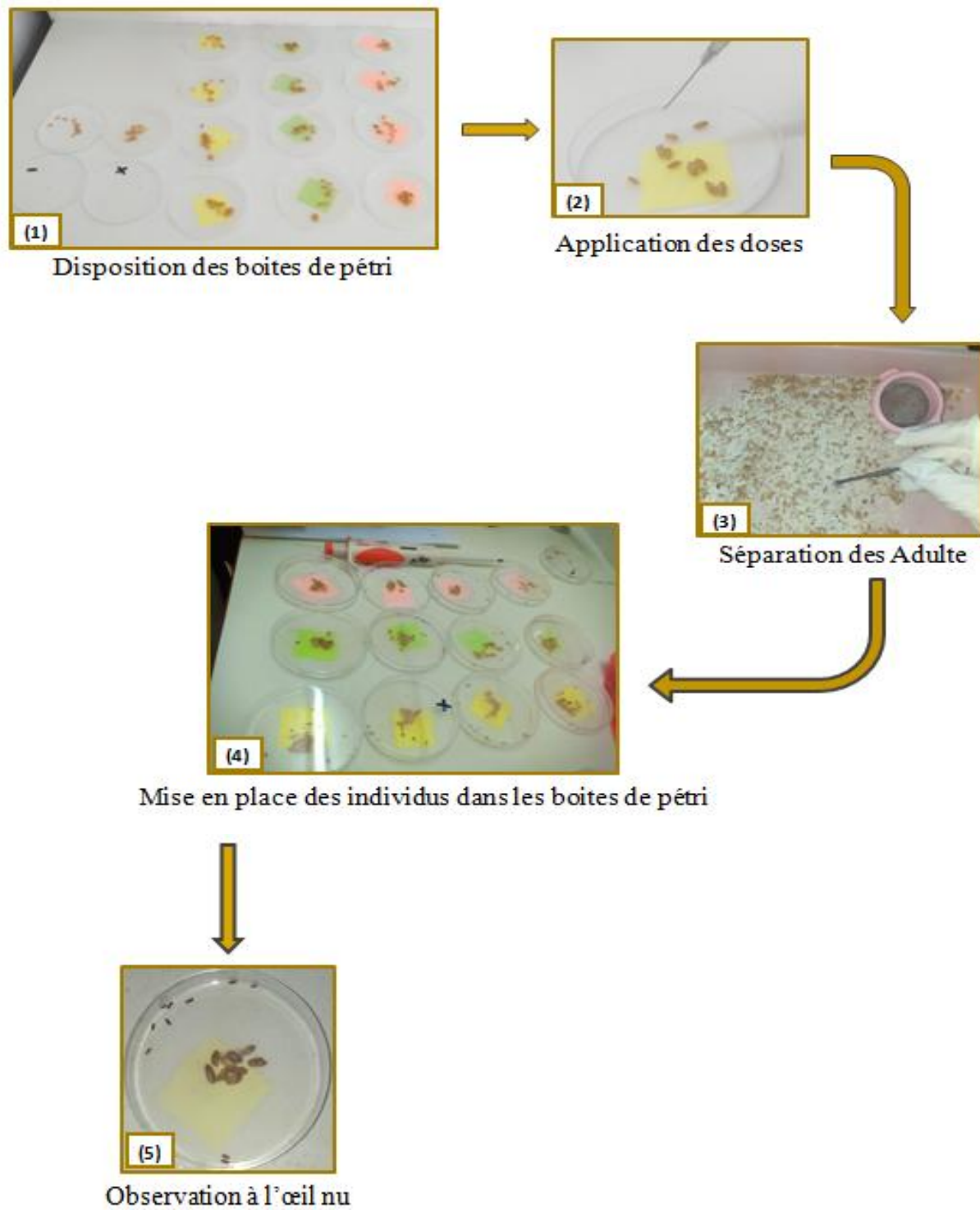


Figure12 : Schéma du protocole expérimental du test biocide de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* vis-à-vis le *Tribolium castaneum* (Originale, 2021).

II. B. 2). c). Evaluation de la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*

Plusieurs observations ont été faites d'une manière successive dans chaque boîte de pétri et à chaque temps d'exposition du début de l'essai jusqu'à la mort de la totalité des adultes (après 5minutes, 10min, 15min, 30min, 1heure, 2h, 24h, 48h, 72h, 96h et 120h).

Un comptage régulier des insectes morts, à chaque intervalle de temps, a permis de suivre le comportement des adultes du *Tribolium* rouge de la farine vis-à-vis des graines traitées.

Les insectes morts ont été retirés et observés sous la loupe binoculaire.

II. B. 3). Méthodes d'exploitation des résultats

II. B. 3).a). Correction de la mortalité

Dans notre expérimentation, l'effet insecticide de L'HE du Thymus est évalué par le suivi chronologique de la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*. Les résultats des observations effectuées successivement du premier jour jusqu'au cinquième ne représentent pas uniquement la mortalité causée par l'HE mais il y a aussi une mortalité naturelle

Cette mortalité est corrigée par le biais de la formule **d'Abbott (1925)**.

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

- MC %: pourcentage de mort.
- Mt : pourcentage de population de témoins obtenus.
- MT : pourcentage obtenus dans la population traitée.

II. B. 3).b. Calcul des doses létales

Les doses létales DL_{50} , DL_{70} et des DL_{90} sont calculées à partir des tracés des droites de régression dans les courbes de l'évolution proportionnelle des probites en fonction du log des doses (Finney, 1971).

- **Détermination des doses létales DL_{50} , DL_{70} et DL_{90}**

Pour estimer l'efficacité de notre l'HE, on a procédé au calcul des DL_{50} , DL_{70} et des DL_{90} qui représente les concentrations entraînant respectivement la mortalité de 50%, 70% et 90% d'individus d'un même lot.

Dans ce travail, les doses létales DL_{50} , DL_{70} et DL_{90} ont été calculées directement par le logiciel R Version 3.3.3 sur la base des mortalités observées et mortalités corrigées.

II. B. 3).c. Analyse statistique

Pour exprimer les résultats de notre test biocide et à l'aide de "Microsoft Excel", on a calculé les moyennes et les écarts-types des mortalités pour chaque dose et chaque répétition aux moments des différentes observations effectuées.

Ces données ont été utilisées pour l'étude de la corrélation entre les deux paramètres : dose et temps létales. Cette étude a été réalisée par une analyse quantitative multi-variable, des composantes principales (ACP), effectuée à l'aide du logiciel statistique PAST pour grouper sur un plan factoriel les variables à efficacité biocide commune.

III. Résultats et discussion

III.A). Résultats

III. A).1).Activité insecticide de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* vis-à-vis du *Tribolium castaneum*

L'activité insecticide de l'HE du *Thymus vulgaris* a été évaluée sur la base de mortalité des adultes du *Tribolium castaneum* après le traitement par ingestion.

