



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques



Mémoire fin d'études

En vue l'obtention du diplôme de Master en Science Agronomique

Spécialité : *Protection des végétaux*

Effet biocide de l'huile essentielle de *Citrus limon* à
l'égard du *Tribolium castaneum*
(Coleoptera : Tenenbrionidae) ravageur de la farine du blé
tendre

Présenté par : M^{elle} Lounis Sonia

M^{elle} Si fodil Assia

Devant le juré :

Présidente : Mme Medjdoub F.

Professeur à UMMTO

Promotrice : M^{elle} Guermah D.

MBC à UMMTO

Examinatrice : Mme Lembrouk L.

MBC à UMMTO

Examinatrice : Melle Sadouk GH.

Doctorante à UMMTO

2022- 16/06/2023

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant pour le souffle de vie qu'il nous a accordé, de nous avoir donné la force et le courage pour dépasser toutes les difficultés afin de réaliser ce travail.

Ce travail a été réalisé au sein de l'équipe Laboratoire de recherche "PSEMRVC 'production sauvegarder des espèces menacer et des récoltes variation climatique " de la faculté des sciences Biologiques et Agronomiques à l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou qui a été dirigé par notre promotrice Mlle GEURMAH D, enseignante à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou.

Nos chaleureux remerciements à Mlle GEURMAH D maitre de conférence classe B à UMMTO, pour l'admission et l'attention qu'elle nous a donnée, d'avoir suivi et guidé ce travail, sa disponibilité, ses nombreux conseils, sa confiance en nous ont été des encouragements, repères pour nous tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions madame Medjdoub-Bensaad Ferroudja professeur à l'université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider lu jury de notre soutenance et de nous avoir conseillée depuis le début.

Je tiens à remercier madame Lembrouk L maitre de conférences de classe B à l'UMMTO, d'avoir examiné ce modeste travail et de l'avoir dirigé ; je ne la remercie jamais assez pour ses précieux conseils et sa disponibilité et sa simplicité, pour sa patience durant la réalisation de ce mémoire et son soutien moral et ses encouragements.

Nous sincères remerciements vont à l'ensemble des membres de jury. Mlle Saddouk GH doctorante, pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la plus chère mère au monde **LILA** (Dalila) qui est toujours à mes côtés et qui m'a toujours soutenue durant toute ma vie, qui m'a appris à aimé le travail et le comportement pour son amour infini et sa bienveillance jour et nuit.

♥ A ma belle-mère **NORIA** qui me souhaite toujours la réussite.

♥ A mon très chère père **KARIM** qui m'encouragé durant

Mes études.

♥ A mon plus beau frère **LYES** qui me donne le courage et conseil pour avancer de ce travail

♥ A mon mari **NABIL** qui m'a beaucoup encouragé tout au long de ce travail. Merci d'avoir montré beaucoup de patience et d'intérêt avec moi les moments les plus stressent, merci pour ta fidélité

Et ta gentillesse et ta tendresse.

♥ A ma belle-sœur **KAHINA**

A ma chère amie et binôme **SONIA** j'ai partagée avec elle les joies et les

♥ difficultés au suivi de notre travail

♥ A tout la famille **SIFODIL** et **CHERIFI**

♥ A mes amies et surtout **SIHAM, YASMINE, DYHIA**

♥ A tout ceux que j'aime

A toute les personnes que je connais



ASSIA



Dédicace

Louange dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu, et du réaliser ce modeste travail que je dédie à mes plus cher être au monde.

💖 A mon pilier, mon soutien moral et source de joie, mon cher papa, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le respect que j'ai pour toi, rien au monde ne veut les l'efforts que tu as fournis pour mon éducation et mon bien être, que dieu te protège.

💖 A la lumière de mes jours, la source de tendresse et d'amour, la flemme de mon cœur, la plus merveilleuse et la plus courageuse des mères du monde, maman que j'adore, que dieu te protège à chaque moment.

💖 A mes deux adorable petits frères SAID et ANES qui savent toujours, comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

💖 A mon cher mari, pour son amour, sa compréhension, ses encouragements et surtout sa patience durant tout le temps de mon travail, que dieu nous réunisse sous un seul toi pour toujours.

💖 A toute ma famille et ma belle-famille pour leurs encouragements et leurs amours au long de tout mon travail.

💖 A ma chère binôme ASSIA pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

💖 SONIA

Listes des tableaux

N°	Nom des tableaux	Page
01	Les caractéristiques de citron.	18
02	Exemples de répartition des huiles essentielles dans certaines plantes Laurent (2017).	25
03	Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et <i>al.</i> (1970).	34
04	Taux de longévité chez les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> par inhalation d'une dose de 2ul d'huile de <i>Citrus limon</i> sur (1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h, 120h).	37
05	Taux de longévité chez les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> par inhalation d'une dose de 4 ul d'huile de <i>Citrus limon</i> sur (1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h, 120h).	37
06	Taux de longévité chez les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> par inhalation d'une dose de 6 ul d'huile de <i>Citrus limon</i> sur (1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h, 120h).	38
07	Taux de longévité chez les adultes de <i>Tribolium castaneum</i> par inhalation d'une dose de 8ul d'huile de <i>Citrus limon</i> sur (1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h, 120h).	38

Titres	Page
Chapitre 1 Généralités Bibliographique	01
I. Plante hôte le blé transformé	01
I.1. Définition du blé	01
I.2. Définition de la farine	01
I.3. Composition de la farine	01
I.3.1. Eau	01
I.3.2. Matières grasse (lipides)	02
I.3.3. Matières minérales	02
I.3.4. Amidon	02
I.3.5. Protéines	02
I.3.6. Vitamines	04
I.3.7. Enzymes	05
I.4. Classification commerciale des farines	05
I.4.1. Farines blanches	06
I.4.1.1. Farine ordinaire ou « ménagère »	06
I.4.1.2. Farine non blanchie	06
I.4.1.3. Farine à gâteaux	07
I.4.1.4. Farine pâtissière	07
I.4.2. Farine complètes, semi complètes et intégrales	07
I.4.3. Farines destinées aux professionnels	07
I.4.3.1. Farine de force	07
I.4.3.2. Farine pour biscuiterie	07
I.4.3.3. Farine de Gruau	07
I.4.3.4. Farine de boulangerie ou la farine à pain	07
I.5. Qualité réglementaire de la farine de blé	08
I. Insecte ravageur	09
I.1. Caractères généraux de Tenebrionidae	09
I.2. Caractères généraux du genre <i>Tribolium</i>	09
I.3. Caractères généraux du genre <i>Tribolium</i>	09
I.4. Position systématique	10
I.5. Cycle de développement <i>Tribolium Castaneum</i>	11
I.6. Description morphologique	12

I.6.1 œuf	12
I.6.2 Larve	12
I.6.3 Nymphe	13
I.6.4 Adulte	13
I.7. Facteur de développement	14
I.8. Biologie	14
I.9. Etiologie	15
I.9.1 Mobilité	15
I.9.2. Régime alimentaire	15
I.10. Dégâts et perte	15
I.11. Méthode de lutte contre <i>Tribolium castaneum</i>	16
I.11. 1. Lutte chimique	16
I.11.2 Lutte physique	16
I.11.3 Lutte biologique	17
I.11.4. Lutte préventive	17
Chapitre II : Généralités sur la plante hôte Citronnier	18
I. Plante citronnier	18
I.1. Généralités sur les agrumes	18
I.2. Généralités sur citron	18
I.2 .1 Définition du <i>Citrus limon</i> ou limonum	18
I.2 .1 Définition du <i>Citrus limon</i> ou limonum	18
I.2.2 Systématique	19
I.2.3 Intérêt biologique de l'huile essentielle	19
I.2.4 Différents ravageurs qui attaque cet agrume	20
I.2.4.1. Les insectes piqueurs-suceurs	20
I.2.5 Différentes maladies qui attaquent cet agrumes	23
II. l'huile essentielle	24
II.1. Définition	24
II.2. Répartition et localisation	25
II.3 Rôle	26
II.4 Procédés d'extraction des huiles essentielles	26
II.4.1 Entraînement à la vapeur d'eau	26

II.4.2 Hydro-distillation	27
II.4.3 Hydro-diffusion	28
II.4.3 Extraction par solvant	28
II.5. Activité insecticides des huiles essentielles	28
II.6. Mode d'action des huiles essentielle sur les insectes	29
II.6.1 Répulsifs	29
II.6.2 Anti-appétant	29
II.6.3 Attractants	29
Chapitre III Matériels et Méthodes	30
III.1. Objectif	30
III.2. Matériel utilisés	30
III.2.1 Matériel biologique	30
III.2.1.1 Matériel animal	30
III.2.1.2. Matériel végétal	30
III.2.1.3 La farine	30
III.3.2. Huile essentielle zeste au citron du <i>citron Limon (Citrus limon)</i> et matériel végétal	31
III.2.2. Matériel laboratoire	31
III.3. Méthodes manipulation	32
III.3.1 Traitement par inhalation	32
III.3.2 Traitement par répulsion	33
Chapitre IV : Résultats et discussions	36
IV.1. Résultats et discussion	35
IV.1.1. Résultats	35
IV.1.1.1. Résultats des tests par inhalation	37
IV.1.1.2. Résultats des tests par répulsion	38
IV.1.2. Discussion	42
Conclusion	43
Références bibliographie	44
Résumé	

Liste des figures

N° Figures	Titre des figures	Page
01	La farine de blé tendre (Originel, 2023).	01
02	Radial convergence des composants de la farine (Godon et Guinet, 1994).	04
03	Radial simple des composants de protéine dans la farine (Grandvoinet et Pratz, 1994).	06
04	Radial sur les enzymes dans la farine (Cheftel, 1977).	06
05	Insect ravageur <i>Tribolium castaneum</i> ver de la farine (Originele, 2023).	10
06	Cycle de développement chez <i>Tribolium castaneum</i> (Chenni, 2016).	11
07	Larve de <i>Tribolium castaneum</i> au grossissement Gx40 (Originel, 2023).	12
08	Nymphe de <i>Tribolium castaneum</i> (Kassimi, 2014).	13
09	Adulte du <i>T. castaneum</i> : A : face dorsale, B : face ventrale observé sous la loupe binoculaire au Gx40 (Originel, 2023).	13
10	Stade évolutif du <i>Tribolium castaneum</i> (Devi et Devi, 2014).	14
11	Dégâts causé par le <i>Tribolium castaneum</i> sur la farine (Originel, 2023).	15
12	Variétés de citron : a) Primo, Fiori, b) Internado, c) Verna, Eureka (Anonyme, 2023).	19
13	Cochenilles farineuses (<i>Lepidosaphes gloverii</i>) des agrumes (Anonyme, 2023).	21
14	Mouches blanches des agrumes (<i>Aleurothrixus floccosus</i> , <i>Dialeurodes citri</i>). (Anonyme, 2023).	21
15	Cicadelles pruneuses (<i>Metcalfa pruinosa</i>) (Anonyme, 2023).	21
16	Teigne du citronnier (<i>Prayscitri</i>) (Anonyme, 2023).	22
17	Mineuse des agrumes (<i>Phyllocnistiscitrella</i>) (Anonyme, 2023)	22
18	Attaque du phytophthora sur agrumes (Anonyme, 2023).	23
19	Maladie bactérienne des agrumes chancre citrique, par la bactérie (<i>Xanthomonas</i>) (Anonyme, 2023).	23
20	Quelques organes sécréteurs les huiles essentielles chez les végétaux (Laurent, 2017).	26
21	Dispositif d'entraînement à la vapeur d'eau (Chenni, 2016).	27
22	Schéma du montage utilisé pour l'hydrodistillation (Lucchesi, 2005).	27
23	Farine utilisée au laboratoire de recherche (Originel,2023).	30
24	L'huile essentielle du zeste au citron <i>C. limonum</i> (Originel, 2023).	31
25	Matériels essentielle utilisé au laboratoire (Originel,2023).	32
26	Disopositif experimentale du test appliquer par inhalation par l'huile essentielle de zeste au citron <i>C. limonum</i> les adultes de <i>T. castanuem</i> (Originel, 2023).	33

Liste des figures

27	Dispositif expérimental du test de répulsion (Originel, 2023).	33
28	Dispositif expérimental du test pour répulsion de l'huile essentielle de zeste de citron <i>C. limonum</i> à l'égard des adultes de <i>T. castaneum</i> (Originel, 2023).	34
29	Longévité des adultes de <i>T. castaneum</i> traités par d'huile essentielle à la dose 2µl de <i>Citrus limon</i> en fonction du temps.	39
30	Longévité des adultes de <i>T. castaneum</i> traité par inhalation avec l'huile essentielle de <i>Citrus limon</i> à dose 4µl.	40
31	Longévité des adultes de <i>T. castaneum</i> traitées par inhalation à la dose 6µl avec l'huile essentielle de <i>Citrus limon</i> .	40
32	Longévité des adultes de <i>T. castaneum</i> traitées par inhalation avec l'huile de <i>Citrus limon</i> à dose 8µl en fonction du temps.	41
33	Taux de répulsion des adultes <i>T. castaneum</i> traité par l'huile essentielle de <i>Citrus limon</i> .	41



Introduction Générale



Le maïs, le blé et le riz, sont réputés pour leur richesse en amidon ; ils sont d'une grande importance dans l'alimentation humaine où ils sont utilisés sous diverses formes pour subvenir aux besoins de l'alimentation. Ces céréales sont utilisées massivement dans le domaine de la pâtisserie ou directement dans la préparation de nourriture aux nourrissons et aux adultes. En outre, elles se présentent sous forme de graines dans un épi ; plusieurs transformations sont donc entreprises pour obtenir les différentes formes de ces céréales dont les farines (Mikolo et *al.*, 2007).

De par leur grande utilité dans l'alimentation humaine, les farines nécessitent alors une bonne conservation et prennent une place précieuse sur le marché mondial. La conservation des denrées alimentaires en général, constitue un facteur clé de la sécurité alimentaire, car elle permet de pérenniser les denrées aussi longtemps que possible aux besoins des consommateurs (Mikolo et *al.*, 2007).

La conservation de ces farines se heurte à de multiples attaques de différents insectes ravageurs des denrées stockées dont les plus courants sont des petits coléoptères de la famille de Tenebrionidae du genre *Tribolium* couramment appelés petits vers de la farine, et du genre *Tenebrio* appelé également ver de farine.

Le Coléoptère rouge de la farine (tribolion ou tribolium), *Tribolium castaneum* est un petit ver de farine de la famille Tenebrionidae inféodées aux grains stockés des céréales notamment riz, farine et les fruits secs et des oléagineux stockés (Anonyme, 2023).

Le nom de l'espèce *Tribolium castaneum* vient du grec : Tribolos qui signifie trois pointes (Larousse, 2017), et du latin ; castaneum ou castenea par rapport à la couleur brune rougeâtre de fruit du châtaignier (Clofford et Bostock, 2007).

Les citrons (*Citrus limon*) font partie de la vaste famille des Rutaceae originaire du bassin méditerranée (Gollouin et Tonelli, 2013). Dans notre partie pratique, nous avons utilisé l'huile issue du zeste du citron.

Les plantes produisent les huiles essentielles en tant que métabolites secondaires, tandis leur rôle exact dans les processus de la vie de la plante est inconnu (Rai et *al.*, 2003). Certains auteurs pensent que les huiles essentielles pourraient avoir un rôle attractif pour les insectes pollinisateurs et favoriseraient ainsi la pollinisation (Bruneton, 1999 ; Guignard, 2000).

L'utilisation d'insecticides chimiques constitue à l'heure actuelle la technique la plus utilisée pour lutter contre les insectes nuisibles. Cependant, l'emploi abusif de ces produits se révèle néfaste pour l'environnement et la santé humaine ; tout en entraînant l'apparition de forme de résistance chez les insectes traités (Leonard et Ngamo, 2004).



En raison de l'interdiction de certains insecticides chimiques l'utilisation par l'OMS Organisation mondiale de la Santé, la majorité des pays ont recours à de nouvelles méthodes de lutte plus adéquates et respectueuses de l'environnement dans le but de limiter l'utilisation des produits chimiques. À cet effet, de nombreux travaux récents se sont penchés sur la recherche de substances ayant des pouvoirs biocides tout en maintenant l'équilibre écosystémique. Les huiles essentielles sont par définition des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages (Cseke et Kaufman, 1992). Que ce soit dans les pays développés ou en voie de développement, les huiles essentielles occupent actuellement une place importante dans les systèmes de lutte.

Les substances d'origine naturelle et plus particulièrement, les huiles essentielles représentent actuellement une solution alternative de lutte pour la protection des végétaux contre les insectes ravageurs (Lahlou, 2004).

