

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département d'Agronomie



# Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques  
Spécialité : Protection des Plantes cultivées

## Thème

**Evaluation de l'activité de deux bio insecticides à base d'huiles essentielles et comparaison de leurs efficacités par rapport à un insecticide de synthèse sur le *Tribolium castaneum*.**

**Présenté par** : M<sup>elle</sup> BOUDJEMA LIDIA & BOUBEKI DALILA

**Devant le jury :**

**Présidente** : M<sup>me</sup> MEDJDOUB-BENSAAD F. Professeure U.M.M.T.O

**Promotrice** : M<sup>elle</sup> ABDELLAOUI K. MAA U.M.M.T.O

**Examinatrices** : M<sup>me</sup> LEKMACHE-ARABDIOU Y. MAA U.M.M.T.O

M<sup>me</sup> DAHOUMANE-LARBAOUI A. MAA U.M.M.T.O

Année universitaire : 2015-2016

## *Remerciements*

*Il nous est tout d'abord agréable de remercier notre promotrice Mlle Abdellaoui Karima, qui a dirigé ce travail de recherche, nous avons eu le privilège de travailler avec vous et d'apprécier vos qualités et vos valeurs.*

*Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqués.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre respectueuse considération et notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaine.*

*Nous remercions infiniment madame la Professeure MEDJDOUB F. qui à bien voulu assumer la présidence du jury.*

*Nous remercions aussi M<sup>me</sup> LEKMACHE-ARABDIOU Y. et M<sup>me</sup> DAHOUMANE-LARBAOUI A. C'est un bonheur et un immense plaisir de présenter ce travail devant vous et de prendre de votre temps pour siéger dans notre jury.*

## DEDICACES

*A la mémoire de tous mes grands parents.*

*A ma très chère mère Hadjila*

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.*

*Tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte*

*Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*A mon chère père Mouloud*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai pour toi.*

*Rien au monde ne vaut les efforts que tu as fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

***A mes très chères sœurs Leila, Sabrina, Razika***

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.*

*Je vous remercie pour votre hospitalité sans égal, votre soutien et votre affection si sincère.*

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

***A mes chères frères Abdelghani, Redouane et Farid***

*Que ce travail soit un témoignage de mon affection et de mon profond respect pour vous*

***A mes très chères neveux et nièces Ramdane, Samy, Ilasse, Melissa, Naomie, Lamia et le future Maxime.***

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

***Lidia***

## *Dédicace*

*Louanges a Allah, seigneur de l'univers, le tout puissant miséricordieux, qui m'a inspiré et comblé de bienfait.*

*Je dédie ce travail à ceux qui ont toujours dévoué et sacrifié pour moi, qui m'ont aidé du mieux qu'ils pouvaient pour réussir, qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours, qui ont toujours été là dans les moments de détresse, Mes très chères parents.*

*A mes frères : Farid, Nadjim , Hilal ,*

*A mes soeurs : Aldjia, Fatima et son mari et ses deux enfants :*

*Anis et Axel,*

*A tout ma famille,*

*A tous mes amis,*

*A celui qui m'est très chère, qui a toujours été là pour moi, dans la joie et la tristesse, mon cher fiancé Lyes,*