III.A). 1). a). Evaluation de la mortalité observée des adultes de *Tribolium* par effet d'ingestion

Un comptage d'insectes morts a été effectué lors des observations réalisées après 5minutes, 10min, 15min, 30min, 1heure, 2h, 24h, 48h, 72h, 96h et 120h.

Les résultats obtenus par l'effet d'ingestion présentent une réduction considérable du nombre d'individus pour les trois doses testées (125µl, 250µl, 500µl) (Annexe.13).

Les résultats des observations de la cinétique de la mortalité observée des adultes sont résumés dans le Tab.VI et la fig. 13.

Ces résultats ont permis de calculer les moyennes, en pourcentage, des mortalités observées pour chaque dose testée.

Résultats et discussion

Tableau VI: Les moyennes des mortalités observées (en pourcentage)

Dose (μl) Temps	D1 (125 μl)	D2 (250 μl)	D3 (500 μl)	Témoin
T= 5min	0%	10%	33%	0%
T= 10min	0%	13 %	35%	0%
T=15min	0%	15%	53%	0%
T=30min	0%	15%	58%	0%
T=1h	5%	20%	75%	0%
T=2h	28%	40%	80%	0%
T=24h	55%	58%	88%	5%
T=48h (2j)	70%	85%	95%	5%
T=72h (3j)	85%	93%	100%	10%
T=96h (4j)	98%	100%	100%	10%
T=120h (5 j)	100%	100%	100%	15%

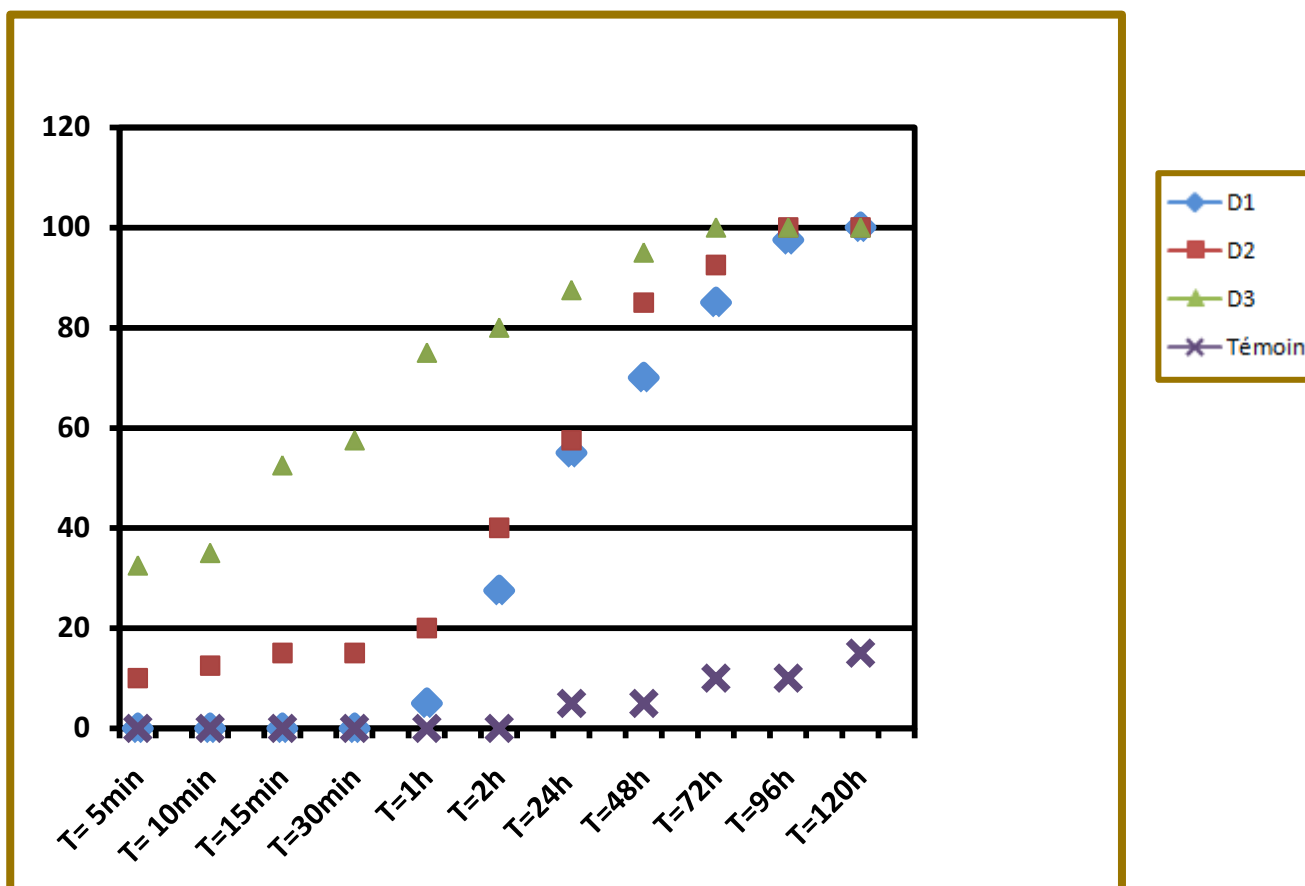


Figure 13 : Courbes des taux des moyennes de la mortalité observée en fonction du temps

L'analyse de la cinétique de la mortalité a dévoilé une différence importante en matière d'efficacité entre les doses de l'HE à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum*.

Durant les premiers 15 min du traitement, et contrairement à la dose D1 (mortalité nulle), les insectes subissant le traitement aux doses D2 et D3 ont montré une mortalité de 15% et 53% respectivement.

Après 2h du traitement, une augmentation du taux de mortalité chez les sujets traités pour les doses D1 (125 μ l) et D2 (250 μ l) enregistrant respectivement à 30% et 40% de mortalité, alors que la D3 (500 μ l) a engendré une mortalité de 80% des individus traités.

Le pourcentage de la mortalité provoqué par la dose la plus faible (D1) après 24h est de 55%. Ce taux a avoisiné celui obtenu par la dose D2 (250 μ l) correspondant à 58% de mortalité, cependant la dose la plus forte (D3) a enregistré un taux de mortalité près de 88% de la population traitée.

Résultats et discussion

Après 96h de traitement, les trois doses, de la plus faible à la plus forte (125µl, 250µl et 500µl), ont conduit à près de 100% de mortalité chez les sujets traités.