Les huiles essentielles n'existent que chez les végétaux supérieurs, connues sous le nom plantes aromatiques, répartition dans un nombre limité de familles, ex : Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Astéracées, Cupressacées, Pipéracée, etc... (Bruneton, 1999).

Ils se trouvent dans tous les organes végétaux en particulier les sommités fleuries (Lavande, Menthe) dans les écorces (Cannelier), les racines (Vétiver), les fruits (Badiane, Fenouil), le bois (Camphrier) les feuilles (Citronnelle, Eucalyptus) (Belaiche, 1979 ; Pris et Hurabiell, 1981 ; Bruneton, 1999 ; Ghuestem et *al.*, 2001).

D'après Mossa (2016), les insectes ravageurs des denrées stockées peuvent causer :

- Des pertes importantes en réduisant la qualité et la quantité des produits stockés. Ces déprédateurs ravageurs sont responsables de la détérioration des aliments stockés et peuvent causer
- Des pertes annuelles estimées à environ 30% des 1800 millions de tonnes de céréales stockées (Haubruge et *al.*, 2000). En Afrique, ces dégâts sont rapportés souvent à 30%, par contre dans les pays développés, elles avoisinent les 3% (Bulot, 1990).

L'objectif de cette étude rentre dans le cadre de la recherche d'une méthode alternative de lutte contre les insectes ravageurs des récoltes céréalières dans les entrepôts de stockage.

Notre travail s'articule autour de trois parties. La première partie va se discuter sur l'insecte ravageur *T. castaneum* (Coleoptera), sur généralité sur la plante étudiée ainsi que l'huile essentielle appliquée. Dans la deuxième partie, nous élucidons sur le matériel et méthode employer pour réalisation des différents tests. Dans la troisième partie traite les résultats obtenus, et les discussions.

Ce travail est clôturé par une conclusion, assortie des perspectives pour les travaux .





Chapitre 1

Généralités Bibliographique





I. Plante hôte le blé transformé I.1. Définition du blé

Le blé est une céréale de la famille des graminées, cultivée pour l'alimentation depuis les temps préhistoriques par les peuples des régions tempérées. La culture du blé remonte au néolithique, elle est largement répartie sur tous les continents, mais reste présente principalement en Europe et en Asie (Simon, 1989).

I.2. Définition de la farine

La farine est un ingrédient qui a été moulu ou réduit en poudre, élaboré à partir des grains de blé ordinaires, *Triticum aestivum* L. ou blé ramifié, *Triticum compactum* Host ou d'une autre manière, écrasé en fines particules, obtenu à partir d'aliments riches en amidon. Les farines sont fabriquées par broyage, surtout à partir de graines de céréales comme la farine de blé, de froment, de maïs, d'orge, du riz, de seigle, de son (Fig. 1) (Simon, 1989).



Figure 1 : Farine de blé tendre (Originel, 2023).

I.3. Composition de la farine

La farine est composée d'eau, de matière grasse, de lipides et de protéines (Fig.2).

I.3.1. Eau

La composition en eau des farines varie de 15.5 % en fin de mouture ; cette teneur en eau conditionne la bonne conservation des farines. L'eau intervient dans le taux d'hydratation des pâtes et donc dans leurs caractéristiques rhéologiques (Godon et Loisel, 1984).





I.3.2. Matières grasse (lipides)

Les lipides ne constituent qu'une faible partie de la farine : 1 à 2 % ; elles jouent un rôle important au cours de la conservation et de l'utilisation ; ainsi au cours du stockage, les lipases entraînent la libération des acides gras. Le pétrissage permet la formation de complexes lipides-protéines ; les qualités plastiques du gluten dans ces conditions sont renforcées et la pâte montre une plus grande tolérance aux différentes phases de la panification (Godon et Guinet, 1994).

I.3.3. Matières minérales

Les matières minérales appelées aussi cendres, représente 0.45 à 0.60 % du poids de la farine, elles sont principalement composées de Potassium, Phosphore, Magnésium, de soufre etc... (Godon et *al.*, 1998). Les matières minérales sont actuellement utilisées comme critère de la pureté de la farine, nous distinguerons des farines dites supérieures (Joradep, 1993).

I.3.4. Amidon

L'amidon natif est localisé dans les chloroplastes, sous forme de granules sphériques lenticulaire (Morrison, 1981). Durant la mouture, une partie de ces granules sont endommagés par l'action mécanique des appareils à cylindres 70 à 80 %. Il en résulte, l'hydrolyse enzymatique de l'amidon avec production de sucre simple, type glucose, et fructose qui sont le substrat de la fermentation par les levures (Willm, 1995).

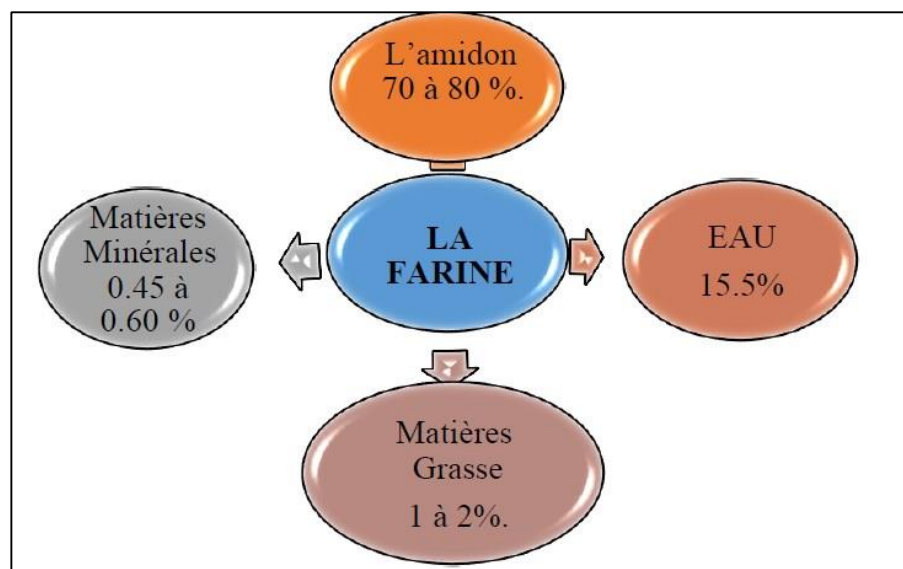


Figure 2 : Radial convergence des composants de la farine (Godon et Guinet, 1994).





I.3.5. Protéines

La teneur en protéines des farines de blé varie de 7 à 15% (% exprimés par rapport la matière sèche de la farine), elle est fonction de la teneur en protéines des blés mis en mouture, de la répartition de celles-ci dans le grain et du taux d'extraction de la farine par rapport au grain (Grandvoinet et Pratx, 1994).

Nous distinguons deux types de protéines : les protéines cytoplasmiques (albumines et globulines) et les protéines de réserves (gliadines et glutines réunies sous l'appellation prolamines) (Fig.3). En fonction de leur solubilité dans des solvants, (Osborne, 1907) classe les protéines du blé en plusieurs groupes :

- Les albumines (9 à 13% des protéines totales) solubles dans l'eau.
- Les globulines (6 à 8% des protéines totales) solubles dans les solutions salines (9% NaCl).
- Les gliadines (30 à 40% des protéines) solubles dans les solutions aqueuses à teneur élevée en éthanol (60 à 70%).
- Les gluténines (40 à 50% des protéines) solubles dans les solutions aqueuses d'acide acétique ou alcalines diluées. Après hydratation de la farine, les gliadines et les gluténines forment le réseau de gluten dont le comportement affecte considérablement les propriétés rhéologiques de la pâte (Bloksma et Bushuk, 1988).

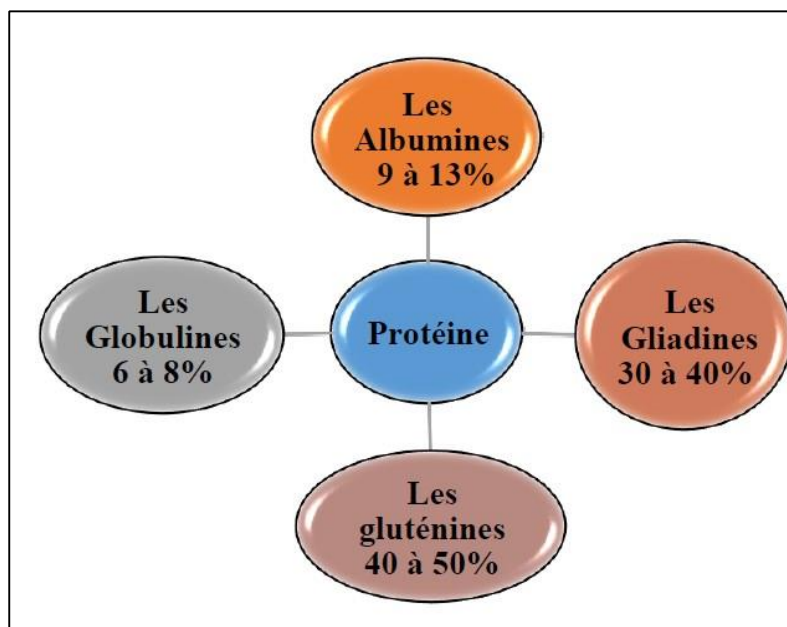


Figure 3 : Radial simple des composants de protéine dans la farine (Grandvoinet et Pratx, 1994).





I.3.6. Vitamines

Une farine complète de blé tendre contient la totalité des vitamines initialement présentes dans le grain. Par contre, ce taux variera dans la farine en fonction de son taux d'extraction.

A titre d'exemple, pour un taux de 75 à 80 %, la farine contiendra environ 20 % vitamine (B6), 25 % de biotine, 30 % d'acide nicotinique (B1), 55 % de l'acide pantothénique (B12) et 70 % de la vitamine E (Bornet, 1992).

I.3.7. Enzymes

Les enzymes sont présentes en petites quantités dans la farine ; les plus courantes sont les protéases, les lipases, les lipoidoses, les amylases, les peroxydases et les catalases (Fig.4) (Cheftel, 1977).

- Les lipases détruisent les caroténoïdes entraînant une décoloration de la mie du pain qui devient blanche (Cheriet, 2000).
- Les lipoxydases agissent sur les caroténoïdes par une réaction d'oxydation et entraînent une décoloration du pain qui devient blanche (Cheriet, 2000).
- Les amylases contrôlent la fermentation panair sont les β - amylases et les α amylases. La présence de la β -amylase étant généralement constante et suffisante seule l'action de α amylase qui a besoin d'être contrôlé soigneusement (Feillet, 2000).

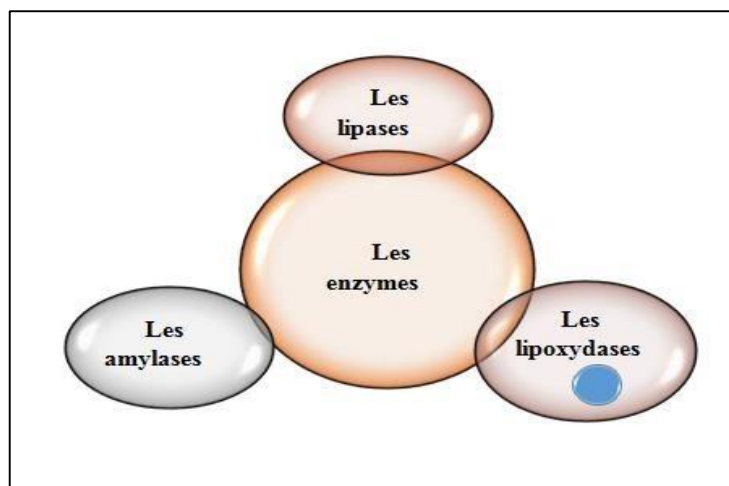


Figure 4 : Radial sur les enzymes dans la farine (Cheftel, 1977).





I.4. Classification commerciale des farines

Les farines sont classées en trois catégories, les farines blanches, les farines complètes et les farines destinées aux professionnels.

I.4.1. Farines blanches

I.4.1.1. Farine ordinaire ou « ménagère »

La farine ordinaire est une farine constituée d'un mélange de différentes variétés de blés tendre ou de blés durs. Les farines de blé tendre sont essentiellement utilisées pour la fabrication du pain alors que les farines de blé dur serviront à la fabrication de pâtisseries ou de gâteaux (Fredot, 2005).

I.4.1.2. Farine non blanchie

La farine non blanchie est une farine issue de l'agriculture biologique qui n'a pas subi de blanchiment artificiel. Son goût est par conséquent plus naturel du fait qu'aucun additif ne lui a été ajouté (Fredot, 2005).

I.4.1.3. Farine à gâteaux

La farine à gâteau est une farine blanche constituée exclusivement de blé tendre moulu très finement ; elle est plus riche en amidon mais contient moins de protéines permettant d'obtenir ainsi des gâteaux légers (Fredot, 2005).

I.4.1.4. Farine pâtissière

La farine pâtissière est essentiellement constituée de blé tendre mais peut parfois contenir du blé dur. Sa teneur en gluten est faible et elle est moins fine que la farine à gâteaux. Elle est ainsi utilisée pour réaliser des pâtisseries, des biscuits, et elle peut subir la panification (Fredot, 2005).

I.4.2. Farine complètes, semi complètes et intégrales

La farine complète permet de fabriquer respectivement du pain complet, du pain bis et de pains intégraux (Fredot, 2012).





I.4.3. Farines destinées aux professionnels

I.4.3.1. Farine de force

Comme son nom l'indique, la force boulangère (élasticité) de cette farine est très élevée ; elle est utilisée par les professionnels en viennoiserie et en panification dans des conditions difficiles telle que la pousse contrôlée qui permet de différer la cuisson des produits sur des durées de 12 à 48 heures en maîtrisant la fermentation des pâtons (Fredot, 2012).

I.4.3.2. Farine pour biscuiterie

La farine pour biscuiterie possède une faible force boulangère nécessaire dans l'industrie de la biscuiterie (Fredot, 2012).

I.4.3.3. Farine de Gruau

La farine de gruau est une farine de très haute valeur biologique de types 45 ou 55 ; elle est utilisée pour la Fabrication des pains de gruau et pour les pates riches telles que brioches (Fredot, 2012).

I.4.3.4. Farine de boulangerie ou la farine à pain

La farine à pain est constituée d'un mélange de blés tendres et présente une teneur en gluten élevée ce qui la rend particulièrement panifiable ; elle est généralement de types 55 ou 65 (Fredot, 2012).

I.5. Qualité réglementaire de la farine du blé

La farine de blé et tous ingrédients lui étant éventuellement ajoutés doivent être sains et propres à la consommation humaine (Simon, 1989).

- La farine de blé doit être exempte d'odeurs et de goûts anormaux ainsi que d'insectes vivants.
- La farine de blé doit être exempte de souillures (impuretés d'origine animale, y compris les insectes morts) en quantités susceptibles de présenter un risque pour la santé.





II. Insecte ravageur

II.1. Caractères généraux de Tenebrionidae

La famille des Tenebrionidae compte 20000 espèces dans le monde, l'origine de ce nom vient du fait que la plupart des espèces de cette famille présente des élytres de couleur sombre. Cependant, il est à noter que certaines des espèces qui possèdent des élytres de couleur claire et variée (Lerant, 2015). Par ailleurs, selon Dajoz (2010), cette la famille est la plus évoluée de l'ordre des coléoptères.

Les Tenebrionidae mondiale possèdent une air répartition géographique avec une préférence pour les régions désertiques et subdésertiques où ils atteignent leur plus grande diversité (Delobel et Tran, 1993).

II.2. Caractères généraux du genre *Tribolium*

Le genre *Tribolium* comporte 36 espèces dont quatre sont cosmopolites (Angelini *et al.*, 2008). Pour l'identification du genre *Tribolium* (Ferrere, 1995), indique deux caractères qui sont essentiels :

- Existence d'une suture carénée.
- Méso tibia et méta tibia simples.

Les *tribolium* sont des Coléoptères appartenant à la famille des Tenebrionidae qui sont très souvent associés aux denrées alimentaires. Dans ce genre se trouvent : *T. confusum*, *T. castaneum*, *T. destructoret*, *T. madens* (Calmote et Soldati, 2008).

II.3. Caractères généraux de *Tribolium castaneum*

Le Coléoptère rouge de la farine (*T. castaneum*) est un insecte ravageur commun connu pour attaquer et infester les denrées alimentaires stockées notamment la farine, le riz, la semoule, des graines de céréales qui se trouvent dans les entrepôts de stockage. Il est appelé aussi le petit ver de la farine, le ver brun de la farine (Fig. 5).