*A la famille de mon fiancé.*

*Dalila.*

## Sommaire

---

### Remerciements

### Dédicaces

### Liste des figures et tableaux

### Introduction..... 1

## Partie théorique

### Chapitre1 : Synthèse bibliographique

I. Agents et causes des altérations des denrées stockées.....	3
I.1. Agents physiques.....	3
I.2. Agents biologiques.....	4
I.2.1. Microflore.....	4
I.2.2. Vertébrés.....	4
I.2.3. Arthropodes.....	5
I.2.3.1. Acariens.....	5
I.2.3.2. Insectes.....	5
I.2.3.2.1. Lépidoptères.....	5
I.2.3.2.2. Coléoptères.....	6
I.2.3.2.3. Nature des dégâts dus aux insectes.....	6
II. Présentation de <i>Triboliumcastaneum</i> (Herbest, 1797).....	7
II.1. Etymologie.....	7
II.2. Position systématique.....	7
II.3. Description des espèces du genre <i>Tribolium</i> .....	8
II.4. Origine et répartition géographique.....	8
II.5. Description morphologique des différents stades de développement du <i>T. castaneum</i> .....	9
II.6. Régime alimentaire et dégâts.....	10
II.7. Cycle biologique.....	10
II.8. Moyens de lutte.....	11
II.8.1. Lutte préventive.....	11
II.8.2. Lutte curative.....	12
II.8.2.1. Lutte chimique.....	12

II.8.2.2. Lutte physique.....	12
II.8.2.3. Lutte biologique.....	13
III. Huiles essentielles.....	14
III.1. Définition.....	14
III.2. Répartition et localisation.....	14
III.3. Principales techniques d'extraction des huiles essentielles.....	16
III.4. Méthodes d'analyses des huiles essentielles.....	17
III.5. Variabilité des huiles essentielles.....	18
III.6. Composition chimique des huiles essentielles.....	18
III.6.1. Terpènes et terpénoides.....	19
III.6.2. Composés aromatiques dérivés du phénylpropane.....	20
III.7. Propriétés physico-chimiques.....	21
III.8. Rôle biologique.....	21
III.8.1. Activité antioxydante.....	21
III.8.2. Activité antimicrobienne.....	22
III.9. Huiles essentielles et protection des plantes cultivées.....	22
III.9.1. Micro-organismes.....	22
III.9.2. Adventices.....	23
III.9.3. Insectes phytophages.....	24

## **Partie expérimental**

### **Chapitre1 : Matériels et méthodes**

I. But de l'expérimentation.....	26
II. Présentation de la zone d'étude.....	26
II.1. Situation géographique.....	26
III. Présentation des espèces végétales étudiées.....	26
III.1. Présentation d' <i>Artemisiaarborescens</i> ( <i>Asteraceae</i> ).....	26
III.2. Présentation de <i>Lavendulaangustifolia</i> ( <i>Lamiaceae</i> ).....	28
IV. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles.....	29
IV.1. Matériels.....	29
IV.1.1. Matériels végétal utilisé.....	29
IV.1.2. Insectes utilisés.....	29
IV.1.3. Matériels de Laboratoire.....	29
IV.2. Méthodes.....	29
IV.2.1. Elevage de masse.....	29

IV.2.2. Test de répulsion des huiles essentielles sur <i>Triboliumcastaneum</i> .....	30
IV.2.3. Test d'inhalation .....	32
IV.2.4.Evaluation de l'activité insecticide de la Deltaméthrine .....	33
V. Analyse statistique : Test ANOVA.....	34
<b>Chapitre II : Résultats et discussions</b>	
I. Comparaison de l'effet répulsif des huiles essentielles et d'un insecticide de synthèse à l'égard des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> .....	35
I.1.Etude de l'effet répulsif des huiles essentielles.....	35
I.2.Etude de l'effet répulsif d'un insecticide de synthèse.....	39
I.3. Comparaison de l'effet répulsif des huiles essentielles et l'insecticide de synthèse.....	40
II. Comparaison de l'effet insecticide par inhalation des huiles essentielles et d'un insecticide de synthèse à l'égard des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> .....	41
II.1. Effet des huiles essentielles par inhalation.....	41
II.2. Etude de l'effet insecticide par inhalation de la Deltaméthrine.....	44
II.3. Comparaison de l'effet insecticide par inhalation des huiles essentielles et l'insecticide de synthèse.....	45
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>48</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>49</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Œuf, larve, nymphe, adulte de <i>Triboliumcastaneum</i> (Herbst) (Devi et Devi, 2014).....	10
<b>Figure 2.</b> Illustration de la diversité des structures sécrétrices (Anonyme, 2016).....	16
<b>Figure 3.</b> <i>Artemisiaarborescens</i> (Originale, 2016).....	27
<b>Figure 4.</b> <i>Lavandulaangustifolia</i> (Originale, 2016).....	28
<b>Figure 5.</b> Elevage de masse de <i>Triboliumcastaneum</i> (Anonyme, 2016).....	30
<b>Figure 6.</b> Dispositif expérimental du test de répulsion (Originale, 2016).....	32
<b>Figure 7.</b> Dispositif expérimental du test d'inhalation (Originale, 2016).....	34
<b>Figure 8.</b> Résultats de la répulsion de l'huile essentielle d' <i>Artemisiaarborescens</i> .....	35
<b>Figure 9.</b> Résultats de la répulsion de l'huile essentielle de <i>Lavandulaangustifolia</i> .....	36
<b>Figure 10.</b> Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> traités par l'huile essentielle d' <i>Artemisiaarborescens</i> .....	42
<b>Figure 11.</b> Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> traités par l'huile essentielle de <i>Lavandulaangustifolia</i> .....	42
<b>Figure 12.</b> Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> traités par la Deltaméthrine.....	45