III.A).2). Calcul des doses létales

La toxicité de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* et sa létalité contre le ravageur *Tribolium castaneum* est mise en évidence grâce aux résultats des calculs des doses létales DL₅₀, DL₇₀ et DL₉₀, les doses qui tuent 50%, 70% et 90% de la population traitée de ce ravageur.(Tab.VII)

Tableau VII: DL50, DL70 et DL90 de la population traitée

Dose létale (µl) / Temps	DL 50 (125 µl)	DL 70 (250 µl)	DL 90 (500 µl)
T= 5min	598,1±68,04	726,7±96,94	912,37±141,64
T= 10min	577,80±60,11	699,76±85,59	875,86±125,5
T=15min	479,89±33,29	575,21±45,82	712,83±68,0
T=30min	460,48±29,30	548,95±39,34	676,69±58,09
T=1h	389,43±24,5	474,83±31,5	598,13±46,48
T=2h	293,70±31,31	427,78±43,21	621,37±76,75
T=24h	120,48±61,65	308,18±45,76	579,19±103,81
T=48h (2j)	63,197±116,21	110,09±64,76	360,30±65,10
T=72h (3j)	91,97±132,43	23,28±84,07	189,71±40,84
T=96h (4j)	74,20±61,1	87,79±44,8	107,41±21,1

D'après le calcul effectué des doses létales DL_{50} , DL_{70} et DL_{90} , on note que :

- Des doses considérablement faibles ont montré une efficacité marquée par un enregistrement d'une DL_{50} , une DL_{70} et une DL_{90} , correspondant respectivement à 598,9 μ l ; 726,7 μ l ; 912,37 μ l après 5 min de traitement seulement.
- La plus faible dose pouvant enregistrer une mortalité de 50% de la population de l'insecte correspond à 74,2 μ l après 96h de traitement.
- La plus faible dose qui a tué 70% de la population de l'insecte correspond à 23,28 μ l après 72h de traitement.
- La plus faible dose pouvant marquer une mortalité de 90% de la population de l'insecte correspondant à 107,41 μ l après 96h de traitement.

Ces valeurs représentent des doses trop faibles ayant un effet insecticide remarquable, mais enregistrés après des périodes plus ou moins longues.

En effet, ces résultats montrent que l'activité insecticide de l'HE de *Thymus vulgaris* vis-à-vis du *Tribolium castaneum* dépend fortement de la dose appliquée et la durée de son application.

III.A).3).L'analyse statistique (corrélation)

L'analyse des composantes principales aux axes 70% et 3% nous a permis de déduire la durée et le temps idéal pour l'essai biocide effectué, en classant nos paramètres en trois grands groupes (Fig.14) :

- Le premier groupe (en rouge) comporte les paramètres possédant les meilleurs résultats, dont l'HE a présenté une forte efficacité insecticide à savoir : les deux doses, D1 et D2 après 72h, 96h et 120h.
- Le deuxième groupe (en jaune) renferme les paramètres à efficacité insecticide moyenne, correspondent à la dose la plus forte, D3, après 24h et 48h.
- Le troisième groupe (en bleu) constitue les paramètres, ayant engendré un effet insecticide le plus faible où les trois doses présentent la même efficacité sur les insectes traités durant les deux premières heures.

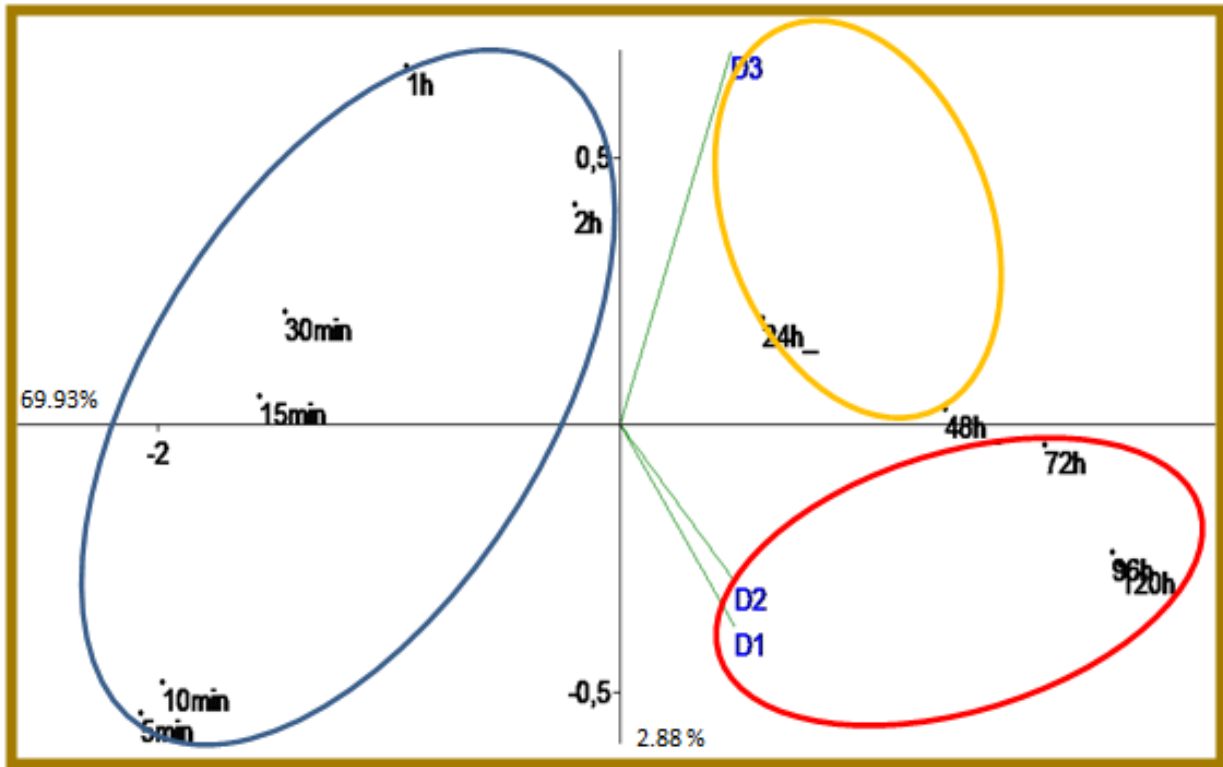


Figure 14 : Corrélation entre les doses utilisés et la durée de traitement contre *Tribolium castaneum* (ACP/PAST)

III.B).Discussion générale

De nombreux travaux (**Philogène et al., 1989 ; Ratnadass et al., 1989 ; Ashamo, 2006**) font référence à des dégâts considérables (pouvant dépasser 30%), dans les stocks des céréales et des légumineuses, causées par des insectes appartenant à l'ordre des coléoptères.

En effet, parmi les coléoptères les plus redoutables, *Tribolium castaneum*, est un ravageur polyphage responsable de grandes pertes qualitatives et quantitatives dans les stocks de blé (**Bounechada, 2011**).

La lutte chimique a été adaptée, depuis plusieurs années, contre ces bioagresseurs par l'utilisation des insecticides. Ces produits sont devenus de plus en plus restrictifs en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement, la santé humaine et la dégradation de leur efficacité par le développement de la résistance chez les insectes (**Benayad, 2008**).