Le nom de l'espèce *T. castaneum* vient du grec ; Tribolos qui signifie trois pointes (Larousse, 2017), et du latin ; castaneum ou castenea par rapport à la couleur brune rougeâtre des fruits du châtaignier (Clifford et Bostock, 2007).





Figure 5 : Insecte ravageur ver de farine *Tribolium castaneum* GX 40 (Originelle, 2023).

II.4. Position systématique

Selon Haines (1991) ; Bolev (2014) ; Myers et al. (2016), la classification du *Tribolium* de la farine est comme suit :

Règne Animalia
 Embranchement Arthropoda
 Sous-embranchement Antennata
 Classe Insecta
 Sous-classe Pterygota
 Ordre Coleoptera
 Sous ordre Polyphaga
 Superfamille Tenebrionoidea
 Famille Tenebrionidae
 Sous-famille Tenebrioninae
 Genre *Tribolium*
 Espèce *Tribolium castaneum* .

II.5. Cycle de développement *Tribolium castaneum*

Selon Kassemi (2014), la longévité de *T. castaneum* est de 2 à 8 mois suivant les conditions abiotiques. La femelle dès l'âge de trois jours pond entre 300 et 400 œufs qui éclosent au bout de cinq jours vers 30°C ; les œufs sont déposés en vrac sur les graines et sont difficiles à déceler. D'après Chenni (2016), les larves circulent librement dans les denrées infestées et s'y nymphosent ; la vie larvaire dure environ trois semaines avant de se nymphoser pour donner un adulte au bout de six jours (Fig. 6).



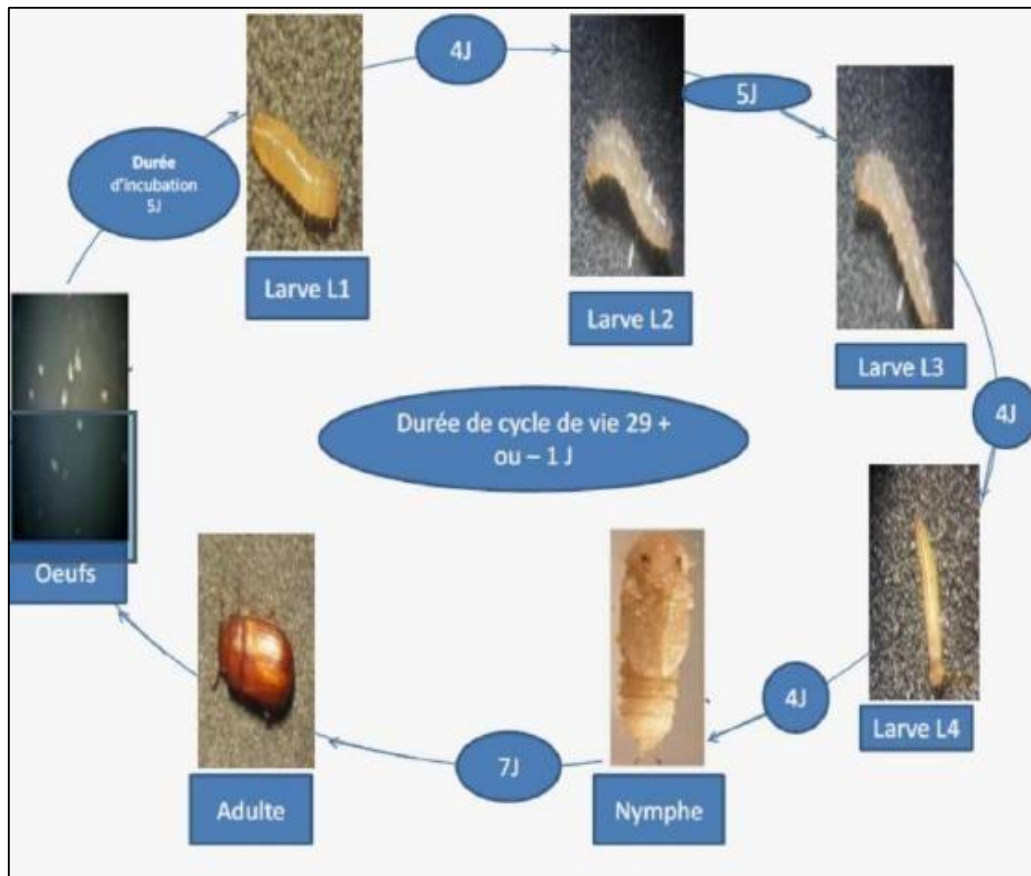


Figure 6 : Cycle de développement du *Tribolium castaneum* GX 40 (Chenni, 2016).

II.6. Caractères morphologique

Le *Tribolium* rouge de la farine est un des insectes des stocks le plus ubiquiste et le plus polyphage. Les adultes et les larves de *T. castaneum* ne s'implantent généralement dans les graines qu'après l'attaques des ravageurs primaires qui leur ouvrent la voie, où lorsque les graines sont brisées (Camara, 2009).

II.6.1. Œuf

Les œufs du ver de farine sont blanchâtres ou transparents, avec des particules alimentaires qui sont fixé à leur surface (Mason, 2003). Ils mesurent de 0,61 à 0,7 mm longueur et de 0,35 à 0,4mm largeur. Ils sont fluoresçant sous des longueurs d'onde de 365nm (radiation supra violettes) (Leelaja et *al.*, 2007).

II.6.2. Larve

La larve est huit fois plus longue que large, pouvant atteindre 6 mm de long au dernier stade larvaire (L4), portant trois paires de pattes. Elle est de forme vermiforme, cylindrique, de





couleur jaune très pâle à maturité, portant une tête brunâtre ornée latéralement de courtes soies jaunâtres (Lyon, 2000).

Larve se distingue par une rangée dorsale de courtes soies à la base du dernier segment abdominal (pygidium) et une paire d'urogomphes recourbée vers le haut, dans un plan perpendiculaire à celui du corps (Fig. 7) (Weidner et Rack, 1984 ; Delobel et Tran, 1993).

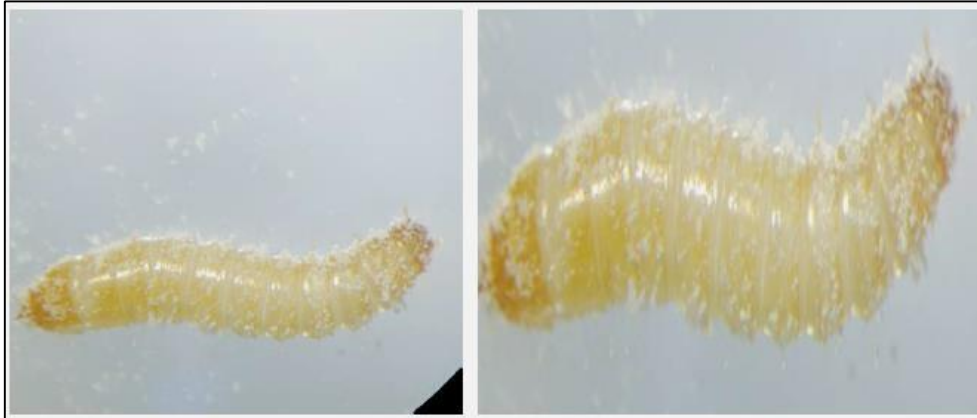


Figure 7 : Larve de *Tribolium castaneum* au grossissement Gx40 (Origenel, 2023).

II.6.3. Nymphe

La nymphe qui est au stade intermédiaire entre la larve et l'adulte est immobile et ne se nourrit pas ; elle présente généralement générale une teinte testacées, caractérisée par un jeune testacée sur les segments abdominaux qui sont ornés dorsalement de poils épars et très courts. Latéralement des protubérances charnues spinuleuses pourvues chacune de trois à quatre soies allongées. Le dernier segment abdominal est pourvu, comme chez la larve, de deux urogomphes à extrémité très aigüe et brun foncé.

La nymphe femelle possède, en outre, deux petites cornes qui ne se réduisent chez le mâle à une légère protubérance déprimée au centre (Fig.8) (Lepesme, 1944).



Figure 8 : Nymphe de *Tribolium castaneu* GX 40 (Kassimi, 2014).





II.6.4. Adulte

Le ver de la farine *Tribolium castaneum* est un petit coléoptère de couleur brun rougeâtre mesurant 3-4 mm de long, son corps est lisse et allongé (Weidner et Rack, 1984). Les antennes se terminent par une massue nettement distincte.

Les élytres présentent des lignes longitudinales pointillées. Cette insecte distingue des autres *Tribolium* par les yeux contigus partie ventrale large (Fig. 9) (Bousquet, 1990).



Figure 9 : Adulte du *T. castaneum* : A : face dorsale, B : face ventrale observé sous la loupe binoculaire au Gx40 (Originelle, 2023).

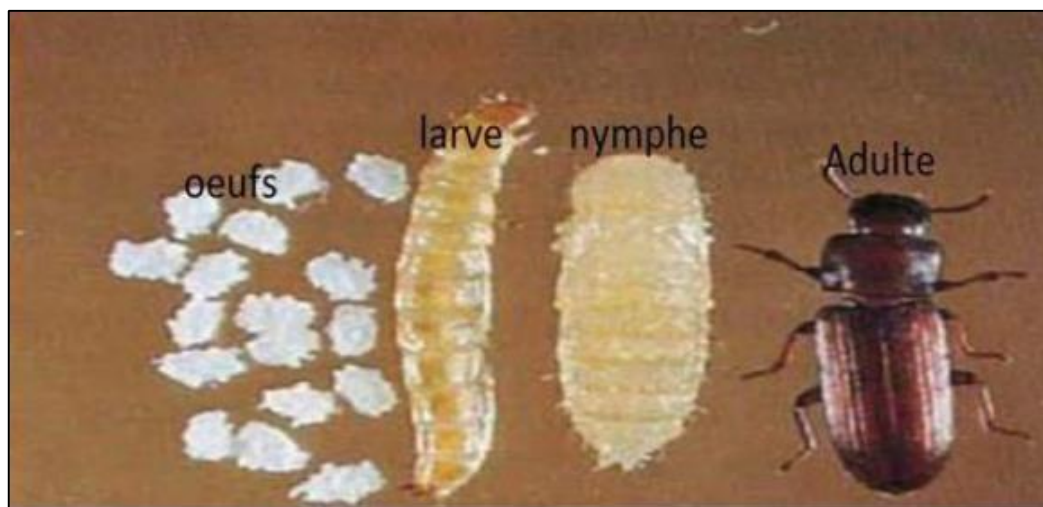


Figure 10 : Stade évolutif du *Tribolium castaneum* (Devi, 2014).

II.7. Facteur de développement

D'après Robinson (2005), le cycle de développement chez *T. castaneum* est influencé notamment par des facteurs abiotiques tels que la température et l'humidité, mais également par d'autre facteur biotique les champignons à savoir les insectes prédateurs capable de réguler





leurs populations. Les limites de croissance en fonction de la température sont : situées entre 22 et 22.5°C pour le minimum et entre 37.5 et 40°C pour le maximum.

II.8. Biologie

La longévité du ver de farine dépasse généralement six mois , la femelle pond entre 500 et 1400 œufs dans des condition optimales de 30 ou 33°C pour 70% d'humidité relative ; mais aucun développement n'est observé à un taux d'humidité relative inférieur à 10% sur la farine de blé additionnée de levure, la durée moyenne de développement de l'œufs à l'adulte est de 54 jours à 24°C , de 28 jours à 29°C et de 26 jours à 34°C , les œufs sont déposés individuellement sur les graines et sont difficiles à déceler , les larves circulent librement dans les denrées infestées et s'y nymphoses son cocon (Delobel et Tran, 1993).

Les larves éclosent au bout de 5 à 11 jours et achèvent leur croissance en 1 à 4 mois. Au dernier stade de développement, les larves, de couleur jaunâtre, mesurent environ 5 mm de long ; avec un nombre de stades larvaires varient de 5 à 12 selon la température, l'humidité relative et la qualité de l'alimentation. L'émergence de l'adulte a lieu 6 jours après la nymphose à une température égale 32,5 °C et une humidité relative de 70 %.

Le développement complet de l'œuf à l'adulte se fait en six semaines environ dans des conditions climatiques favorables. L'optimum thermique de l'espèce se situe entre 32 et 35°C avec un arrêt de développement en dessous de 22 °C (Benlameur, 2016).

II.9. Etiologie

II.9.1. Mobilité

Le *Tribolium castaneum* est un insecte qui se déplace rapidement lorsqu'il est dérangé. Il se déplace de préférence en fin d'après-midi, par temps chaud et calme, migre à partir de stocks infestés à la recherche de nouvelles sources alimentaires permettant l'ovipositeur et le développement larvaire.

Les adultes peuvent voler après 48h de leur émergence ; cependant, les femelles nouvellement émergées (2 à 10 jours) ont tendance à voler plus que les jeunes mâles, qui préfèrent rester dans le substrat pour s'accoupler (Perez-Mendoza, 2007).

II.9.2. Régime Trophique

Le *Tribolium* rouge de la farine est un insecte, psychophage, mycophage et occasionnellement nécrophage et prédateur d'autres insectes. Il a pu être observé dans les pourritures (Fedina et Lewis, 2007).





Au niveau des minoteries, des usines alimentaires, des boulangeries et des habitations, les adultes et les larves se nourrissent de farines de céréales et autres produits de mouture, ils sont incapables de perforer les grains non moulus, mais des lésions microscopiques suffisent pour permettre à la larve d'entamer le grain (Delobel et Tran, 1993).

D'autres produits peuvent être infestés par les *Tribolium* ; les pâtes, les pois, les haricots, les épices, les résidus de pressage de l'huile et les grains oléagineuses ainsi que les insectes de collection.

II.10. Dégâts et perte

Les adultes et les larves se nourrissent surtout des brisures, ils attaquent les grains endommagés et infectent les germes des grains (Georgen *et al.*, 2005).

Les adultes de *T. castaneum* sécrètent une odeur persistante et désagréable aux produits alimentaires due au sacrement et acide urique (Fig. 11).



Figure 11 : Dégâts causé par le *Tribolium castaneum* sur la farine (Originelle, 2023).

II.11. Méthode de lutte contre *Tribolium castaneum*

II.11.1. Lutte chimique

Les insecticides de contact sont généralement employés contre les insectes rampants ou volants dans des espaces découverts ou à la surface de structure des élévateurs à grains et entrepôts (Seck *et al.*, 1991), il est à distinguer :

- ❖ Les organochlorés : fréquemment utilisés dans le passé (D.D.T., Lindane, etc.), ne sont quasiment plus employés aujourd'hui, à cause de leur toxicité pour l'environnement, l'homme et les animaux (Seck *et al.*, 1991) ;

- ❖ Les organophosphorés : les plus connus et les plus utilisés sont : le Malathion, le Dichlorvos (Où DDVP) et le Promophos. (Seck *et al.*, 1991) ;





❖ Les pyréthrinoïdes de synthèse : la bioresméthrine (resbuthrin) et la deltaméthrine sont des produits insecticides très efficaces sur les capucins des grains et les lépidoptères, leur sensibilité n'est pas affectée par l'humidité, mais leur efficacité diminue avec la température (Appert, 1992a) ;

❖ Fumigent : (Gueye et *al.*, 2011) préconisent le phosphore d'aluminium (570 g / l).

II.11.2. Lutte physique

Cette méthode utilise des stimuli physiques et chimiques qui agissent sur le comportement ou le développement des insectes nuisibles, il y a deux types :

- ❖ Piégeage de masse.
- ❖ Technique de l'insecte stérile (TIS).
- **Froid** : la lutte par le froid entraîne un ralentissement du développement des insectes, freiné dès que la température est inférieure à 10°C (Serpeille, 1991).
- **Chaleur** : la lutte par la chaleur qui entraîne la mort des insectes ; le passage des produits dans un séchoir permet d'éliminer les insectes présents dans les grains (Fleurat-Lessard, 1980).

Le traitement thermique des grains peut en plus avoir quelques répercussions favorables sur la contamination fongique ou bactérienne des grains en diminuant le nombre de germes présents.

II.11.3. Lutte biologique

La lutte biologique entre dans le cadre du développement durable et de la sauvegarde des écosystèmes. Elle vise aux populations des insectes ravageurs, en utilisant leurs ennemis naturels qui sont soit des prédateurs, soit des parasites ou des agents pathogènes, ainsi que les insecticides d'origine botanique (Tapondjou et *al.*, 2023 ; Kellouche, 2005).

Les méthodes faisant recours aux produits insecticides sont déconseillées pour les denrées alimentaires, vue leur nocivité vis-à-vis l'environnement et de la santé humaine.