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Pourcentages de répulsion selon le classement de Mc Donald et al. (1970).....	31
<b>Tableau 2.</b> Propriétés physico-chimiques de la Deltaméthrine (Morolli et al., 2006 ; Bavoux et al., 2007).....	34
<b>Tableau 3.</b> Taux moyens de répulsion des huiles essentielles d' <i>Artemisiaarborescens</i> et de <i>Lavandulaangustifolia</i> à l'égard des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> et leur classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970).....	35
<b>Tableau 4.</b> Composés majoritaires des huiles essentielles d' <i>Artemisiaarborescens</i> (Younes, 2014).....	38
<b>Tableau 5.</b> Taux de répulsion de la Deltaméthrine sur les adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> et leur classement selon Mc Donald et al., (1970).....	39
<b>Tableau 6.</b> Résultats de la répulsion des huiles essentielles en comparaison avec l'insecticide de synthèse.....	40
<b>Tableau 7.</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile essentielle sur la mortalité des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> .....	43

<b>Tableau 8.</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur dose sur le taux de mortalité des adultes de <i>T.castaneum</i> .....	43
<b>Tableau 9.</b> Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur durée d'exposition sur le taux de mortalité des adultes de <i>T.castaneum</i> .....	43
<b>Tableau10.</b> Taux moyens de l'effet des deux huiles et la Deltamethrine sur la mortalité des adultes de <i>Triboliumcastaneum</i> .....	46

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins.

La filière céréalière constitue l'une des principales filières de la production agricole en Algérie. Les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. En relation avec le marché mondial, les produits céréaliers représentent plus de 40% de la valeur des importations des produits alimentaires. Ces derniers occupent le premier rang (39,22 %) devant les produits laitiers (20,6%), le sucre et sucreries (10%) et les huiles et corps gras (10%).

La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205kg/habitant/an (Chehat, 2007).

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, et elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. Traditionnellement, les ménages et l'Etat stockent toutes denrées en prévision d'une garantie en cas de crise. Malheureusement, les mauvaises conditions de stockage aggravent d'avantage le déficit des produits céréaliers. En plus, des quantités importantes sont endommagées dans les champs, avant et pendant la récolte respectivement par des ravageurs et les méthodes de récolte.

Les principaux agents responsables des dégâts au niveau des stocks sont les bactéries, les champignons, les acariens, les insectes, les oiseaux et les rongeurs. De tous les ravageurs, ce sont les attaques d'insectes qui sont la cause d'importantes pertes économiques au niveau du stockage de céréales.

La plupart des insectes qui causent la majeure partie des dégâts appartiennent aux ordres des coléoptères et des lépidoptères. Parmi les lépidoptères, quatre espèces sont souvent rencontrées dans les entrepôts. Il s'agit de *Sitotroga cerealella*, *Plodia interpunctella*, *Cadra cautella* et *Anagasta kühniella*.