Actuellement, la lutte biologique basée sur l'utilisation des produits naturels, principalement les extraits de plantes et les huiles essentielles, commence à être admise comme méthode de lutte alternative contre les insectes nuisibles aux céréales (**Kassimi et al., 2011 ; Tia, 2013**).

Des huiles essentielles extraites de plantes odorantes telles que *Chenopodium*, *Eucalyptus*, *Ocimum basilicum*, *Ocimum gratissimum* et *Cymbopo gonicitratus* ont démontré leurs efficacités, sur plusieurs insectes ravageurs dont *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae* et *S. zeamais* (**Aissata et al., 2009, Al-Asmari et al., 2017**).

Guèye et al, (2010) ont confirmé que des plantes appartenant à la famille des Lamiacées sont connues par leur activité insecticide.

Dans le cadre de notre travail, le test biocide à base de l'HE de *Thymus vulgaris* vis-à-vis de *Tribolium castaneum* par ingestion a révélé que cette huile possède une activité fortement insecticide vis-à-vis de l'insecte étudié pouvant atteindre une mortalité de 80% après 2h suivant le traitement.

L'effet insecticide de l'HE de *T. vulgaris* est dû probablement aux composants bioactifs présentant des propriétés insecticides remarquables contre plusieurs espèces d'insectes, à savoir : le thymol le géraniol, et le gamma terpinéol.

En effet, **Khazim Al-Asmari et al, (2017)** ont mentionné que le thymol le géraniol, et le gamma –terpinéol *sont* des composants actifs de l'HE de *Thymus vulgaris* présentant des propriétés insecticides remarquables contre plusieurs espèces d'insectes.

Les études menées par **Kassimi et al, (2011)** ont démontré que l'HE du thym (*Thymus vulgaris*) est fortement insecticide et présente une toxicité effective vis-à-vis de *Callosobruchus maculatus* F, *Callosobruchus maculatus* et de *Sitophilus granarius*, des ravageurs des denrées stockées.

Dans le cas des études menées par **Regnault-Roger & Hamraoui (1999)**, **Hassani et al (2017)** et par **Ainane et al (2018)** sur l'effet insecticide de l'huile essentielle du thym, en appliquant des doses trop faibles dans des traitements par inhalation, par fumigation et par contact, dont leurs résultats ont prouvé l'efficacité de cette huile sur divers insectes céréaliers, tels que *Acanthoscelides obtectud* Say, *hyzopertha dominica* et *Sitophilus oryzae*. L'effet insecticide peut être suggéré par une inhibition de la reproduction des insectes en réduisant la fertilité des femelles.

Pour mieux suivre la cinétique de la mortalité ainsi que le comportement menés par les adultes de *Tribolium castaneum* traités avec l'HE de thym, 11 observations ont été effectuées à des intervalles de temps allant de 5min jusqu'à 120h correspondant à la mortalité totale de la population traitée.

Il a été démontré que les constituants volatiles des huiles essentielles, tels que le géraniol et autres, interagissent avec les récepteurs d'odeurs au niveau des antennes des insectes en déclenchant un comportement répulsif (**Regnault et al., 2012**).

Effectivement, durant les observations effectuées, nous avons remarqué un effet répulsif chez les adultes du *Tribolium castaneum*. Après avoir traité, les graines de blé avec la dose la plus forte (D3 = 500µl), ces derniers ont montré une répulsion vis à vis des grains traités en se regroupant aux périphéries des boîtes de pétri (Annexe.14), ce qui explique le ralentissement de la mortalité chez les individus et le prolongement de la durée du traitement jusqu'à 120h

De plus, aux moments des observations, les adultes de *Tribolium* ont présenté un comportement d'immobilisation comme une stratégie de protection, ce qui a compliqué la distinction entre les individus morts et vivants pendant le comptage

Conclusion générale

Regnault-Roger & Hamraoui (1997) ont noté que des concentrations de 7mg/l et de 4,2mg/l en HE de *Thymus vulgaris* sont capables d'engendrer une mortalité de 50% de la population après 24h et 48h respectivement.

De même, **Hassani et al (2017)**, ont enregistré un taux de mortalité dépassant 70% pour la dose 15µl d'HE, après 12h, pour atteindre la mortalité totale de la population de *Sitophilus oryzae* après 48h de traitement.

IV – Conclusion générale

Tribolium castaneum est un ravageur secondaire de blé stocké, responsable de pertes considérables touchant la qualité et la quantité des lots stockés.

Le moyen de lutte le plus adapté contre ce ravageur est l'utilisation de pesticides chimiques qui représentent un danger écologique et sanitaire.

Afin d'apporter aux consommateurs des produits céréaliers sains, de bonne qualité et dépourvus de résidus chimiques, il a été question de rechercher une méthode alternative à la lutte chimique en faisant appel à la lutte naturelle à base d'extraits de plantes.

Dans le cadre de notre étude, nous avons mis en évidence l'effet insecticide de l'huile essentielle de thym *Thymus vulgaris* en réalisant un test biocide par ingestion sur les adultes du coléoptère rouge de la farine *Tribolium castaneum*.

Les résultats obtenus et les calculs des doses létales ont prouvé que l'huile essentielle de thym présente une efficacité et un effet insecticide remarquable vis-à-vis du *T. castaneum* traités avec les trois doses. Cette action biocide est dû probablement à la composition phytochimique de l'HE à savoir : le thymol le géraniol, et le gamma terpinéol.

En conclusion, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* possède une activité insecticide létale contre les adultes du ravageur secondaire du blé stocké *Tribolium castaneum*.

L'huile essentielle peut être considérée comme un bio pesticide efficace contre *Tribolium castaneum* en assurant la préservation de la santé humaine et la protection de l'environnement à long terme.

IV. A). Perspectives futures

Les perspectives futures et dans un premier temps, nous suggérons la création d'une unité d'extraction de l'huile essentielle du "*Thymus vulgaris*", en collaboration avec des ingénieurs en agronomie, sous l'objectif de minimiser le coût élevé de l'importation de l'HE. Et d'encourager dans un deuxième temps, l'utilisation de cette huile dans le cadre de la lutte alternative contre les organismes nuisibles des denrées stockées.

IV. A). 1). Aspect économique

Etude primaire du : Projet de création d'une unité d'extraction de l'huile essentielle du "*Thymus vulgaris*"

L'objectif de ce projet consiste à produire l'huile essentielle de la plante à effet insecticide "*Thymus vulgaris*" et destinée à la lutte biologique contre les insectes des céréales stockés, principalement, le charançon du blé "*Sitophilus granarius*" et le petit ver de la farine "*Tribolium castaneum*".

Dans cette partie, il a été question de donner un aperçu, de l'aspect économique de la création d'une unité d'extraction d'huile essentielle de thym en Algérie.