II.11.4. Lutte préventive

Selon De Groot (2004), il s'agit de toutes techniques destinées à réduire l'infestation au champ, au début du stockage ainsi que pendant le stockage.

- Triage des grains par tamisage mécanique.
- Les sacs ne doivent jamais être empilés contre les parois ou à même le sol (pour faciliter l'inspection régulière, bonne ventilation des produits, empêcher l'absorption de l'humidité).





- L'aération est généralement reconnue comme un bon moyen de conserver en bon état le grain entreposé dans des structures de béton, de métal ou de bois.
- Des sacs vides (généralement par trempage ou par pulvérisation avec une solution insecticide).

D'autres méthodes de lutte contre ce ravageur de stocks sont appliquées ; il s'agit d'autres méthodes traditionnelles et par l'utilisation d'huiles essentielles végétales et de bio pesticides.

Actuellement la recherche des huiles essentielles à activité insecticide est dirigée vers les produits des plantes aromatiques qui sont respectueux de la santé humaine et de l'environnement.

Par conséquence, les méthodes faisant recours aux produits insecticides sont déconseillées pour les denrées alimentaires, vue leur nocivité à l'environnement et à la santé humaine. Ramos et *al.* (1983). Ont entrepris des essais sur la possibilité de l'utilisation des rayons lasers dans le contrôle des insectes des denrées stockées. Ils ont montré que les lasers produisent un effet thermique et une énergie électromagnétique.

(Sheribha et *al.*, 2010), ont montré que l'exposition de *T. castaneum* au rayon laser provoque une anorexie, une réduction de la mobilité, une déshydratation, une mélanisation accrue, une stérilisation partielle et des échecs de développement.





I. Citronnier

I.1. Généralités sur les agrumes

La culture des agrumes a été pratiquée il y a au moins 4000 ans dans les régions tropicales et subtropicales du continent asiatique et de l'archipel malaisien (Batchelor Sinclair, 1961, Dugo et Di Giacomo, 2002).

Le terme agrumes, agrios ou citricos en espagnol, provient du latin acrumen (aigre), qui signifie dans l'antiquité la saveur âcre (acide) (Davies et Alberigo, 1994, Ladaniya, 2008 ; Khan et al., 2010).

Les agrumes se répartissent en plusieurs genres dont *Fortunela* et *Citrus* ; dans ce dernier se trouvent les principales espèces cultivées, à savoir : *Citrus reticulata* (Mandarinier), *Citrus clementina* (clémentinier), *Citrus grandis* (Pamplemoussier), *Citrus medica* (Cédratier), *Citrus aurantium* (bigaradier), *Citrus sinensis* (Oranger) et *Citrus limon* (Citronnier). Dans notre partie pratique, nous allons nous intéresser au *Citrus limon* (Citronnier).

I.2. Généralités sur citron

I.2.1. Définition du *Citrus limon* ou limonum

Le citron (*C. limon*) fait partie de la vaste famille des Rutaceae originaire du bassin méditerranéen (Gollouin et Tonelli, 2013). Selon les espèces, la fleur se transforme en fruit mur, de forme ronde, allongée ou ovale (8 à 12 cm de long sur 5 à 6 cm de diamètre), présentant un téton à une extrémité et quelque fois à chaque extrémité (Espirad, 2002). Le fruit reste longtemps sur l'arbre sans que le goût ne s'altère (Bachés, 2011). Les caractéristiques de citron sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Les caractéristiques de citron (Ladaniya, 2008 ; Bachés, 2011).

Partie de Fruit		Caractéristique
Écorce	Épicarpe	Jaune très odorantes, remplis de l'huile essentielles réparties de façon très irrégulière
	Mésocarpe	Colore blanchâtre d'épaisseur variable.
Pulpe		Juteuse et très acide représente 50 à 80% du fruit .
Pépins		quelques pépins

Écorce Épicarpe Jaune très odorantes, remplis de l'huile essentielles réparties de façon très irrégulière (Ladaniya, 2008 ; Bachés, 2011).





I.2.1.1. Variétés de citron

Parmi les innombrables variétés de citron que nous pouvons trouver sur les marchés (Fig. 12) :

- a) Primofiori : d'Octobre à Décembre, forme ovale, peau fine, pulpe très juteuse.
- b) Internado : de Septembre à Octobre, fruit de grand de taille, peau très fine, pulpe juteuse et acide, pas des pépins.
- c) Verna : annuelle, fruit de couleur jaune intense, peau rugueuse et épaisse, pas des pépins, peu acide.
- d) Eureka : Cultivé durant quatre saisons, forme ovoïde, un zeste difficile à prélevé, juteuse et très acide (Fig.12) (Espirad, 2002).



Figure 12 : Variétés de citron : a) Primo, Fiori, b) Internado, c) Verna, d) Eureka (Anonyme, 2023).

II.2.2. Position systématique

La systématique du citron selon Burm (1768) est la suivante :

Règne Plantae
 Division Magnoliophyta
 Classe Magnoliopsida
 Ordre Sapindales
 Famille Rutaceae
 Genre Citrus





Espèce *Citrus limon* .

I.2.3. Intérêt biologique de l'huile essentielle

L'huile essentielle de zeste de citron possède plusieurs intérêts à savoir :

- Participe au bon fonctionnement de l'immunité naturelle et régule les métabolismes.
- Propriété régulatrice sur le système hépatique et anti-nausée.
- Tonique digestif, carminatif et dépuratif général.
- Antiseptique général et bactéricide, notamment sur les Gram + et –.
- Antivirale et assainissant aérienne en diffusion.
- Dynamisante.

I.2.4. Différents ravageurs

I.2.4.1. Insectes piqueurs-suceurs

Ces insectes sucent la sève des agrumes et piquent l'arbuste pour injecter une substance toxique à l'origine du dépérissement de la plante, ils laissent une sorte de miellat qui n'est rien d'autre que leurs déjections collantes, mais qu'il est très difficile d'éliminer.

➤ Cochenilles farineuses

Ces petits insectes piqueurs sont protégés par une carapace cireuse : ils pompent la sève de la plante et finissent inévitablement par l'affaiblir en faisant sécher des branches entières. D'autres cochenilles s'attaquent aux agrumes nous citons : la cochenille asiatique (*Unaspis asiatica*), la cochenille australienne (*Icerya purchasi*), la cochenille plate (*Coccus hesperidum*), la cochenille serpette des agrumes (*Lepidosaphes gloverii*) ou encore le pou rouge de Californie (*Aonidiella aurantii*) (Fig. 13).



Figure 13 : Cochenilles farineuses (*Lepidosaphes gloverii*) des agrumes (Anonyme, 2023).





➤ **Aleurodes et mouches blanches**

Les aleurodes à mouches blanches des agrumes (*Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*) se reconnaissent en regardant le revers des feuilles couvert de masses blanches gluantes (Fig. 14).



Figure 14 : Mouches blanches des agrumes (*Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*) (Anonyme, 2023).

➤ **Cicadelles**

Les cicadelles blanches ou cicadelles pruineuses (*Metcalfa pruinosa*) sécrètent une matière cireuse et fibreuse, blanche destinée à protéger les pontes en stade larvaire de mai à septembre (Fig. 15).

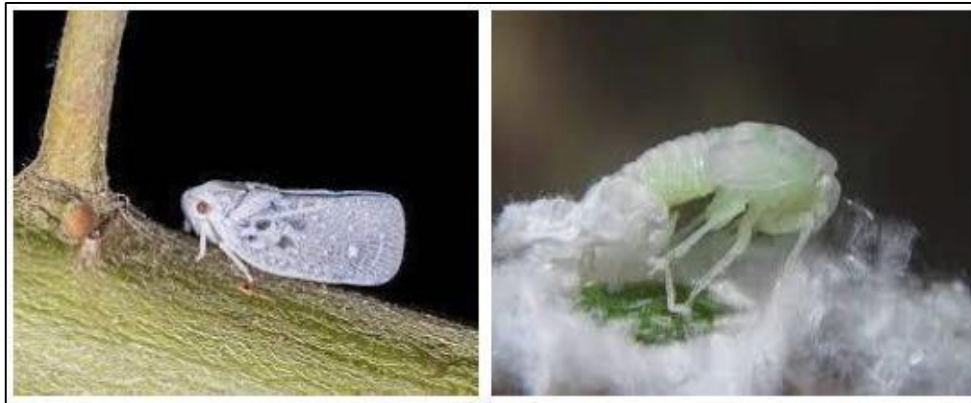


Figure 15 : Cicadelles pruineuses (*Metcalfa pruinosa*) (Anonyme, 2023).

➤ **Teigne du citronnier**

La teigne du citronnier (*Prays citri*) est un insecte qui passe du stade de chenille à papillon dans un délai court : son évolution complète se fait entre 1 et 2 mois. Elle se multiplie toute l'année et attaque donc les agrumes sans interruption. Ce sont précisément les chenilles qui dévorent les fleurs, les bourgeons, empêchant la formation de fruits (Fig. 16).





Figure 16 : Teigne du citronnier (*Prays citri*) (Anonyme, 2023).

➤ Mineuses

La mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) est un tout petit papillon grisâtre, asiatique qui pond sur les feuilles des jeunes pousses, permettant ensuite aux larves de creuser des galeries bien visibles faisant disparaître la chlorophylle. La lutte biologique avec des micro-gêpes semble efficace chez les professionnels (Fig. 17).



Figure 17 : Mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) (Anonyme, 2023).

I.2.5. Maladies

❖ Phytophthora

Le phytophthora des agrumes est un champignon qui se développe en période humide et chaude qui atteint l'arbuste par l'écorce fissurée ou coupée ; L'agrumes finit par dépérir (Fig.18).





Figure 18 : Attaque du phytophthora sur agrumes (Anonyme, 2023).

❖ **Mal sec**

Le mal sec, dit mal secco, est une maladie cryptogamique qui touche particulièrement le citronnier et qui aboutit à priver l'arbuste de sève par obstruction des canaux, entraînant un dépérissement, il est préconisé de désinfectez toujours les outils de coupe qui permet être des vecteurs potentiels du champignon (*Phoma tracheiphila*). Les traitements sont inexistant : il faut couper et brûler les parties atteintes.

❖ **Chancre citrique**

Le chancre citrique, dit chancre bactérien des agrumes ou chancre asiatique des agrumes, est une maladie bactérienne causée par la bactérie *Xanthomonas axonopodis*. Le pied d'agrumes va être moins vigoureux et les fruits seront moins beaux s'ils ne tombent pas avec les feuilles de façon prématurée. Les importations d'agrumes depuis l'Asie contribuent à la propagation de la bactérie (Fig. 19).



Figure 19 : Maladie bactérienne des agrumes chancre citrique, par la bactérie (*Xanthomonas*) (Anonyme, 2023).





II. Huile essentielle

II .1. Définition

Selon Roulier (1990), c'est un extrait pur et naturel provenant de plantes aromatiques ; elle concentre l'essence de la plante, autrement dit son parfum. C'est une substance odorante, volatiles de consistance huileuse, très concentrées (Lardry et Haberkorn, 2007). Pour obtenir quelques millilitres d'huiles essentielles, il faut une grande quantité de citronnier (feuille, tige, fruit) (Nogaret-Ehrhrt, 2008).

Les huiles essentielles sont utilisées dans plusieurs domaines, les industries de la parfumerie, des arômes et du cosmétique qui sont les principales consommatrices d'huiles essentielles. Ce sont en effet les produits de base utilisés, en raison de leur forte volatilité et du fait qu'elles ne laissent pas de trace grasse. Dans l'agro-alimentaire, nous utilisons aussi des HE pour incorporer aux aliments des saveurs. Certain nombre d'huiles essentielles possèdent des propriétés médicalement intéressantes, d'où leurs utilisations à des fins thérapeutiques. L'activité des huiles réside dans les centaines de molécules chimiques qui la constituent (Degryse et *al.*, 2008).

L'organisme de normalisation Afnor (2000) définit les huiles essentielles comme « un produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe de citrus, soit par distillation à sec ». Cette définition est cependant restrictive car elle exclut aussi bien les produits extraits à l'aide de solvants qu'obtenus par tout autre procédé.

II.2. Répartition et localisation

Les huiles essentielles sont extraites largement distribuées de différents portés de la plante suivante les essences végétales ou certaines parties sont utilisées plus que d'autre (Tab. 2).





Tableau 2 : Exemples de répartition des huiles essentielles dans certaines plantes (Laurent, 2017).

Organes	Exemples
Feuilles	Eucalyptus, citronnelle, laurier noble.
Fleurs	Camomille, lavande...
Fruits	Anis, Badiane...
Zestes	Citron, orange, Bergamot..
Bois	Bios de rose, santal...
Ecorce	Cannelle....
Racines	Vétiver...
Rhizomes	Curcuma, gingembre...
Graines	Muscade....

Selon Laurent (2017), la synthèse et l'accumulation des huiles essentielles sont généralement associées à la présence des structures histologiquement spécialisées, souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante. Retrouvons par exemple (Fig. 20) :

- ❖ Les cellules à huiles essentielles : chez les Lauracées et les Zingiberacées ;
- ❖ Les poils sécréteurs : chez les Lamiacées ;
- ❖ Les poches sécrétrices : chez les Myrtacées et les Rutacées ; ❖ Les canaux sécréteurs : chez les Apiacées et les Astéracées.



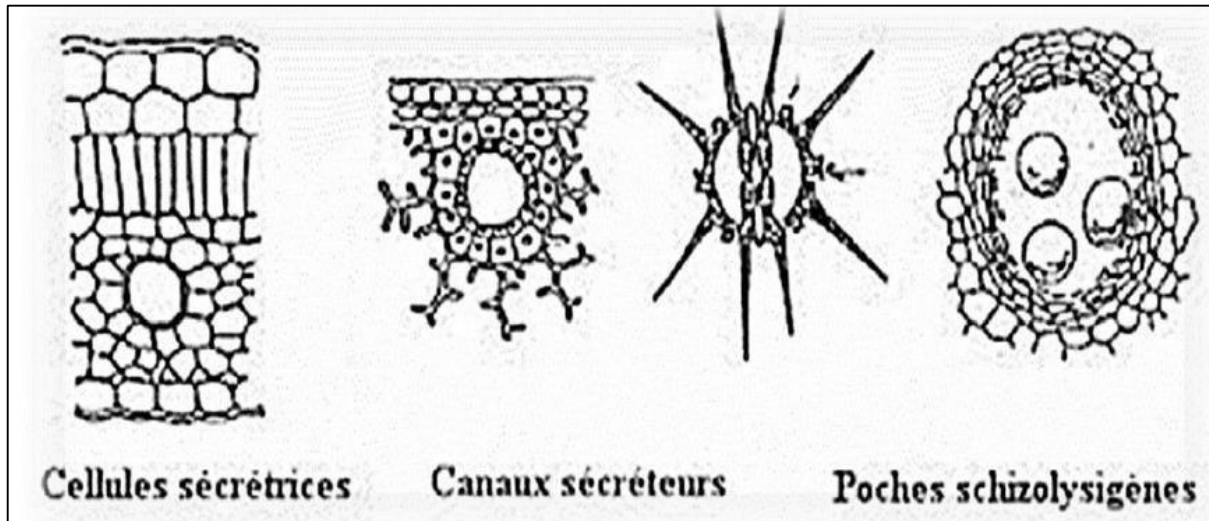


Figure 20 : Quelques organes sécréteurs les huiles essentielles chez les végétaux (Laurent, 2017).

II.3. Rôle

Les plantes produisent les huiles essentielles en tant que métabolites secondaires tandis leur rôle exact dans les processus de la vie de la plante est inconnu (Rai *et al.*, 2003). Certains auteurs pensent que les huiles essentielles pourraient avoir un rôle attractif pour les insectes pollinisateurs et favoriseraient ainsi la pollinisation (Bruneton, 1999 ; Guignard, 2000). D'autres auteurs pensent que les huiles essentielles jouent un rôle hormonal, régulateur et catalyseur dans les métabolismes végétaux et aider la plante à s'adapter à son environnement.

II.4. Procédés d'extraction des huiles essentielles

II.4.1 Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur d'eau est une variante plus récente de distillation, dans laquelle il n'y a pas de contact direct entre la matière végétale et l'eau. La vapeur d'eau est produite dans une chaudière séparée, puis injectée à la base de l'alambic dans lequel se trouve la plante ; la vapeur remonte dans l'alambic et traverse la plante. La vapeur d'eau chargée ainsi d'essence retourne à l'état liquide par condensation. Le produit de la distillation se sépare donc en deux phases distinctes : l'huile et l'eau condensée que l'on appelle eau florale ou hydrolisat (Fig.21) (Lucchesi, 2005).