Les coléoptères sont en nombre plus important, les plus nuisibles étant : *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum*, *Oryzeaphilus surinamensis*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus granarium*, *Rhyzopertha dominica*, *Trogoderma granarium* et *Gnathocerus cornutus*.

Pour atténuer quelque peu cette situation désastreuse et en vue d'accroître la production sans pour autant augmenter la superficie cultivée, il est plus que nécessaire de protéger toutes les récoltes.

Face à la menace que constituent ces insectes, les moyens de lutte sont essentiellement concentrés autour de l'utilisation d'insecticides chimiques surtout les fumigants dont

l'efficacité est certaine. Cependant, les risques de leur utilisation telles que leur toxicité, la perturbation de l'équilibre biologique de l'écosystème et le développement de souches résistantes, poussent à la recherche de nouvelles méthodes de lutte contre ces ravageurs.

Dans ce contexte, des efforts ont été fournis pour développer de nouveaux composés pour les substituer à ceux couramment utilisés. Les recherches se sont concentrées sur les produits naturels bioactifs extraits à partir de nombreuses plantes.

Dans cette optique, la valorisation des plantes aromatiques à effet insecticide prend de plus en plus d'ampleur au niveau des programmes de recherches dans le monde entier et particulièrement en Afrique.

L'Algérie recèle un patrimoine floristique important, qu'il est utile d'explorer et de valoriser en utilisant les substances bioactives issues du métabolisme secondaire des plantes, dans différents domaines comme la mise au point de nouvelles formulations de biopesticides.

Ce présent travail consiste à étudier les effets des huiles essentielles d'*Artemisia arborescens* (Asteraceae) et *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae) sur le ravageur des céréales stockées *Tribolium castaneum* et les comparer à un insecticide de synthèse, la Deltaméthrine, afin de mettre au point de nouvelles techniques de traitement et de lutte. Cette étude fait suite à de nombreux travaux déjà réalisés sur les insectes des denrées stockées.

Pour la réalisation de ce travail nous allons suivre le plan suivant :

La première partie de ce travail sera consacrée à une revue bibliographique relative aux agents d'altérations des denrées stockées en particulier *Tribolium castaneum*, et sur les méthodes de lutte contre ces ravageurs en particulier la méthode biologique, spécialement celle basée sur l'utilisation des huiles essentielles.

La deuxième partie sera consacrée au dispositif expérimental et les méthodes de calculs et de mesures.

La troisième partie comprendra la présentation des résultats obtenus et leurs interprétations.

Enfin, notre travail s'achève par une conclusion générale ainsi que des perspectives.

## **I. Agents et causes des altérations des denrées stockées**

La détérioration des denrées stockées est due à plusieurs causes. Il existe tout un ensemble de phénomènes physicochimiques et biologiques qui demeurent constants et qu'il est indispensable de connaître si l'on veut comprendre la mauvaise conservation des récoltes.

Les causes d'altérations ont diverses origines :

- Physiques : température, humidité, eau ;
- Biologiques : microflore (moisissures, bactéries, levures,...), arthropodes (insectes, acariens), vertébrés (rongeurs, oiseaux) ;
- Techniques : stockage (conditions, mode, durée,...), état du grain (brisures, impuretés, résidus,...).

### **I.1. Agents physiques**

Température et humidité agissent sur les différents agents biologiques présents, sur l'ampleur et la rapidité de leur développement, ces deux facteurs agissant sélectivement sur la physiologie de chaque espèce. L'optimum thermique de la plupart des arthropodes et micro-organismes des stocks se situe aux environs de 30°C. Au dessous de 18°C, leur développement se ralentit, ou même cesse, et au delà de 35°C, la température devient létale pour quelques espèces.