IV.A).4). a). La culture du thym (Suamme, 2012)

En général, une culture durable de thym, mise en place pour environ 7 ans, repose sur (Pour 1 ha) :

- Un bon choix de parcelle suivant les conditions favorables au thym, avec des sols appropriés à $\text{PH} \geq 6,5$.
- Une plantation d'une densité de 22000 pieds avec un écartement étudié.
- Une maîtrise technique facilement accessible, qui comprend la fumure, l'entretien, arrosage...etc.
- Des temps de travail de mains-œuvre jusqu'à 132h l'année de la plantation, 59h/ans en régime de la croisière dont la moitié pour le désherbage.
- Une production de printemps bien adaptée en zones sèches.
- La récolte aura lieu la 2^{ème} année de la plantation, elle s'effectue en début de Mai (printemps).
- Le rendement en régime de croisière (59h/ans) peut atteindre 20 kg d'HE par an.

Conclusion générale

- Données économiques (les charges) : sur la période de culture (6ans), pour 1ha et pour 20 kg d'HE (Tab.IX) :

Tableau IX : Données économiques pour une culture de thym (6ans)

Charges d'implantation : Conduite de culture Bio	Fumure de fond	225 €	Total pour 6 ans : 5837€
	Plants : 22000plants	3850 €	
	Paillage plastique	1232 €	
	Utilisation du matériel	530 €	
Charges opérationnelles annuelles	Fumure, produits phytosanitaires	120 €	Total pour 6 ans : 516 €
	Service récolte et distillation	396 €	
Autres charges	Amortissement, investissement et autres charges fixes	260 €	Total pour 6 ans : 260 €

Donc l'ensemble des charges s'élève à 6613 € \approx 1074000 DA arrondi à 6650 € \approx 1080000 DA pour 1ha pendant 6 ans, et à 180000 DA pour 1 année.

IV.A).4). b). L'extraction de l'huile essentielle (Ramakanirina 2005)

- L'hydrodistillation : c'est la méthode d'extraction la plus adaptée car elle présente plusieurs avantages sur le plan économique, à savoir : le faible coût du solvant employé (l'eau) qui peut être recyclé après la distillation pour minimiser les pertes en huile essentielle, la possibilité d'opérer avec de faible quantité de matière végétale, la simplicité de manipulation, de la réalisation, ainsi que la faiblesse du montant des investissements nécessaires.

- Coût des investissements :

a) **Les immobilisations incorporelles** : les frais nécessaires à l'établissement ou à la création du projet seront les droits d'enregistrement des statuts et des différents honoraires qui sont évalués à environs 130 € \approx 22000 DA.

b) **Les immobilisations corporelles** : notre projet nécessite un terrain d'une superficie raisonnable pour la construction de l'unité d'extraction.

Les investissements pour l'extraction de l'HE de Thym, peuvent se résumer dans le tableau suivant (Tab. IX), par ordre des étapes de la réalisation du projet :

Conclusion générale

Tableau IX: Coût des investissements pour l'extraction de l'HE de Thym

Etape	Coût pour 1 an	Coût pour 6 ans
1- Construction d'un hangar divisé en 4 compartiments : 1 pour atelier d'extraction (Alambic), et 3 le stockage des matières premières (matière verte sèche, bois et les huiles extraites)	2700 € 400 €	2700 € 400 €
2- Main d'œuvre : Ouvriers distillateurs (environ 3)	1200 €	7200 €
	Total ≈ 4300 €	Total ≈ 10300 €
3- Matériels et mobilier de bureau	900 €	900 €
4- Matériel de transport (1 véhicule de type 504 bâché)	1750 €	1750 €
5- Installation d'eau et d'électricité et téléphone	650 €	650 €
6- Les roulements initiaux Eau+ Electricité+ Téléphone	1700 €	10200 €
	Totale ≈ 16550 €	Totale ≈ 23800 €
	Totale ≈ 2690000 DA	Totale ≈ 3870000 DA

Le total des coûts de l'extraction de l'huile essentielle se chiffre à près de 2690000 DA pour la première année, et à environs 3870000 DA pour 6 ans d'extraction.

IV.4). c). Conclusion

Finalement, pour créer une unité d'extraction de l'huile essentielle du thym, il est important de réaliser une culture durable de la plante du thym pour la production de la matière sèche de cette dernière. La deuxième partie du projet consiste à construire un atelier d'extraction de l'huile essentielle d'après la matière sèche produite.

Sur le plan économique, ce projet a besoin pour se réaliser un total de coûts près de :

- Pour la 1^{ère} année : $180000 + 22000 + 2690000 = 2872200 \text{ DA} \approx 3000000 \text{ DA}$.
- Pour 6ans : $1080000 + 22000 + 3870000 = 4972000 \text{ DA} \approx 5000000 \text{ DA}$.

Pour résumer, le projet de création d'une unité d'extraction de l'huile essentielle du "Thymus vulgaris" a besoin de se réaliser en Algérie pour une lutte efficace contre les insectes céréaliers d'une part et pour une protection sanitaire et environnementale plus garantie et durable.

Références Bibliographiques



Références bibliographiques

A

- Abbas, K., Javad, A. (2012). Insecticide activity of essential oils of *Mentha longifolia* Pulicaria gnaphalodes and *Achillea wilhelmsii* against two stored product pests, the flour beetle, *Tribolium castaneum*, and the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Insect Science*, 12(1), 73.
- Abbott W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*, 18 : 265-267.
- Abdulrahman Khazim Al-Asmari, Md Tanwir Athar, Ahmed Abdallah Al Faridy, Mohammed Salim Almuhaiza, (2017). Composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* collecté sur le marché saoudien, 7(2), 147-150.
- Abramson D., Demianyk C.J., Fields P.G., Jayas D.S., Mills J.T., William E., Muir W.E., Timlick B., et White N.D.G., 2001- Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures, *Agriculture et Agroalimentaire Canada*.
- Ainane A., Benhima R., Khammour F., Elkouali M., Talbi M., Abba E., Cherroud S., Ainane T., 2018. Composition chimique et activité insecticide de cinq huiles essentielles: *Cedrus atlantica*, *Citrus limonum*, *Eucalyptus globules*, *Rosmarinus officinalis* et *Syzygium aromaticum*, pp 67-79.
- Aïssata camara. Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (coleoptera: curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbst (coleoptera: tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales (thèse de doctorat), université du Québec à Montréal. 2009.
- Ait kaki S. 2008 Contribution à l'étude de l'interaction génotype X milieu pour la qualité technologique chez le blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences.
- Amari, M. (2014). Etude de choix de ponte du bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'hricot et de pois-chiche, et l'influence de quelques huiles essentielles sur l'activité biologique de cet insecte (Doctoral dissertation, Université de Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri).
- Ames H.Jr., 2013 - Insects: Stored-grain Insect Pest Management, field crops : 4-119-122.
- Aoues, K., Boutoumi, H., & Benrima, A. (2017). État phytosanitaire du blé dur locale stocké en Algérie. *Revue Agrobiologia*, 7(1), 286-296.
- Ashamo M.O., 2006. Relative susceptibility of some local and elite rice varieties to the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *J. Food Agric. Environ.*, 4(1), 249-252.
- Assouad, W., & Valdeyron, G. (1975). Remarques sur la biologie du thym *Thymus vulgaris* L. *Bulletin de la Société botanique de France*, 122(1-2), 21-34.