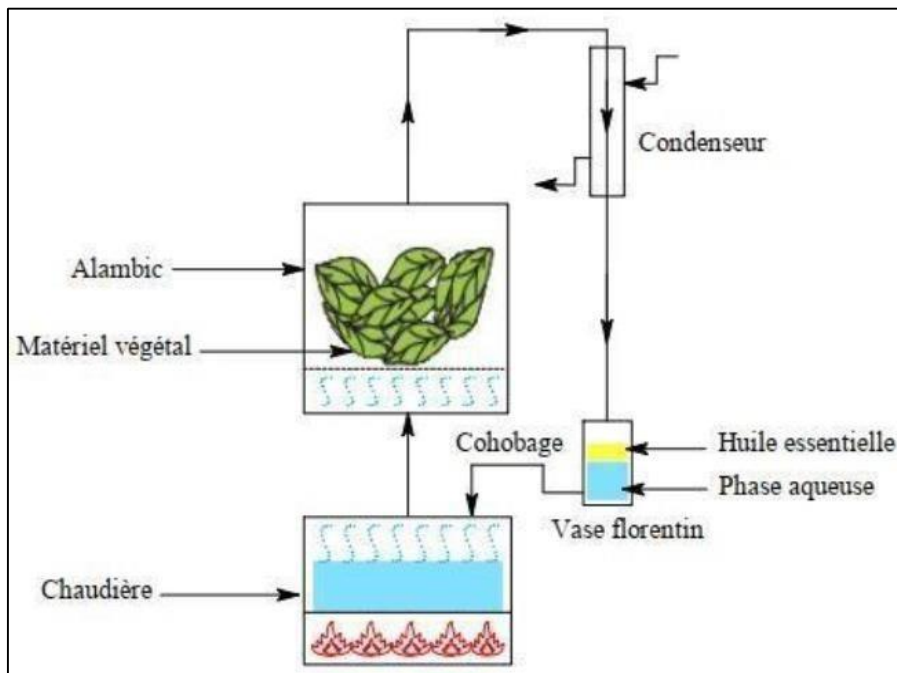


Figure 21 : Dispositif d'entraînement à la vapeur d'eau (Chenni, 2016).

II.4.2 Hydro-distillation

Le test d'Hydro-distillation est très proche de la distillation à vapeur saturée ; la seule différence est que la plante aromatique (entière ou broyée) est directement immergée dans un alambic rempli d'eau ; ce mélange est ensuite porté à ébullition en dessous 100°C. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare de l'eau par différence de densité, ce qui permet d'obtenir un hydrolat aromatique (Fig. 22) (Lucchesi, 2005). La durée d'extraction de l'huile est variable selon la plante et peut atteindre plusieurs heures (Lakhdar, 2015).

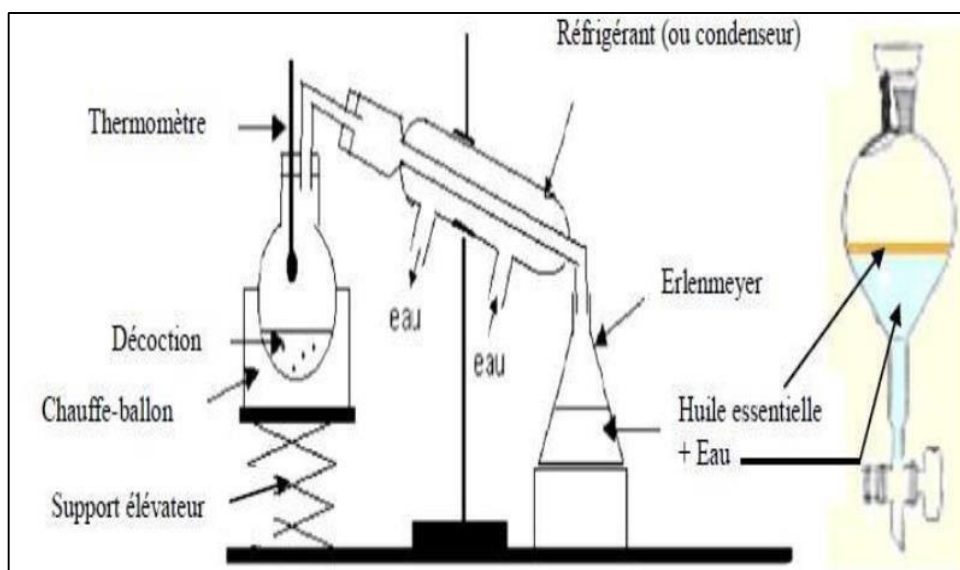




Figure 22 : Schéma du montage utilisé pour l'hydrodistillation (Lucchesi, 2005).

II.4.3 Hydrodiffusion

L'extraction par hydro diffusion est similaire au processus de distillation à la vapeur ; la principale différence entre ces deux méthodes est la voie d'entrée de la vapeur dans l'alambic. Dans le cas de l'hydrodiffusion, la vapeur est introduite par le haut sur le matériel botanique et non par le bas, comme dans la distillation à la vapeur (Ranjttha et Vijyalakshmi, 2014). L'hydrodiffusion permet de réduire la température de la vapeur à moins de 100 °C avec un gain de temps et un rendement plus élevé (Tongnuanchan et Benjakui, 2014).

II.4.4 Extraction par solvant

L'extraction à l'aide de solvants organiques semble être un moyen très simple pour extraire les huiles essentielles des plantes délicates et pour produire des grandes quantités d'HE à moindre coût (Chrissie, 1996). Pour la pratique générale, le solvant est mélangé avec le matériel végétal, puis chauffé pour extraire l'huile essentielle, puis filtré ; le filtrat est concentré par évaporation du solvant (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

Toutefois, l'extraction par solvant peut entraîner à la fois une perte des composés volatils et une extraction de certains composés non volatils, ce qui peut entraîner une modification de l'efficacité et une altération de la qualité des HE (Berka-Zougali et *al.*, 2012).

II.5. Activité insecticides des huiles essentielles

Il a été rapporté que des huiles essentielles communes ayant des activités insecticides peuvent être inhalées, ingérées ou absorbées par la peau des insectes (Tripathi et *al.*, 2009). Toutefois, selon El-Wakiil (2013), avant l'utilisation des HE il faut déterminer les doses nécessaires pour éliminer les insectes nuisibles et leur mode d'action pour améliorer la qualité et la durabilité du produit. L'effet des HE sur la faune auxiliaire doit également être pris en considération (Ngamo et Hance, 2007). En outre chaque HE est plus ou moins spécifique par son efficacité une espèce d'insecte cible ce qui nécessite de bien connaître les espèces d'insectes à combattre, ainsi que la connaissance du spectre d'activité insecticide des huiles disponibles l'autorisation de celle à l'emploi (Cruz et *al.*, 2016).





II.6. Mode d'action des huiles essentielle sur les insectes

II.6.1 Répulsifs

Un bio insecticide ayant une propriété répulsive se définit comme une substance qui agit localement ou à distance et qui permet d'éloigner les insectes (Sendi et Ebadollahi, 2013). L'activité répulsive des huiles essentielles de nombreuses plantes est bien documentée (Mossa, 2016). Certaines substances volatiles et huiles essentielles dérivées de plantes sont connues pour repousser plusieurs parasites et sont considérées comme des biocides à risque minimum (Saroukolaai et *al.*, 2014).

II.6.2 Anti-appétant

Les plantes produisent plusieurs substances à effets toxiques ou anti appétant pour les insectes phytophages par exemple l'extrait de graine de Nem agit comme antiappétant et inhibiteur de croissance des insectes. Sans les tuer immédiatement, il modifie leur croissance et les empêche de se reproduire. Ils ne peuvent plus se nourrir et finissent par mourir (Bernard et *al.*, 2008 ; kleeberg, 2008).

Ces substances induisent une alimentation plus difficile en modifiant le comportement des insectes, par une action directe sur les sensilles périphériques des insectes (Isman, 2002). Ces derniers insectes restent sur le matériau traité et finissent par mourir de faim. Cela indique que les composés actifs présents dans la plante inhibent le comportement alimentaire des larves, tandis que d'autres perturbent l'équilibre hormonal ou rendent l'aliment désagréable (Hikal et *al.*, 2017).

II.6.3 Attractants

Les huiles essentielles de certaines plantes influencent à la fois sur les récepteurs gustatifs (goût) et olfactifs (odeurs) ou les sensilles (Hikal et *al.*, 2017). Elles ne tuent pas les insectes et ne perturbent donc pas l'écosystème ; elles peuvent être utilisées pour mal orienter les insectes vers de mauvais sites de ponte, diminuant leur nombre par la production d'œuf son fertiles (Arora et Dhawan, 2017).





III.1. Objectif

Ce travail est réalisé au niveau du laboratoire PSEMRVC (production sauvegarder des espèces et des récoltes variation climatique) de la faculté des sciences Biologiques et Sciences Agronomiques de l'université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou.

Il consiste à mettre en évidence le potentiel biocide d'huile essentielle du citronnier *Citrus limon* par application de deux méthodes à savoir inhalation et répulsion.

III.2. Matériel utilisés

III.2.1. Matériel biologique

Le matériel biologique comprend le matériel végétal ainsi que le matériel animal.

III.2.1.1. Matériel animal

Des adultes de *T. castaneum* sont élevés en masse dans de la farine à une température de 32,5°C au laboratoire.

III.2.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre expérience est composé de zeste du citron *C. limon* ou citron qui provient du marché local des compléments alimentaires naturelles ainsi que les huiles essentielles de la région de Tizi-Ouzou.

III.2.1.1. Farine

La farine utilisée pour l'élevage de l'insecte étudié provient du marché local ; elle est conditionnée dans une boîte hermétique (Fig. 23).

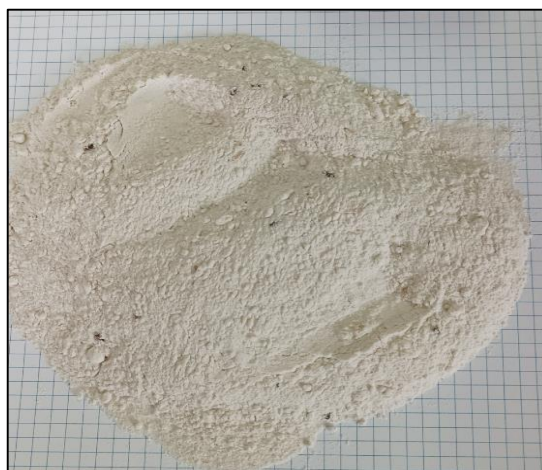


Figure 23 : Farine utilisée au laboratoire de recherche (Originelle, 2023).





III.2.1.4. Huile essentielle zeste de citron (*Citrus limon*)

L'huile essentielle zeste de citron du *C. limon* provient de la pharmacie locale de la région de Tizi-Ouzou, sous la production PURENAISSANCE (Nature of Algeria) (Fig. 24).



Figure 24 : Huile essentielle du zeste au citron *C. limon* (Originelle, 2023).

III.2.2. Matériel laboratoire

Pour la réalisation de notre travail nous avons utilisé le matériel suivant (Fig. 25) :

- ✓ Le papier filtre ;
- ✓ Des flacons en verre de 100 ml de volume ;
- ✓ Des boites en pétri en plastique ;
- ✓ Une micropipette et des embouts pour le pipetage de l'huile essentielle naturelle et végétale ;
- ✓ Ciseaux ; Etiquettes ;
- ✓ Fil fin utilisé pour la couture ;
- ✓ Une loupe binoculaire.



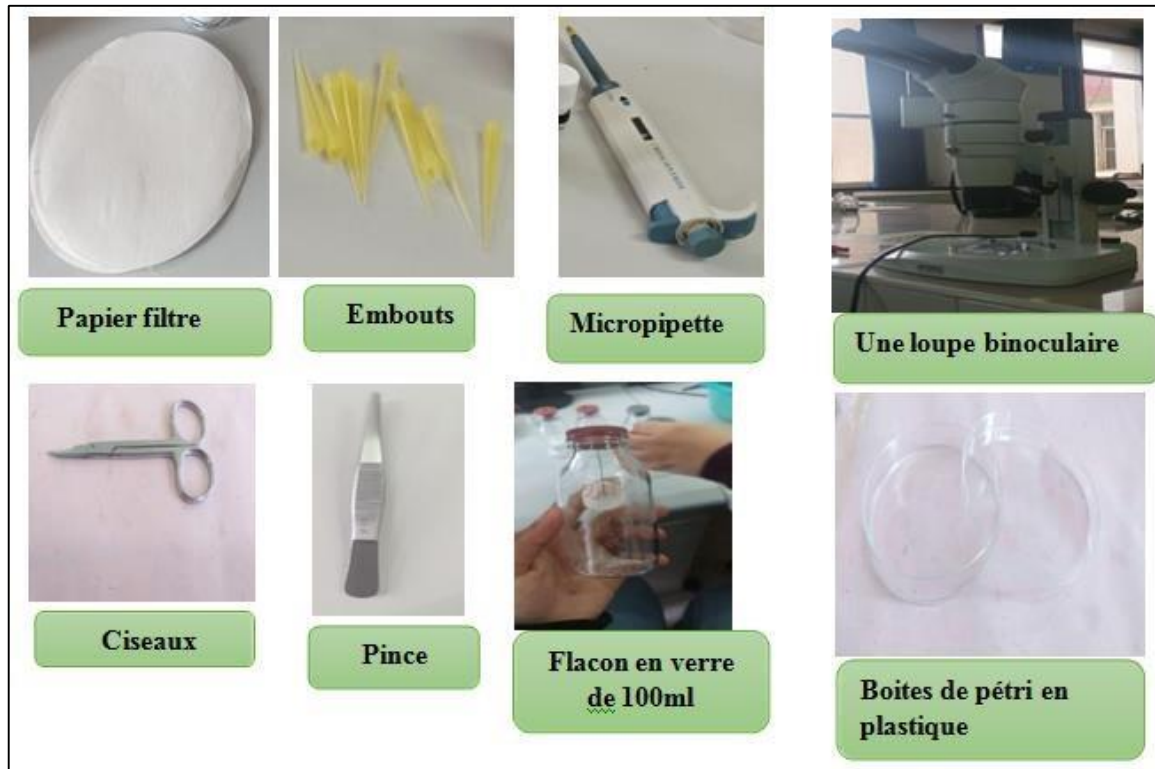


Figure 25 : Matériel essentielle utilisé au laboratoire (Originel, 2023).

III. 3. Méthodes de manipulation

III.3.1. Test par inhalation

Le test par inhalation consiste à évaluer l'effet biocide de l'huile essentielle du zeste au citron (*Citrus limon*) par fumigation sur la longévité des adultes de *Tribolium castaneum* traités par inhalation à différentes doses en fonction de la durée d'exposition (Fig. 26).

Pour cela nous avons utilisés des flacons en verre de 100 ml de volume avec du papiers filtre coupé en rondelle de 3 cm de diamètre et fixé par un fil au couvercle de chaque flacon. Pour chaque essai, un effectif de 5 individus de *T. castaneum* sont mis dans chaque flacon à raison de trois répétitions effectuées pour chaque dose.

Des doses différentes de l'huile essentielle sont injectées sur les disques du papier filtre (0,2 μ l, 0,4 μ l et 0,6 μ l, 0.8 μ l). Le dénombrement des individus vivant est effectué au bout d'un temps précis (1h, 3h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h et 120h) d'exposition pour chaque flacon et pour chaque dose.





Figure 26 : Dispositif expérimental du test appliqué par inhalation par l'huile essentielle du zeste de citron *C. limon* sur les adultes de *T. castaneum* (Originelle, 2023).

III.3.2. Test par répulsion

Le test par répulsion est utilisé pour calculer le pourcentage de répulsion d'une huile à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* par la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre. Pour ce faire nous avons :

Préparer 12 disques de papier filtre à 4 cm de diamètre subdivisé en deux parties, une partie du disque est traité à différentes doses est l'huile essentielle zeste du citron (*Citrus limon*) à l'aide d'une micropipette, et l'autre partie est non traité servent de témoin (Fig. 27). Les disques de papier filtre sont placés dans des boites de Pétries, où nous avons introduit 5 individus de l'insecte ont été placés au centre de chaque disque.

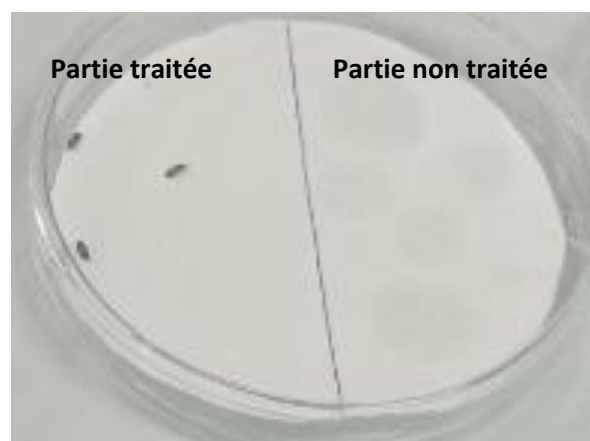


Figure 27 : Dispositif expérimental du test de répulsion (Originelle, 2023).