Une température supérieure à celle du grain au moment de l'entreposage rend probable une détérioration de la denrée consécutive à la respiration du grain ou au métabolisme d'insectes, de champignons ou de bactéries. De même, qu'il est indispensable de connaître la teneur en eau des denrées que l'on emmagasine, il est essentiel de pouvoir contrôler la température des produits entreposés : en effet, toute élévation anormale de la température sera l'indice d'une prolifération d'insectes (Appert , 1992a).

L'eau, sous forme liquide ou sous forme d'humidité contenue dans le grain ou l'air ambiant, est le plus souvent à l'origine des altérations. La présence d'eau accroît l'activité des micro-organismes et des insectes entraînant ainsi une diminution de la qualité du produit; un échauffement «humide» conduit à la prise en masse du grain et au développement des pourritures dues aux champignons, levures et bactéries (Appert ,1992a).

## I.2. Agents biologiques

### I.2.1. Microflore

Beaucoup de micro-organismes vivent sur le grain : bactéries, levures et moisissures. Celles-ci constituent le groupe le plus dangereux, en particulier les espèces du genre *Penicillium* et *Aspergillus* (Ducom, 1982a).

Selon Appert (1992b), Les spores de bactéries et de champignons commencent à se développer et à provoquer des dégâts dès qu'elles rencontrent des conditions favorables de température et d'humidité dont il faut s'efforcer d'empêcher l'apparition. Fermentations et pourritures ne se manifestent qu'en présence de grain humide, mal séché ou mouillé et dès que l'humidité de l'air atteint 65 % ; elles ne sont que la conséquence d'une présence excessive d'eau et sont surtout à redouter dans les climats humides. Les espèces de champignons qui se développent à la surface et à l'intérieur des graines alimentaires dépendent de la contamination, de la nature de la denrée, de la température, de l'humidité et de la teneur de l'air en oxygène. Les dégâts présentent plusieurs aspects :

- Echauffement «humide» du grain, entraînant sa prise en masse et l'apparition de fermentations ou de pourritures selon le pourcentage d'oxygène dans l'air.
- Diminution de la valeur nutritive par dégradation des glucides et des protides.
- Odeur de moisi qui se manifeste au sein des céréales à la suite de ces altérations.
- Atteinte du germe compromettant la faculté germinative.
- Apparition de mycotoxines (comme l'aflatoxine sur arachide) au delà de 30°C est dues au métabolisme des champignons. Ces poisons peuvent être très dangereux pour la santé de l'homme et des animaux.
- Infestation par les acariens, lesquels trouvent dans ces moisissures les éléments nutritifs dont ils ont besoin.

### I.2.2. Vertébrés

Divers petits vertébrés, tels que les souris, les rats et les oiseaux, peuvent vivre aux dépens de stocks de grains mal protégés dont ils peuvent consommer des quantités considérables. En outre leur déjections, peuvent aussi servir de vecteurs à des germes pathogènes (Appert, 1992 ; Multon, 1982).

Ces animaux sont porteurs d'agents pathogènes divers capables de transmettre la peste, le typhus, la rage, des spirochètoses hépatiques, la trichine, la fièvre de Lhassa etc. (Appert, 1992a).

### **I.2.3. Arthropodes**

#### **I.2.3.1. Acariens**

Les arthropodes les plus fréquemment rencontrés dans les denrées stockées sont les acariens (Fleurat-Lessard, 1978a).

Les acariens sont, des arthropodes, appartenant à la classe des Arachnides (Appert, 1992a ; Fleurat-Lessard, 1978a).

Le mauvais état sanitaire de la denrée explique leur présence et constitue déjà une cause de dépréciation (Appert, 1992a). Les infestations sont surtout constatées dans les marchandises fermentées par suite d'une humidité trop élevée et en voie d'altération (Lepigre, 1966).

Les principales espèces d'acariens nuisibles aux grains de céréales sont : *Acarus siro* L., *Tyrophagus putrescentiae*, *Glycyphagus destructor*, *Cheyletus eruditus* et *Melichares tarsalis* (Scotti, 1978).