B

- Balachowsky, A. S. (1963). Tome I Coléoptères. Entomologie appliquée à l'agriculture, 1.
- Belaid A., 2000, the economics of durum wheat production in WANA : Past trends and future prospects In : Proceedings of the symposium blé 2000 . Enjeux et stratégies 49-70.
- Benayad, N. (2008). Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines: moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Projet de thèse de Doctorat de l'Université Mohammed V-Agdal, 61.
- Ben-David, A., Davidson, C.E. (2014) Estimation Method for Serial Dilution Experiments. *Journal of Microbiological Methods* 107:214-221.
- Ben khellat, O. E., & Mouhou, N. (2017). Etude de la toxicité des huiles essentielles contre les ravageurs des denrées stockées.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, A., & Kameli, A. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles: revue de littérature. *Une*, 3, 4.
- Boulais, N. (2007). Culture et caractérisation des cellules de Merkel.

Références bibliographiques

- Bounechada, M., & Arab, R. (2011). Effet insecticide des plantes *Melia azedarach* L. et *Peganumharmala* L. sur *Triboliumcastaneum*Herbst (Coleoptera:Tenebrionidae).
- Bousquet, Y. 1990. Beetles associated with stored products in Canada : An identification guide. Agric. Can., 224p.
- Boutigny, A. L. (2007). Etude de l'effet de composés du grain de blé dur sur la régulation de la voie de biosynthèse des trichothécènesB: purification de composés inhibiteurs, analyse des mécanismes impliqués (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).
- Bullen K., 2007- Insect Control in Stored Grain, DPI&F, Plant Science, Toowoomba, Queensland the Smart State.

C

- Campbell, JF, et RT Arbogast. 2004. Insectes des produits stockés dans une minoterie : dynamique des populations et réponse aux traitements de fumigation. *Entomol. Exp. Appl.* 112: 217–225.
- Campbell, JF, et FH Arthur. 2007. Implications écologiques pour la lutte antiparasitaire intégrée post-récolte des céréales et des produits à base de céréales, p. 462.
- Caneppele, Mab., Caneppele, C., Lázari, Fa., Lázari, SMN (2003). Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). *Revista Brasileira de Entomologia* 47:625-630.
- Chellali B. 2007. Marché mondial des céréales : L'Algérie assure sa sécurité alimentaire.
- Chomchalow N., 2003- Protection of Stored Products with Special Reference to Thailand, AU J.T. 7(1), 31-47.
- Christine B., 2001. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique. 2ieme Edition, 124-154.
- CIC (Conseil International des Céréales) (2009). Rapport sur le marché des céréales. GMR N° :390 [en ligne] in : (<http://www.igc.org.uk/fr/publications/default.aspx>).
- Cruz, J. F., & Béavogui, F. (2016). Fonio, an African cereal. CIRAD.

D

- Daghli, GJ. (2006) Survival and reproduction of *Tribolium castaneum* (Herbst), *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.) following periods of starvation. *Journal of Stored Products Research* 42: 328-338.
- Delobel, A., & Tran, M. (1993). Les Coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. CTA/ORSTOM, France, Paris.
- Domínguez J., et Marrero L., 2010- Catálogo de la entomofauna asociada a almacenes de alimentos en la provincia de matanzas. *Fitosanidad* 14: 75-82.
- Dowdy AK, 1999. Mortalité des coléoptères rouges de la farine, *tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) exposés à des combinaisons de haute température et de terre de diatomées. *Journal of Stored Products Research*, 35(2) :175-182.

E

- El Idrissi M, Elhourri M, Amechrouq A, Boughdad A, 2014. Étude de l'activité insecticide de l'huile essentielle de *Dysphania ambrosioides* (Chenopodiaceae) sur *Sitophilus oryzae* (Coleoptera) [Study of the insecticidal activity of the essential oil of *Dysphania ambrosioides* L. (Chenopodiaceae) on *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae)]; *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (4) pp 989-994 ; ISSN : 2028-2508

F

- FAO (2012). Pertes et gaspillages alimentaires dans le monde – ampleur, causes et prévention. Rome. http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_wheat.html .

Références bibliographiques

- Faroni, Lra., Sousa, AH. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. In: Almeida, FAC., Duarte, MEM., Mata, MERMC. Tecnologia de Armazenagem em sementes, UFCG, Campina Grande, BR. p. 371-402,2006.
- Feillet, P. (2000). Le grain de blé: composition et utilisation. Editions Quae.
- Fields, P.G., Hou, X. et Taylor, W. 2006. «Effect of pea flour and pea flour extracts on *Sitophilus oryzae*». Can. Entomol., 138 :95-103.

G

- Gilles, J. L., Poncin, P., Ruwet, J. C., & Leclercq, D. (1999). Les travaux dirigés virtuels d'Anthropologie biologique–Bilan d'une première utilisation.
- Goetz, P., & Ghedira, K. (2012). Mécanisme d'action antibactérienne des huiles essentielles. In Phytothérapie anti-infectieuse (pp. 193-208). Springer, Paris.
- 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. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 15(1), 183-194.
- 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. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 15(1), 183-194..

H

- Hassani A, Sehari N, Sehari M, Bouchenafa N, Labdelli F & Kouadria M, 2017. Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées, *Revue Écologie-Environnement*, 13 : 5-10
- Huang F., et Subramanyam B., 2005- Management of five stored-product insects in wheat with pirimiphosmethyl and pirimiphos-methyl plus synergized pyrethrins. *Pest Management Science.*, 61:356-362.

I

- I.T.C.F. (Institut Technique des Céréales et des Fourrages), (2001). Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux, Lavoisier, France : 268 p.

K

- Kassimi A., El watik L et Oumni M., 2011. Action insecticide de certaines huiles essentielles et végétales : Afrique *SCIENCE* 07(2) pp 85-93.
- Kellou, R. (2008). Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée: le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif occitan et Audecoop. CIHEAM-IAM Montpellier.

M

- Mahroof, RM, Pennsylvanie Edde, B. Robertson, JA Puckette, et TW Phillips. 2010. Dispersion de *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostrichidae) dans différents habitats. *Environ. Entomol.* 39: 930–938.
- Mason L.J., 2003- Grain Insect Fact Sheet E-224-W: Red and Confused Flour Beetles, *Tribolium castaneum* (Bhst.) and *Tribolium confusum* Duval. Purdue University, Department of Entomology
- McKay, T., White, AL, Starkus, LA, Arthur, FH et Campbell, JF (2017). Modèles saisonniers des insectes des produits stockés dans une rizerie. *Journal d'entomologie économique* , 110 (3), 1366-1376.
- Mebarkia, A., Khalfi, O., & Guechi, A. (2001). Problèmes phytosanitaires des céréales stockées en régions semi-aride. Journées Scientifiques et Techniques Phytosanitaires, 12, 119-126.