La procédure est répétée pour les doses : 0,2 µl, 0,4 µl, 0,6 µl et 0.8 µl ; l'expérimentation dure 30 min. À la fin du test nous relevons le nombre d'insecte présent sur chaque partie de papier filtre (Fig.28).

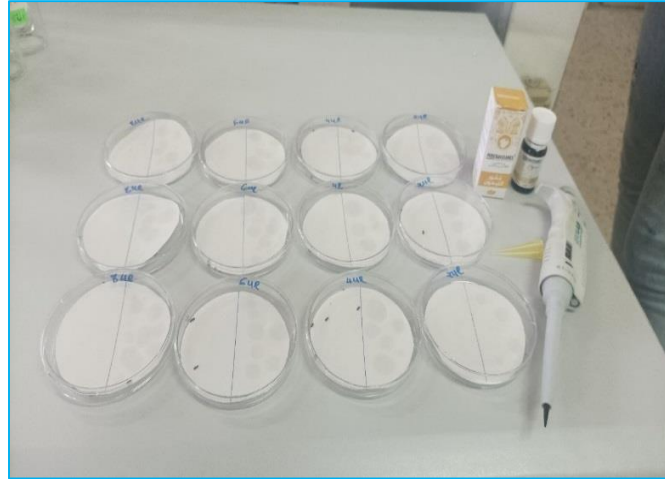


Figure 28 : Dispositif expérimental du test par répulsion de l'huile essentielle de zeste de citron *C. limon* à l'égard des adultes de *T. Castaneum* (Originel, 2023).

Le pourcentage de répulsion (PR) est ainsi calculé selon la formule utilisée par (Nerio *et al.*, 2009). Et comparé les résultats de Mc Donald *et al.* (1970) (Tab 03).

$$\text{PR (\%)} = \text{NT/NISA} \times 100$$

NT : nombre total présente dans la boîte de pétri.

NISA : nombre individu présente sur le demi-disque traité par l'acétone.

Le pourcentage de répulsion est attribué à l'une des différentes classes répulsives qui varie de 0 à 5 en adoptant la méthode de Mc Donald *et al.* (1970), qui sont présenté dans le tableau 3 :

Tableau 03 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald *et al.* (1970).

Classe	Intervalle de répulsions	Propriétés
0	PR < 0.1	Non répulsive
I	0.1 < PR < 20	Très faiblement répulsive
II	20 < PR < 40	Faiblement répulsive
III	40 < PR < 60	Modérément répulsive
IV	60 < PR < 80	Répulsive
V	80 < PR < 100	Très répulsive





VI.1. Résultats

VI.1.1. Résultats du test par inhalation

Le test par inhalation appliqué sur les adultes de *T. castaneum* traité par l'huile essentielle de *C. limon* est présenté dans les tableaux suivants.

Tableau 4 : Taux de longévité chez les adultes de *Tribolium castaneum* par inhalation à la dose de 2 μ l d'huile essentielle de *Citrus limon*.

Temps (h)	Dose (μ l)	Longévité (R1)	L (R2)	L (R3)
1	2	5	5	5
3	2	5	5	5
6	2	5	5	5
24	2	5	5	5
48	2	5	5	5
72	2	4	5	5
96	2	4	5	5
120	2	4	4	5

Tableau 5 : Taux de longévité chez les adultes de *Tribolium castaneum* traité par inhalation à

La dose de 4 μ l d'huile essentielle de *Citrus limon*.

Temps (h)	Dose (μ l)	Longévité (R1)	L (R2)	L(R3)
1	4	5	5	5
3	4	5	4	5
6	4	5	4	5
24	4	5	5	4
48	4	5	4	5
72	4	5	4	5
96	4	5	4	5
120	4	5	3	5





Tableau 6 : Taux de longévité chez les adultes de *Tribolium castaneum* traité par inhalation à la dose de 6 μ l d'huile essentielle de *Citrus limon*.

Temps (h)	Dose (μ l)	Longévité (R1)	Longévité (R2)	Longévité (R3)
1	6	5	1	1
3	6	4	3	4
6	6	3	4	4
24	6	4	4	3
48	6	4	4	3
72	6	4	4	3
96	6	4	3	3
120	6	4	3	3

Tableau 7 : Taux de longévité chez les adultes de *Tribolium castaneum* traité par inhalation à la dose de 8 μ l d'huile de *Citrus limon*.

Temps (h)	Dose (μ l)	Longévité (R1)	L(R2)	L(R3)
1	8	3	2	2
3	8	3	0	5
6	8	0	4	5
24	8	0	4	4
48	8	0	1	1
72	8	0	0	1
96	8	0	0	0
120	8	0	0	0





Les résultats décrits ci-dessus ont montré des taux de longévité des insectes observés en fonction du temps et des différentes doses d'huile essentielle *Citrus limon* montrent une longévité très variable.

Les résultats obtenus montrent que le taux de longévité des adultes de *T. castaneum* évolue proportionnellement avec la durée d'exposition et les doses de l'huile essentielle de *Citrus limon* par inhalation soit : 1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h ,96h, 120h.

❖ A la dose 2 μ l

L'action de l'huile essentielle de *Citrus limon* à la dose 2 μ l sur la longévité des adultes de *T. castaneum* est présentée dans la figure suivante (Fig. 29).

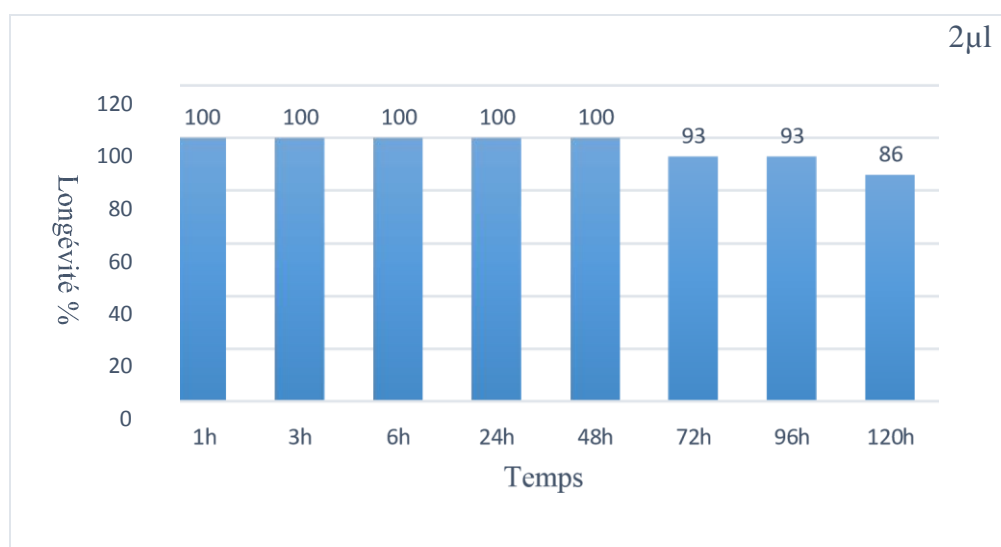


Figure 29 : Longévité des adultes de *T. castaneum* traités par 2 μ l l'huile essentielle de *Citrus limon* en fonction du temps.

La faible dose 2 μ l, l'huile essentielle montre un effet non toxique au bout de 1h de temps, avec une longévité stable des adultes de *T. castaneum* en fonction du temps d'exposition par inhalation. Au bout de 72h une mortalité de 7% est enregistrée et atteint jusqu'à 14% au bout de 120h.

❖ A la dose de 4 μ l

L'action de l'huile essentielle de *Citrus limon* à la dose 4 μ l sur la longévité des adultes de *T. castaneum* est présentée dans la figure suivante (Fig. 30).



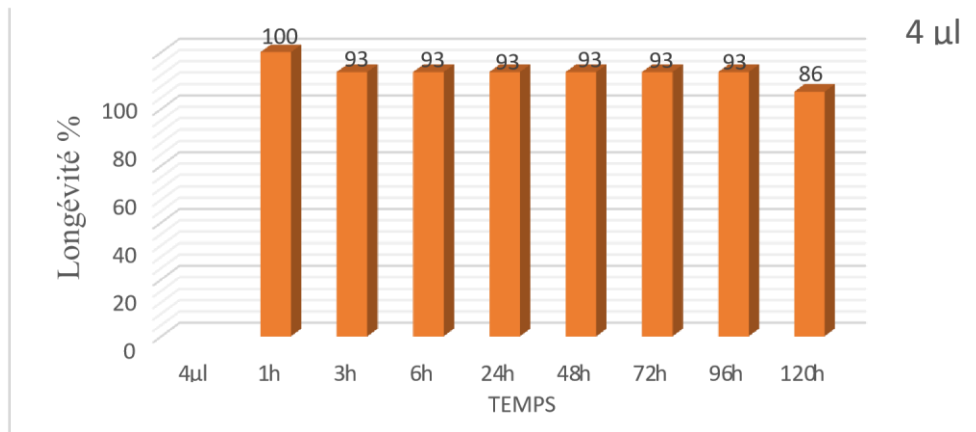


Figure 30 : Longévité des adultes de *T. castaneum* traité par inhalation avec l'huile essentielle de *Citrus limon* à dose 4µl.

La dose de 4µl, l'huile essentielle montre un effet non toxique au bout de 1h d'exposition. Au bout de 96h d'exposition une mortalité de 7% est enregistrée, atteignant jusqu'à 14% au bout de 120h.

❖ A la dose de 6 µl

L'action de l'huile essentielle de *Citrus limon* à la dose 6 µl sur la longévité des adultes de *T. castneum* est présentée dans la figure suivante (Fig. 31).

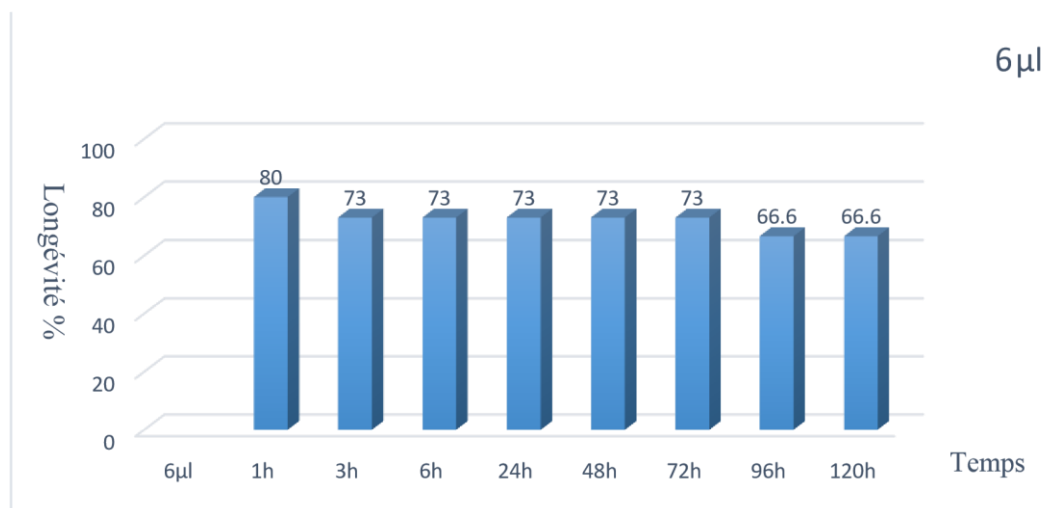


Figure 31 : Longévité des adultes de *T. castaneum* traitées par inhalation à la dose 6µl avec l'huile essentielle de *Citrus limon*.

A la dose 6µl, l'huile essentielle montre un effet toxique au bout de 1h d'exposition, au bout de 72h d'exposition une mortalité égale à 73% est enregistrée, atteignent une mortalité jusqu'à 96h.





❖ A la dose de 8 μ l

L'action de l'huile essentielle de *Citrus limon* à la dose 8 μ l sur la longévité des adultes de *T. castaneum* est présentée dans la figure suivante :

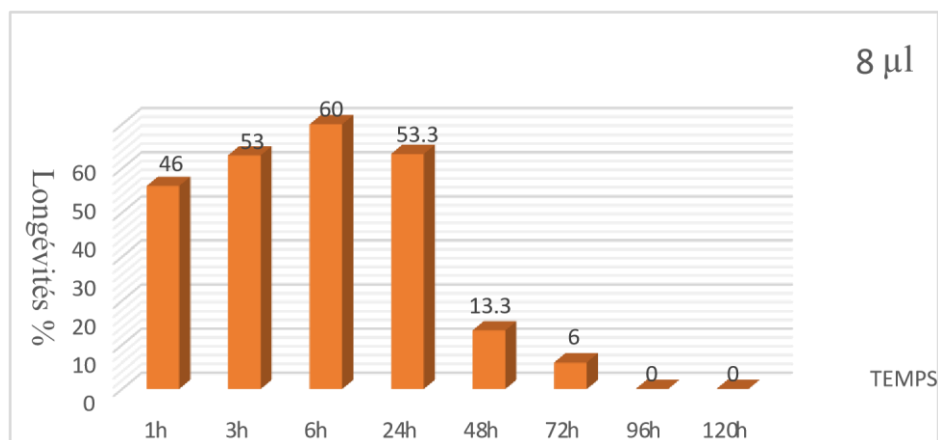


Figure 32 : Longévité des adultes de *T. castaneum* traitées par inhalation avec l'huile essentielle de *Citrus limon* à dose 8 μ l en fonction du temps.

A la forte dose, 8 μ l, l'huile essentielle montre un effet non toxique au bout de 3h. Au bout de 24h d'exposition une longévité égal à 53.3% est enregistrée et atteignant une longévité égale à 0% du au bout de 72h enregistrée.

VI.1.2. Résultats des tests par répulsion

Les résultats obtenus de l'effet de l'huile essentielle *Citrus limon* sur les adultes *T. castaneum* avec le test par répulsion sont présentés dans la figure suivante (Fig. 33).

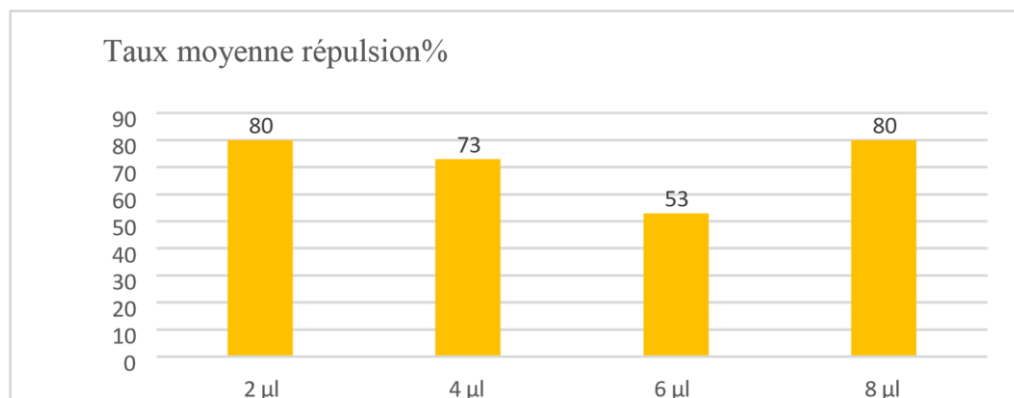


Figure 33 : Taux de répulsion des adultes *T. castaneum* traités par l'huile essentielle de *Citrus limon*.





D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que les doses 2 μ l, 4 μ l et 6 μ l et 8 μ l d'huile essentielle *Citrus limon* se révèlent répulsive avec des taux moyens égal à 53%, 73%, 80% (Tab. 8).

Tableau 8 : Nombre de *T. castaneum* recensés dans les parties traitées et non traitées et le pourcentage de répulsion de l'huile essentielle *Citrus limon*.

Huile	Dose	Moyenne d'individus présents		Pourcentage de répulsive (%)
		Dans la partie traitée	Dans la partie non traitée	
<i>Citrus limon</i>	2 μ l	4	1	80
	4 μ l	2	3	73
	6 μ l	2	3	53
	8 μ l	1	4	80

L'huile essentielle *Citrus limon* appliquée à l'égard des adultes de *T. castaneum* exprime un taux de répulsive de 53%, 73% et 80% pour les différentes doses.