#### **I.2.3.2. Insectes**

De tous les ravageurs, ce sont les insectes qui causent d'importantes pertes économiques au niveau du stock des céréales. Au niveau mondial, les insectes des denrées agricoles stockées provoquent de par leurs pullulations, leurs salissures et leurs excréments dans les entrepôts, 15 à 30% des dégâts. Dans les pays du tiers monde et particulièrement en Afrique, les pourcentages des pertes dues aux ravageurs peuvent atteindre dans certains cas 50% (Doumandji, 1983).

Parmi les insectes ravageurs des céréales entreposées, les plus fréquents sont les coléoptères et les lépidoptères. Ces derniers sont des insectes très évolués faisant partie des holométaboles (Doumandji, 1977).

##### **I.2.3.2.1. Lépidoptères**

Toutes les espèces de lépidoptères attaquant les denrées stockées, appartiennent au groupe des Hétérocères (Steffan, 1978).

Les espèces de lépidoptères qui infestent des denrées sont nombreuses. Ils ont une durée de vie relativement limitée, 1 à 2 semaines en moyenne (Godon et Willm, 1991).

*Sitotroga cerealella* (alucite ou alencite) commet les plus grands dégâts dans les champs et en post récolte (Lepigre, 1966). Le papillon adulte s'alimente pas à partir des matières solides, seules les larves ou les chenilles sont des déprédateurs. Les larves vivent au milieu de la nourriture mais arrivées au bout de leur développement, elles vont chercher les lieux isolés pour nymphoser (Ducom, 1985).

Les cadavres des lépidoptères polluent les produits de mouture en laissant un nombre considérable d'écailles. Cette indication est intéressante lors des contrôles de qualité des produits par la technique dite Filth- test (Godon et Willm, 1991).

#### I.2.3.2.2. Coléoptères

Cet ordre représente le plus grand nombre d'insectes nuisibles aux denrées stockées. Quelque soit leur stade, larve ou adulte, ils sont nuisibles. Dans bien des cas, certaines espèces, au stade larvaire, causent plus de dégâts que les adultes et vice-versa. Sous leur forme adulte et à des températures comprises entre 15 et 35°C et une humidité relative variant de 50 à 80%, les coléoptères vivent beaucoup plus longtemps que les lépidoptères (Steffan, 1978).

Les adultes sont moins mobiles et vivent plusieurs mois, ils mènent une vie « normale », se nourrissent et se reproduisent. Les pontes sont étalées dans le temps. Les populations augmentent donc progressivement, larves et adultes habitent les mêmes lieux. Les infestations sont plus discrètes que celles des lépidoptères.

Le genre dominant est *Tribolium* avec deux espèces : *Tribolium castaneum* et *Tribolium confusum*, semblable en taille au *Tribolium*, On trouve également le cornu, *Gnathocerus cornutus* et la cadelle, *Ténébroïdes mauritanicus*.

Les meuniers doivent prendre toutes les précautions nécessaires à l'égard *Cryptolestes spp*, car ces insectes sont très petits, qu'on peut les confondre avec le son, dont ils ont la même couleur (Ducom, 1985).

#### I.2.3.2.3. Nature des dégâts dus aux insectes

- **Prise de nourriture** : les insectes, adultes ou larves, se nourrissent du grain et consomment l'albumen et/ou le germe. L'attaque a pour conséquences une perte de poids, une diminution des éléments nutritifs, une altération de la qualité, une réduction du pouvoir germinatif et une diminution de la valeur marchande du produit qui se trouve déprécié (Appert, 1992a).