Références bibliographiques

N

- Nickavar, B., Mojab, F., & Dolat-Abadi, R. (2005). Analysis of the essential oils of two *Thymus* species from Iran. *Food Chemistry*, 90(4), 609-611.
- Nikolic, M., Bierlaire, M. and Farooq, B. (2014). Probabilistic speed-density relationship for pedestrians based on data driven space and time representation, 14th Swiss Transport Research Conference (STRC), Monte Verit`a, Ascona, Switzerland.

P

- Pai, A., & Yan, G. (2003). Accouplement multiple rapide de femelles chez les triboliums rouges de la farine (*Tribolium castaneum*). *Journal canadien de zoologie*, 81 (5), 888-896.
- Pai, A., & Yan, G. (2003). Rapid female multiple mating in red flour beetles (*Tribolium castaneum*). *Canadian Journal of Zoology*, 81(5), 888-896.
- Pereira, Prvs., Almeida, Lm. Chaves para identificação dos principais Coleoptera (Insecta) associados com produtos armazenados. *Revista Brasileira Zoologia* 18: 271-283, 2001.
- Perez-Mendoza J., 2007- When Do Red Flour Beetles Fly?, *Integrated Pest Management*, rev, IPM update,usa.
- Pfohl-Leszkowicz, A. (1999). Les Mycotoxines dans l'alimentation évaluation et gestion du risque.
- Phillips T.W, Throne J.E., 2010. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annual Review of Entomology* 55, 375-397
- Philogène B.J.R, Armonson J.T. & Lambert J.D.H., 1989. Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de *Sitophilus* et *Prostephanus*. In : Parmentier M. & Kouahou F.-B., eds. *Céréales en régions chaudes*. Montréal, Canada : Aupelf-Uref ; Paris : John Libbey Eurotext, 47-56.
- Pimentel D., Patzek T. (2007). Ethanol production: Energy and Economic Issues related to U.S. and Brazilian Sugarcane. *Natural resource Research*, 14 (1), 65-76.
- Pires E. M, Souza E. Q, Nogueira R. M, Soares M. A, Dias T. K. R, Oliveira M. A. (2017). Damage Caused by *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Stored Brazil nut. *Scientific Electronic Archives*, 10(1)
- Pires, E., Souza, E., Nogueira, R., Soares, M., Dias, T., Oliveira, M. (2017). Damage Caused by *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Stored Brazil nut, *Scientific Electronic Archives*, 10 (1), 1-3

R

- Rastoin, J. L., & Benabderrazik, H. (2014). Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb: Pour un co-développement de filières territorialisées.
- Ratnadass, A., & Sauphanor, B. (1989). Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire. John libbey eurotext.
- Razzaghi-Abyaneh, M., & Rai, M. (Eds.). (2013). *Antifungal metabolites from plants*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rees D., 2004- *Insect of Stored Products*, CSIRO Publishing, Canberra, Australia.
- Regnault-Roger, C., Fabres, G., & Philogène, B. J. R. (2005). Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement.
- Regnault-Roger, C., Philogène, B. J., & Vincent, C. (2002). Biopesticides d'origine végétale (p. 337p). Editions Tec & Doc.
- Regnault-Roger, C., Philogène, B.J.R. et Vincent, C. (2008). Biopesticides d'origine végétale, 2ème édition, Lavoisier, Paris. édition, 550p.

S

- Seck D., 1992. Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan. In : *La post-récolte en Afrique*. Montréal, Canada : Aupelf-Uref ; Paris : John Libbey Eurotext, 155-160.

Références bibliographiques

- Seri-Kouassi, B. P., Kanko, C., Aboua, L. R. N., Bekon, K. A., Glitho, A. I., Koukoua, G., & N'Guessan, Y. T. (2004). Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte-d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F. du niébé. *Comptes Rendus Chimie*, 7(10-11), 1043-1046.
- Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., & Zid, E. (2005). Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse*, 16(3), 225-229.
- Swisseo. 2005. «plantes aromatiques et médicinales.». Cahier des charges. Institut Suisse des huiles essentielles Certification des huiles essentielles Ed. 11-2005.

T

- Thamaga-Chitja J.M., Henddriks S.L., Ortmana G.F., et Green M., 2004 - Impact of maize storage on rural household food security in Northern Kwazulu-Natal. *Journal of Family Ecology and Consumer Sciences*, 32: 8-15.
- Tia, E. V., Lozano, P., Menut, C., Lozano, Y. F., Martin, T., Niamké, S., & Adima, A. A. (2013). Potentialité des huiles essentielles dans la lutte biologique contre la mouche blanche *Bemisia tabaci* Genn. *Phytothérapie*, 11(1), 31-38.
- Trematerra P., Sciarretta A. (2002). Activity of chilli, *Capsicum annum* L. var. *acuminatum*, on stored product insects *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *IOBC/wprs Bull.* 25 (3), 177–182.

U

- Udoh J.M., Cardwell K.F., et Ikotun T., 2000 - Storage structure and aflatoxin content in five agroecological zones of Nigeria. *Journal of StoredProducts Protection* 36, 187- 201.

V

- Vincent C., Panneton B., et Fleurat-Lessard F., 2000- La lutte physique enphytoprotection, Editions Quae : 82-109.
- Venkatrao, S., Nuggehalli, Rn., Swaminathan, M., Pingale, Sv., Subrahmanyam, V. Effect of insect infestation on stored grain. III. - Studies on kaffir corn (*Sorghum vulgare*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 9:837-839, 1958.

W

- White, Gg. The effect of grain damage on development in wheat of *Triboliumcastaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of StoredProductsResearch*18: 115-119, 1982.
- William R Morrison, III, Rachel V Wilkins, Alison R Gerken, Deanna S Scheff, Kun Yan Zhu, Frank H Arthur, James F Campbell (2018). Mobilité des adultes *Triboliumcastaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) et *Rhyzoperthadominica* (Coleoptera : Bostrichidae) après exposition to Long-Lasting Insecticide-IncorporatedNetting, *Journal of EconomicEntomology* ,111(5), , Pages 2443-2453, <https://doi.org/10.1093/jee/toy173>

Annexes



Annexes

Annexe 1 :



Une graine de blé tendre et une graine de blé dur

Annexe 2 :



Une graine attaquée par un adulte de *Tribolium castaneum*

Annexe3:



Une citerne de pesticide chimique (Pirimiphos-Méthyl)

Annexe 4 :