Selon la classification de Mc Donald et *al.* (1970), l'huile essentielle de *Citrus limon* appartient à la classe IV ($60 < PR \leq 80$), donc elle est répulsive à l'égard des adultes *T. castaneum* (Tab. 9).

Tableau 9 : Classement de l'huile essentielle de *Citrus limon* selon sa propriété de répulsion sur les adultes de *T. castaneum*.

Huile	<i>Citrus limon</i>
Taux de répulsion	80%
Classe de répulsion	IV
Effet	Répulsif





IV.2. Discussions

Durant notre étude, nous avons évalué l'effet biocide de l'huile essentielle du *Citrus limon* par deux modes d'action : inhalation et répulsion sur les adultes de *T. castaneum*, ce qui montre une diminution de longévité suivant les doses appliquées et la durée d'exposition.

L'action biocide bien connue de plantes aromatiques est suffisamment relayée dans la littérature (Golob et Webedely, 1980 ; Glietho 1997 ; Regnault-Roger, 2002).

L'huile essentielle que nous avons testée semble avoir un effet toxique sur la longévité des adultes de *T. castaneum* ; ou nous remarquons que l'augmentation du taux de mortalité est fortement liée à la concentration d'huile essentielle et la durée d'exposition.

Selon Kim et *al.* (2003), les effets toxiques des huiles essentielles dépendent de l'espèce d'insecte, de la plante et du temps d'exposition. Ce qui confirment nos résultats montrent que les doses de 2 μ l et 4 μ l de l'huile essentielle *Citrus limon* présente un effet moins toxique au bout de 1h d'exposition chez l'adulte *T. castaneum* où la longévité de ce ravageur n'a pas un effet avec le temps.

Après quatre jours à savoir 72 h nous avons observé que le taux de la longévité des ravageurs commence à diminué de 7% et 14% au bout de 120h.

A la dose 6 μ l de l'huile essentielle *Citrus limon* présente, un effet biocide à partir d'une heure d'exposition jusqu'à 72h, atteignait 27% de la mortalité de ce ravageur. Après 96 h jusqu'à 120h une mortalité des déprédateurs 66.6% enregistrée.

Cependant, à la plus fort dose, 8 μ l, de l'huile essentielle *Citrus limon* donne un effet léthal sur les adultes *T. castaneum*, atteignent après 5 jours (96h) de traitement 0% de la longévité moyennes des individus.

Sur un autre bruche des stocks, *A. obtectus*, Goucem-Khelfane (2014) a montré que les huiles essentielles des plantes aromatiques comme le citronnier, le mandarinier, la lavande, l'Eucalyptus, le laurier noble et le cèdre inhibent l'émergence des adultes de ce ravageur potentiel d'haricot à la dose 8 μ l.

D'après Hamani-Aoudjit (2019), les huiles essentielles d'*O. vulgare* et de *S. officinalis* montrent un effet insecticide important par le test inhalation pour les adultes de *B. rufimanus* où le taux de longévité est de 97,5% à la dose 2 μ l au bout 96h d'exposition. De plus, cet auteur, rapporte une mortalité totale de deux sexe de *B. rufimanus* sous l'action de l'huile essentielle de *M. piperita* après 72h d'exposition pour toute les dose (2 μ l, 4 μ l, 6 μ l et 8 μ l).





Les travaux d'Aknine et Tahenni (2013) ont montré que la toxicité de l'huile essentielle du Citronnier sur les adultes de *B. rufimanus* diapausants augmente au fur et à mesure que les doses et la durée d'exposition augmentent pour les deux sexes. La plus forte dose de 10 μ l cause une mortalité de 100% au bout de 2 heures d'exposition pour les femelles et seulement 1 heure pour les mâles, l'huile essentielle *Citrus limon* montre un effet répulsif à l'égard des adultes *T. castaneum* avec un taux de répulsion de 80 % ; les doses 2 μ l et 8 μ l donnent une répulsion de 80% après 30 min d'exposition pour des adultes de *T. castaneum* cette répulsion diminue à 53% pour la dose 6 μ l.

D'après le pourcentage de la répulsion montre que l'huile essentielle *Citrus limon* est répulsive pour les adultes du *T. castaneum* pour les doses 2 μ l ,4 μ l et 8 μ l, et modérément répulsive à la dose 6 μ l.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que l'huile essentielle *Citrus limon* exerce un effet biocide très important sur le taux de viabilité des adultes de *T. castaneum* semblent similaires avec d'autres résultats enregistrés précédemment avec différents bio pesticides extraits par différentes techniques et sur différents ravageurs.

Nos résultats ne s'accordent pas avec ceux de (Kumar et al., 2009) qui ont observé un taux de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha longifolia* (Lamiacées) plus élevé de 85% contre les adultes de la bruche chinoise.

Aussi, Hammani et al. (2018) ont conclu que les huiles essentielles de citronnier et de lavande ont un effet répulsif sur les adultes de *C. maculatus*, avec un taux de répulsion de 63.75% et de 69.77% respectivement.

Des études réalisées en Afrique et particulièrement au Nord du Cameroun dans plusieurs agrosystèmes, révèlent que les producteurs utilisent des pratiques traditionnelles dont les extraits des plantes à effet insecticide et où insectifuge pour la conservation des produits agricoles en particulier le maïs et le niébé (Ngamo et al., 2007).

Des essais de toxicité conduits en conditions de laboratoire avec les huiles essentielles rapportent des toxicités variables en fonction des huiles essentielles utilisées. Cette différence d'action serait liée à la composition chimique de celle-ci, qui à son tour dépend de la source, de la saison, des conditions écologiques, la méthode d'extraction, le temps d'extraction et la partie de la plante utilisée (Sung-Eun Lee et al., 2001). En effet les huiles essentielles sont des mélanges de composés chimiques de nature et de fonctions différents (Ketoh, 1998).





D'après Regnault-Roger et *al.* (2002), les propriétés biocides des huiles essentielles agissent sous différentes formes :

- Une toxicité par inhalation par leur richesse en composé volatils.
- Une toxicité de contact qui provient de la formation d'un film imperméable sous forme de cuticule isolent l'insecte de l'air et provoquant son asphyxie.



Notre étude porte sur l'évaluation de l'effet biocide de l'huile essentielle extraite zeste du citronnier *Citrus limon* sur les adultes de *Tribolium castaneum* par deux modes d'action à savoir test par inhalation et répulsion.

L'huile essentielle de la plante du citronnier utilisée exprime une toxicité vis-à-vis des adultes de *Tribolium castaneum* ; qui varie suivant le type de test effectué ainsi que la durée d'exposition.

La longévité des individus de *T. castaneum* diminue au fur et à mesure que la dose de l'huile essentielle appliquée et au temps d'exposition augmente.

L'huile essentielle que nous avons testée semble avoir un effet toxique par inhalation sur la longévité des adultes de *Tribolium castaneum* ; notamment à la dose de 8 µl ou nous avons obtenus une diminution de la longévité des individus testé.

Le calcul du pourcentage de répulsion montre que l'huile essentielle de *C. limon* est répulsive sur les adultes *Tribolium castaneum* celle –ci est classée dans la catégorie IV ($60 < PR \leq 80$).

Après ces deux tests effectués nous pouvons conclure que l'application du traitement biocide à la base de l'huile essentielle de *C. limon* sur les adultes du petit ver des farines est efficace pour lutter contre ces déprédateurs des denrées alimentaires.

Des résultats similaires, voir plus prometteurs sont rapporté sur l'insecte étudié ; ces derniers avinent affectés par le dosage appliqué, le temps d'exposition ainsi que le mode d'action administré qui agissent de différentes manières sur sa longévité qui est fortement corrélér au type d'huile essentielle utilisée suivant le type d'essence végétale extraite.

En perspectives, il serait idéal d'envisagement d'autres tests, ainsi que l'emploi d'autres huiles essentielles à appliquer sur *T. castaneum* afin d'obtenir des résultats réduisant la longévité de ce ravageur en un temps relativement plus réduit.



A

- 1) **Aissata C., 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (Coléoptère : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* (Coléoptère : Tenebrionidae) dans les stocks de Riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales (doctoral dissertation, Thèse Doctorat Science, Montréal), 187P.
- 2) **Angelini, D.R., & Jockusch, E.L., 2008.** Relationships among pest flour beetles of the genus *Tribolium* (Tenebrionidae) inferred from multiple molecular markers. *Molecular phylogenetics and evolution*, 46(1) :127-171p.

B

- 3) **Batchelor, L.D., Sinclair, W.B., 1961.** world production and important commercial varieties. in: w.b. edition, university of california press, berkeley, ca.187p.
- 4) **Belaiche, P., 1979.** Traité de phytothérapie et d'aromathérapie. Tome I : l'aromatogramme. Ed. Maloine, Paris. 399p.
- 5) **Benlameur, Z. (2016).** Les ravageurs des denrées stockées et leur impact sur la santé humaine (Doctoral dissertation, ENSA). Thèse Doctorat en science. ENSA, Alger, 133p.
- 6) **Berka-Zougali, B., Ferhat, M.A., Hassani, A., Chemat, F., Allaf, K. S., 2012.** Comparative Study of Essential Oils Extracted from Algerian *Myrtus communis* L. Leaves Using Microwaves and Hydro distillation. *International Journal of Molecular Sciences*. 13(4) : 4673– 4695p.
- 7) **Bloksma et Bushuk, 1988. Menjivar, JA (1990).** Aspects fondamentaux de la rhéologie de la pâte. *Rhéologie de la pâte et texture du produits cuit*, 1-28p.
- 8) **Bornet F., 1992 :** le pain et produits céréaliers, alimentaires et nutrition humaines. ESF. 1992. p. 1533.
- 9) **Bousquet, Y. 1990.** un examen des espèces nord-américaines de *Rhizophagus* Herbst et une révision des membres nearctiques du sous-genre *Anomophagus* Reitter (Coleoptera:Rhizophagidae). *L'entomologiste canadien* ,122(1),131-171 .
- 10) **Bruneton, J., 1999.** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème éd. Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris. 266p.
- 11) **Bulot, S., 1990.** Traitement à la carte pour le grain stocké. *Semence et progrès*, 63 : 140- 142.

C

- 12) Calmont, B., et Soldati, F. (2008).** Découverte de *Tribolium madens* (Charpentier, 1825) dans le département du Puy-de-Dôme (France) ; clé de détermination et distribution des espèces du genre *Tribolium* en France. *Research Gate*. T. XVII (2) : 1-9p.
- 13) Camara A., 2009.** Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* herbst (Coléoptère : Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse. Doctorat., Université. Québec, Montréal. 179p.
- 14) Chenni , M., 2016.** Etude comparative de la composition chimique et de l'activité biologique de l'huile essentielle des feuilles du basilic *Ocimum basilicum* l'extraite par hydro distillation. Thèse de doctorat : chimie moléculaire. Université Ahmed Ben Bella .Oran .135p.
- 15) Cherbut C., 2003.** "Motor effects of short-chain fatty acids and lactate in the gastrointestinal tract." *Proc Nutr Soc*, 62(1) : 95-9p.
- 16) Cheriet G., 2000 :** Etude De La Galette : Différents Types, Recettes Et Mode De Préparation. P 99.
- 17) Cheriet G., 2000 :** Etude De La Galette Différentes Types Recette Et Monde De Préparation, P 99.
- 18) Clifford Trevor, H., Bostock, P. D. (2007).** *Etymological Dictionary of Grasses*. New York: Springer –Verlagheidelberg.p : 255–284.
- 19) Cruz, J.F., HounhouIgan, J. D., Lessard, F., F., Troude, F., 2016.** Les insectes des stocks et les méthodes de lutte. In : *La Conservation Des Grains Après Récolte*. Quae, CTA, Presses Agronomiques De Gembloux. France, 187 p.
- 20) Cseke, L.J. et. Kaufman P., 1992.** How and why these compound are synthesized by plants. Pages 37-90 in P.B.

D

- 21) Dajoz, R. (2010).** *Dictionnaire D'entomologie*. Paris : Tec & Doc. 348 p.

- 22) **Davies et Albrigo, 1994 (b) Dvies F.S.; Albrigo L.G. (1994).** fruit quality, and postharvest technology. in citrus. atherton j., rees, a., eds. crop production science in horticulture. Cabinternational , p : 45-49.
- 23) **Degryse A. C, Delpla. I & Voinier M.A 2008.** Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Atelier santé et environnement-IGS-EHESP.P9.
- 24) **Delobel A., et Tran M., 1993-** Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, IRD Editions, p : 275-280 et 345-346.
- 25) **Delobel, A., Tran, M. (1993).** Les coléoptères des denrées alimentaires entre posées dans les régions chaudes (vol.32). Édition IRD. Paris.187p.
- 26) **Dugo, G.; Di giacomo, A. (eds.), 2002.** citrus: the genus citrus. taylor and francis, london, UK: 19-34.

E

- 27) **Espirade ,E., 2002** introduction à la transformation industrielle des fruits Edition tec a doc, 365p.

F

- 28) **Fedina TY, et Lewis SM, 2007.** Effect of *Tribolium castaneum* (coleopteran: tenebrionidae) nutritional environment, sex and mating status on response to commercial pheromone traps. Entomological society of America, 100 (6) : 1924-1927.
- 29) **Feillet P., 2000 :** Le Grain de blé : composition et utilisation. Edition Quae, 308p.
- 30) **Ferrer, J. (1995).** A key to the Flour beetles of the genus *Tribolium* Macleay in Sweden (Coleoptera, Tenebrionidae), with distributional notes. Ent. Tidskr. 116 :123p.
- 31) **Fleurat-Lessard, F.,1980.** Détermination des facteurs de transfert des résidus de pesticides des céréales traitées aux produits transformés par une approche expérimentale apriori [présentation], INRA de Versailles-Grignon. p187.
- 32) **Fredot E., 2005** Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététiques. Edition Lavoisier. 2° édition. s.l. : TEC et DOC, édition médicales et internationale. 397p.
- 33) **Fredot E., 2012** Connaissances des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. édition Lavoisier. 3° éditions. s.l. : Tec et Doc, 614p.

G

- 34) **Gatel F., 2003** stockage et conservation des grains à la ferme, Edition. Arvalis, 80p
- 35) **Godon R Et Guinet B., 1994** : La Panification Française. edition Lavoisier, Tec Et Doc. P 521.
- 36) **Godon W et Loisel B., 1984** : Guide Pratique D'analyse Dans Les Industries De Céréales. Edition Lavoisier. Tec Et Doc. 1984. P. 685.
- 37) **Goergen, G., Fandohan, P., Heli, K., Lamboni Y., 2005.** Petit manuel d'indentification des principaux ravageurs de denrées stockées en Afrique de l'OUEST. IITA Cotonou. Bénin, 25p.
- 38) **Grysole, J. (2004).** La commercialisation des huiles essentielles. Manuel pratique des huiles essentielles : de la plante à la commercialisation. 139-141
- 39) **Gueye, M .T. Seck, D., Wathelet,J .P., Lognay ,G. (2011).** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : Synthèse bibliographique. Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 15(1).194-207.
- 40) **Guinoiseau,E., 2010** Molécules antibactériennes issus d'huiles essentielles : Séparation, identification et mode d'action. Thèse doctorat, Université De Corse-Pasqual Paoli. 149p.

H

- 41) **Haubruge, E, Hung, Y., Lam, S.L., HO, S.H., 2000.** Bioactivities of essentieloil from *Elletaria cardamomum* (L.) Maton. To *Sitophilus zeamais* Motschusky and *Tribolium castaneum* (Herbst). Journal of Stored Products Research. 36 (2), 107-117.
- 42) **Hikal, W. M., Baeshen, R. S., Said-AL AHL, H. A. H., 2017.** Botanical Insecticide as Simple Extractives for Pest Control. Cogent Biology, 3(1):325p.
- 43) -<https://jardinage.lemonde.fr/dossier-816-maladies-citronnier-agrumes.html> maladies et ravageurs des agrumes.

K

- 44) **Kassem N., 2014.** Activité biologique des poudres et des huiles de deux plantes aromatiques (*Pseudocytisus intergrifolius* salib et *Nepeta nepetella* l, sur les ravageurs du blé et des légumes secs. Thèse de doctorat : Ecologie et environnement. Tlemcen : université Abou Bekr Belkaid, 147 p.

45) Kaufman, L.J. Cseke, S. Warber, J.A. Duke et H.L. Brielmann (eds.), Natural Products from Plants. CRC Press, Boca Raton, FL, p: 26-28.

L

46) Ladaniya S.m., 2008. Citrus fruit biology. technology, and evaluation. 7 (7) :13-26p.

47) Lahlou M., 2004 - Methods to study the photochemistry and bioactivity of essential oils, Phytother.Res. N°18, pp. 435-448.

48) Lakhdar L, 2015. Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*: étude in vitro, Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Rabat, 197p.

49) Leelaja B.C., Rajashekar Y., et Rajendran S., 2007- Detection of eggs of stored-product insects in flour with staining techniques. Journal of Stored Product Research,43(3): p 206-210.

50) Leonard, S. & Ngamo, T. 2004. Conseil phytosanitaire interafricain, bulletin d'informations phytosanitaires. Edition, F.A.O Rome N : 44-58 p.

51) Lepsme P., 1944. Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Ed LECHEVALIER, Paris (VIe), 203p.

52) Lerant, P. (2015). Les insectes : Histoires insolites. Versailles, ED Quae. 633p.

53) Lucchesi M. E., 2005. Extraction sans solvant assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de doctorat. Université de La Réunion, 72p.

54) Lyon W.F., 2000- Confused and Red Flour Beetles. Ohio State University Extension Fact Sheet.HYG : 2087-2097.

M

55) 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. 127p.

56) Mikolo B., Massamba D., Matos L., Lenga A., Mbani G., et Balounga p. 2007. Conditions de stockage et revue de l'entomofaune des denrées stockées au Congo Brazzaville, Journal des sciences 7(1) : 30-38.

- 57) **Mossa, A., 2016.** Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest. Management. Journal of Environmental Science and Technology, 9(5), 354-378.

N

- 58) **Ngamo, L. S. T., Hance, T. H., 2007.** Diversité Des Ravageurs Des Denrées Et Méthodes Alternatives De Lutte En Milieu Tropical. Tropicultura. 25(4), 215-220p.
- 59) **Ngamo, L. S. T., Hance, T. H., 2007.** Diversité Des Ravageurs Des Denrées Et Méthodes Alternatives De Lutte En Milieu Tropical. Tropicultura. 25(4), 215-220p.
- 60) **Nogaret-Ehrhat, A-S. 2008.** La phytothérapie : se soigner par les plantes. Edition. Eyrolles, Paris.p200.

O

- 61) **Osborne T.B., 1907:** Proteine of The Wheat Kernel. Publ.84. Granergie Inst., Waschingon: 1-19.

P

- 62) **Perez-Mendoza J., 2014-** When Do Red Flour Beetles Fly? Integrated Pest Management, rev, IPM update, usa. Volume 54(2013), P :17-22.

R

- 63) **Ranjitha, J., Vijiyalakshmi, S., 2014.** Facile methods for the extraction of essential oil from the plant species – a review. International journal of Pharmaceutical sciences and research, 5(4), 1107-1115.
- 64) **Robinson, W. H. (2005).** Urban Insects and Arachnids: A Handbook of Urban
- 65) **Roger, D., 2002.** Les coléoptères carabidés et ténébrionidés : écologie et biologie. Edition. Lavoisier, Paris, 154p.
- 66) **Roulier, G. 1990.** Les huiles essentielles pour votre santé : traité pratique d'aromathérapie, éditions Graveson, 322p.

S

- 67) **Saroukolai, A. T., Ganbalani, N. G., Dastjerdi, H. R., Hadian, J., 2014.** Antifeedant Activity and Toxicity of Some PlantEssential Oils to Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). Plant Protection Scienc.,50(4): 207-216.

- 68) Sendi, J., J., Ebadollahi, A., 2013.** Biological Activities of Essential Oils on Insects. In: Govil J., N., & Bhattacharya, S. Recent Progress in Medicinal Plants (RPMP): Essential Oils–II. Studium Press LLC. India, 138 p.
- 69) Sheribha Prb, jinham ap, das ssam, 2010.** Management of *Tribolium castaneum* (Herbst) based on hue response. Journal Turc de de zoologie, Tubitaks journal. 34 (3) : 367 - 374. **T**
- 70) Tongnuanchan, P., Benjakul, S., 2014.** Essential Oils: Extraction, Bioactivities, and Their Uses for Food Preservation. Journal of Food Science. 79(7):1231–1249.
- 71) Tripathi, A., K., Upadhyay, S., Bhuiyan, M., Bhattacharya, P. R., 2009.** A Review on Prospects of Essential Oils as Biopesticide in Insect-Pest Management. Journal of Pharmacognosy and Phototherapy. 1(5) : 52-63.

V

- 72) Van Vilet ,T.; Janssen, AM., Bloksma, AH et Walstra, P. 1992.**L'ecrouissage de la patecomme exigeance pour la retention de gaz. Journal des études de texture, 23(1),439-460p.

W

- 73) Weidner H., et Rack G., 1984-** Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds, Eschborn GTZ, p. 54 et 129.



Chapitre 2

Généralités sur la plante hôte Citronnier





I. Le citronnier

I.1. Généralités sur les agrumes

La culture des agrumes a été pratiquée il y a au moins 4000 ans dans les régions tropicales et subtropicales du continent asiatique et de l'archipel malaisien (Batchelor Sinclair, 1961, Dugo et Di Giacomo, 2002).

Le terme agrumes, agrios ou citricos en espagnol, provient du latin acrumen (aigre), qui signifie dans l'antiquité la saveur âcre (acide) (Davies et Alberigo, 1994, Ladaniya, 2008 ; Khan et *al.*, 2010 ;).

Les agrumes se répartissent en plusieurs genres dont *Fortunela* et *Citrus* ; dans ce dernier se trouvent les principales espèces cultivées, à savoir : *Citrus reticulata* (Mandarinier), *Citrus clementina* (clémentinier), *Citrus grandis* (Pamplemoussier), *Citrus medica* (Cédratier), *Citrus aurantium* (bigaradier). *Citrus sinensis* (Oranger) et *Citrus limon* (Citronnier). Dans notre partie pratique, nous allons nous intéresser au *Citrus limon* (Citronnier).

I.2. Généralités sur citron

I.2.1. Définition du *Citrus limon* ou *limonum*

Le citron (*C. limon*) fait partie de la vaste famille des Rutaceae originaire du bassin méditerranéen, (Gollouin et Tonelli, 2013). Selon les espèces, la fleur se transforme en fruit mur, de forme ronde, allongée ou ovale (8 à 12 cm de long sur 5 à 6 cm de diamètre), présentant un téton à une extrémité et quelque fois à chaque extrémité (Espirad, 2002). Le fruit reste longtemps sur l'arbre sans que le goût ne s'altère (Bachés, 2011). Les caractéristiques de citron sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1: Les caractéristiques de citron

Partie de Fruit		Caractéristique
Écorce	Épicarpe	Jaune très odorantes, remplis de l'huile essentielles réparties de façon très irrégulière (Ladaniya, 2008 ; Bachés, 2011).
	Mésocarpe	Colore blanchâtre d'épaisseur variable (Ladaniya, 2008).
Pulpe		Juteuse et très acide représente 50 à 80% du fruit (Ladaniya, 2008).
Pépins		quelques pépins





I.2.1.1. Variétés de citron

Parmi les innombrables variétés de citron que nous pouvons trouver sur les marchés :
(fig. 12)

- a) Primofiori : d'Octobre à Décembre, forme ovale, peau fine, pulpe très juteuse.
- b) Internado : de Septembre à Octobre, fruit de grand de taille, peau très fine, pulpe juteuse et acide, pas des pépins.
- c) Verna : annuelle , fruit de couleur jaune intense, peau rugueuse et épaisse, pas des pépins, peu acide.
- d) Eureka : Cultivé durant quatre saisons, forme ovoïde, un zeste difficile à prélevé, juteuse et très acide (Fig.12)(Espirad, 2002).

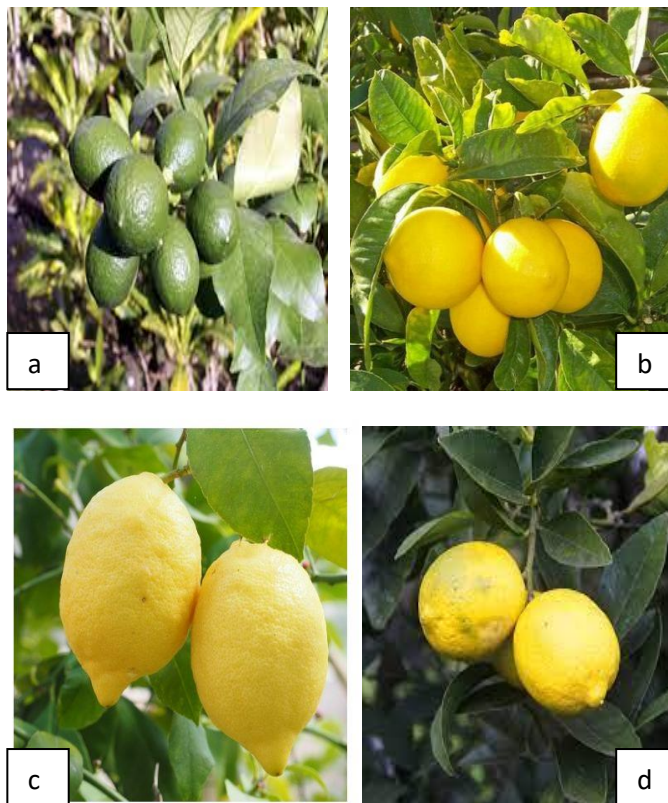


Figure 12 : Variétés de citron : a) Primo, Fiori, b) Internado, c) Verna, d) Eureka (Anonyme, 2023)



I.2.2. Position systématique

La systématique du citron selon Burm (1768) est la suivante :

Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Sapindales
Famille	Rutaceae
Genre	<i>Citrus</i>
Espèce	<i>Citrus limon</i>

I.2.3. Intérêt biologique de l'huile essentielle

L'huile essentielle de zeste de citron possède plusieurs intérêts à savoir :

- Participe au bon fonctionnement de l'immunité naturelle et régule les métabolismes.
- Propriété régulatrice sur le système hépatique et anti-nausée.
- Tonique digestif, carminatif et dépuratif général.
- Antiseptique général et bactéricide, notamment sur les Gram + et –.
- Antivirale et assainissant aérienne en diffusion.
- Dynamisante.

I.2.4. Différents ravageurs

I.2.4.1. Insectes piqueurs-suceurs

Ces insectes sucent la sève des agrumes et piquent l'arbuste pour injecter une substance toxique à l'origine du dépérissement de la plante, ils laissent une sorte de miellat qui n'est rien d'autre que leurs déjections collantes, mais qu'il est très difficile d'éliminer.

➤ Cochenilles farineuses

Ces petits insectes piqueurs sont protégés par une carapace cireuse : ils pompent la sève de la plante et finissent inévitablement par l'affaiblir en faisant sécher des branches entières. D'autres cochenilles s'attaquent aux agrumes nous citans : la cochenille asiatique (*Unaspis yanonensis*), la cochenille australienne (*Icerya purchasi*), la cochenille plate (*Coccus*





hesperidum), la cochenille serpette des agrumes (*Lepidosaphes gloverii*) ou encore le pou rouge de Californie (*Aonidiella aurantii*) (Fig. 13).



Figure 13 : Cochenilles farineuses (*Lepidosaphes gloverii*) des agrumes (Anonyme, 2023).

➤ **Aleurodes et mouches blanches**

Les aleurodes à mouches blanches des agrumes (*Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*) se reconnaissent en regardant le revers des feuilles couvert de masses blanches gluantes (Fig.14).



Figure14 : Mouches blanches des agrumes (*Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*). (Anonyme, 2023).

➤ **Cicadelles**

Les cicadelles blanches ou cicadelles pruineuses (*Metcalfa pruinosa*) sécrètent une matière cireuse et fibreuse, blanche destinée à protéger les pontes en stade larvaire de mai à septembre (Fig. 15).



Figure 15 : Cicadelles pruineuses (*Metcalfa pruinosa*) (Anonyme, 2023).





➤ **Teigne du citronnier**

La teigne du citronnier (*Prays citri*) est un insecte qui passe du stade de chenille à papillon dans un délai court : son évolution complète se fait entre 1 et 2 mois. Elle se multiplie toute l'année et attaque donc les agrumes sans interruption. Ce sont précisément les chenilles qui dévorent les fleurs, les bourgeons, empêchant la formation de fruits (Fig. 16).



Figure 16 : Teigne du citronnier (*Prayscitri*) (Anonyme, 2023).

➤ **Mineuses**

La mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) est un tout petit papillon grisâtre, asiatique qui pond sur les feuilles des jeunes pousses, permettant ensuite aux larves de creuser des galeries bien visibles faisant disparaître la chlorophylle. La lutte biologique avec des micro-guêpes semble efficace chez les professionnels (Fig. 17).



Figure 17 : Mineuse des agrumes (*Phyllocnistiscitrella*) (Anonyme, 2023).





I.2.5 Maladies

❖ **Phytophthora**

Le phytophthora des agrumes est un champignon qui se développe en période humide et chaude qui atteint l'arbuste par l'écorce fissurée ou coupée ; L'agrume finit par dépérir (Fig.18).



Figure 18 : Attaque du phytophthora sur agrumes (Anonyme, 2023).

❖ **Mal sec**

Le mal sec, dit mal secco, est une maladie cryptogamique qui touche plus particulièrement le citronnier et qui aboutit à priver l'arbuste de sève par obstruction des canaux, entraînant un dépérissement, il est préconisé de désinfectez toujours les outils de coupe qui permet être des vecteurs potentiels du champignon (*Phoma tracheiphila*). Les traitements sont inexistant : il faut couper et brûler les parties atteintes.

❖ **Chancre citrique**

Le chancre citrique, dit chancre bactérien des agrumes ou chancre asiatique des agrumes, est une maladie bactérienne causée par la bactérie *Xanthomonas axonopodis*. Le pied d'agrume va être moins vigoureux et les fruits seront moins beaux s'ils ne tombent pas avec les feuilles de façon prématurée. Les importations d'agrumes depuis l'Asie contribuent à la propagation de la bactérie (Fig. 19).



Figure 19 : Maladie bactérienne des agrumes chancre citrique, par la bactérie (*Xanthomonas*) (Anonyme, 2023).





Chapitre 3

Matériels et Methodes





Chapitre 4

Résultats et discussion





Conclusion



Résumé

Notre étude a pour objet d'évaluer l'effet biocide de l'huile essentielle du citronnier *Citrus limon* sur les adultes du ver des farines *Tribolium castaneum* ou ver rouge qui est important ravageur cosmopolite des produits céréaliers. L'expérimentation est réalisée au niveau du laboratoire production sauvegarde des espèces menacées et des récoltes variation climatique où nous avons testé l'huile essentielle *C. limon* à l'égard de *T. castaneum* suivant deux modes d'action, à savoir l'inhalation et de répulsion sous contrôle des conditions de laboratoire ; quatre micro-doses sont appliquées à raison de trois répétitions pour chacune et suivies selon un temps d'exposition précis (1h, 3 h, 6h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h). Les résultats obtenus indiquent que l'huile essentielle testée présente un effet toxique par inhalation sur les adultes de *Tribolium castaneum* au fur et à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent, de 4µl, 8 µl la plus forte dose de l'huile essentielle du citronnier enregistre une mortalité totale des adultes *Tribolium castaneum* après 96h d'exposition. Le test par répulsion révèle que l'huile essentielle de *Citrus limon* est répertoriée dans la classe IV ($60 < PR \leq 80$) ; ce qui indique qu'elle est répulsive avec un taux moyen de répulsion à 80%.

Mots-clés : Toxicité, *Tribolium castaneum*, *Citrus limon*, longévité, inhalation, répulsion.

Abstract

Our study aims to evaluate the biocidal effect of lemon tree essential oil *Citrus limon* toward mealworm or red mealworm adults *Tribolium castaneum* which is an important cosmopolitan pest of cereal products. The experiment is carried out at the level of the production laboratory to safeguard threatened species and climate variation corps where we tested the essential oil *C. limon* against *T. castaneum* according to two modes of action, namely inhalation and repellency, under controlled laboratory conditions ; four micro-doses applied at the rate of three repetitions for each and followed according to precise exposure time (1h, 3h, 6h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h). The results obtained indicate that the essential oil tested has a toxic effect by inhalation on adults of *Tribolium castaneum* as the dose and exposure time increase, from 4µl, 8µl the highest dose of the oil. The lemon tree records total mortality of *Tribolium castaneum* adults after 96 hours of the oil. The lemon tree records total mortality of *Tribolium castaneum* adults after 96 hours of exposure. The repellency test reveals that the essential oil of *Citrus limon* is listed in class IV ($60 < PR \leq 80$); which indicates that it is repulsive with an average rate of repellency equal to 80%

Keywords: Toxicity, *Tribolium castaneum*, *Citrus limon*, longevity, inhalation, repellency.