La trémie

Annexe 5 : Matériel non biologique de laboratoire



Agitateur magnétique



Balance



Boite de pétri



Bécher de 10 ml



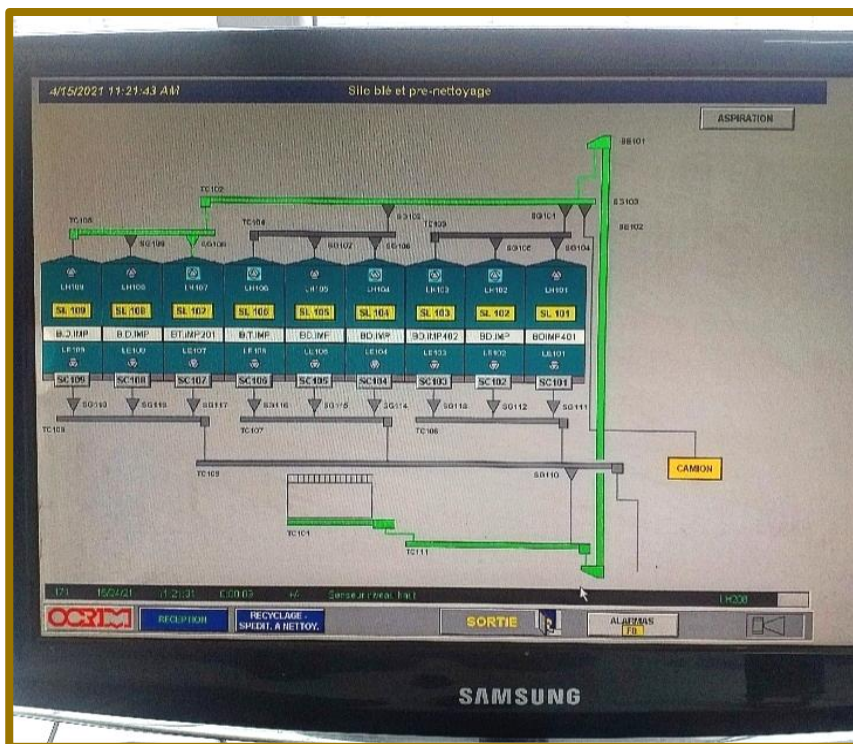
Erlenmeyer



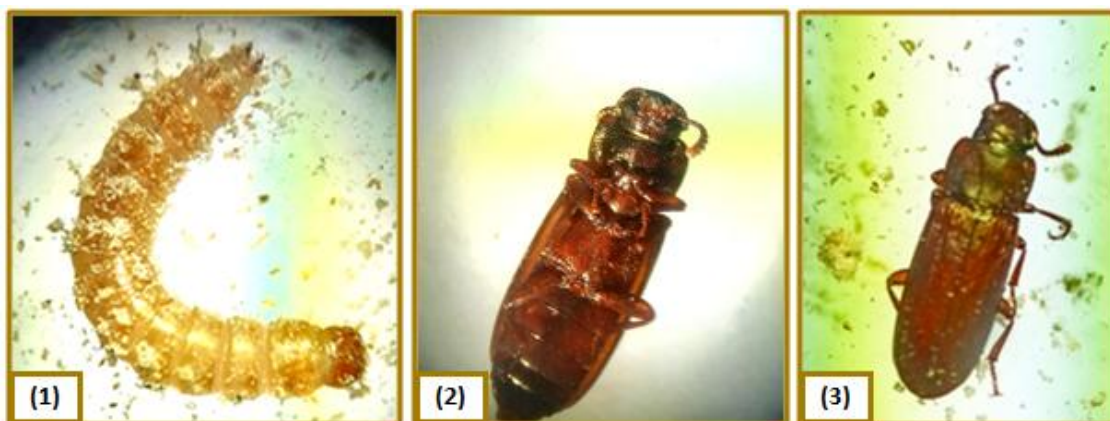
10 Tubes à essais



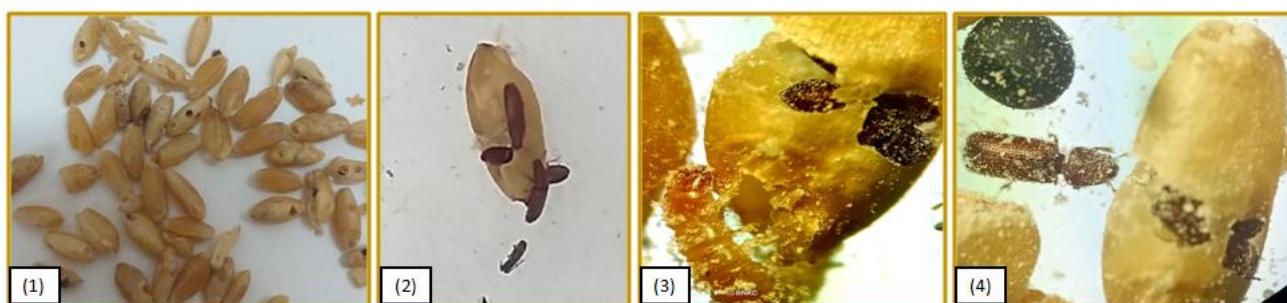
Micropipette



Annexe 6 : logiciel de programmation des opérations du transilage



Annexe 7 : *Tribolium castaneum*- (1) la Larve / (2) Vue ventrale d'un adulte / (3) Vue dorsale d'un adulte



Annexe 8 : Perforations des grains causées par *Tribolium castaneum* : (1) et (2) observation à l'œil nu / (3) et (4) observation sous loupe binoculaire

Annexe 9 :



Multiplication du nombre d'individus après l'élevage

Annexe 10 :



Un Tamis

Annexe 11:



Séparation des individus des graines infestées

Annexe 12 :



Protocole expérimental de l'hydrodistillation

Annexe13 :

Tableau brut des mortalités observées chez les adultes de *T. castaneum* traités par l'huile essentielle de *T. vulgaris* durant 5 jours (120 h)

Doses Temps	D1= 125 µl				D2 = 250 µl				D3 = 500 µl				Témoin	
	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	+	-
T= 5min	0	0	0	0	0	0	1	2	3	4	3	3	0	0
T= 10min	0	0	0	0	1	1	1	2	3	4	4	3	0	0
T=15min	0	0	0	0	2	1	1	2	5	5	6	5	0	0
T=30min	0	0	0	0	2	1	1	2	6	5	6	6	0	0
T=1h	1	0	0	1	3	2	1	2	8	7	7	8	0	0
T=2h	3	2	2	4	5	3	4	4	8	8	7	9	0	0
T=24h	6	6	5	5	7	5	5	6	9	8	9	9	1	0
T=48h	7	8	7	6	9	8	8	9	10	9	9	10	1	0
T=72h	9	8	8	9	10	9	9	9	10	10	10	10	1	1
T=96h	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	1	1
T=120h	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	1

Annexe 14 :



Regroupement des individus aux périphéries des boite de pétri