- **Souillures** : la présence de ravageurs dans les denrées se traduit nécessairement par des souillures liées à leur physiologie : excréments, œufs vides, dépouilles larvaires, cocons vides, cadavres d'adultes. Les Lépidoptères, en particulier, déprécient fortement les stocks par leurs cocons et surtout la sécrétion de nombreux fils de soie qui agglomèrent les grains entre eux et avec des excréments et débris divers. La consommation des céréales par les insectes produit de la poudre d'amidon (Appert, 1992a).
- **Echauffement** : le métabolisme des insectes s'accompagne d'une production de chaleur et d'humidité. Cette chaleur ne s'évacue pas et il se forme des «points chauds» où la température s'élève provoquant la mort des larves et la migration des adultes. La différence de température entre ces points chauds et l'air extérieur détermine une circulation d'air dans la masse. La rencontre de cet air chaud avec l'air frais engendre de l'eau de condensation qui se dépose sur les grains, provoquant leur prise en masse, la prolifération de moisissures et de champignons générateurs de toxines et finalement, leur pourriture (Appert, 1992a).
- **Transmission de maladies** : les insectes peuvent être les vecteurs de bactéries et de protozoaires pathogènes et véhiculer ainsi la typhoïde ou la dysenterie. Ils peuvent être aussi à l'origine d'allergies dues aux impuretés contenues dans le grain, et dont ils sont responsables, ou encore à l'existence de moisissures et d'acariens consécutive à leur présence (Appert, 1992a).
- **Altération des semences** : si les graines attaquées sont des semences, leurs qualités sont compromises soit que l'embryon ait été consommé, ou seulement endommagé, soit que les substances de réserve aient été, en partie ou en totalité, mangées (Appert, 1992a).

## II. Présentation de *Tribolium castaneum* (Herbest, 1797)

### II.1. Etymologie

- **Nom commun français** : Tribolium rouge de la farine, petit ver de la farine (Delobel et Trans, 1993)
- **Nom anglais** : *Red flour beetle* (Delobel et Trans, 1993).
- **Nom espagnol** : Tribolio castaneo ou gorgojocastano de la harina (Delobel et Trans, 1993).

### II.2. Position systématique

Selon Herbest (1797), *Tribolium castaneum* occupe la position systématique suivante :

- ✓ Règne : Animalia
- ✓ Embranchement : Arthropoda

- ✓ Classe : Insecta
- ✓ Ordre : Coleoptera
- ✓ Famille : *Tenebrionidea*
- ✓ Sous-famille : Tenebrionidae
- ✓ Genre : *Tribolium*
- ✓ Espèce : *Tribolium castaneum*

### II.3. Description des espèces du genre *Tribolium*

Les *Tribolium* sont de petits coléoptères extrêmement communs en France et en Afrique du Nord. A l'état adulte, ils sont de 4mm de long, de couleur rouge brun plus ou moins foncé.

*Tribolium castaneum* est le plus commun des insectes des denrées entreposées dans le monde entier. *Tribolium confusum*, espèce très voisine tend à le remplacer dans les pays froids, mais ses infestations n'atteignent jamais la même gravité (Champ et Dyte, 1976).

Ces deux espèces se distinguent comme suit :

*Tribolium castaneum* : antennes dont les 3 derniers articles sont brusquement élargis, beaucoup plus grand que les précédents (Kalache, 1989).

*Tribolium confusum* : antennes dont les articles s'élargissent progressivement (Kalache, 1989).

D'autre part, le rebord de la tête déborde latéralement au niveau de l'œil, chez *Tribolium castaneum* et non chez *Tribolium confusum* (Lepesme, 1944).

D'après Appert (1992b), les espèces du genre *Tribolium* présentent un optimum thermique situé entre 32°C et 35°C, et leur développement cesse au dessous de 22°C. Selon ce même auteur, les adultes et les larves sont capables de cannibalisme vis-à-vis des œufs et des nymphes.

### II.4. Origine et répartition géographique

L'aire de répartition de *Tribolium castaneum* est très vaste à travers le monde. Lepesme (1944) pense que son foyer d'origine est l'Inde, néanmoins, il a été également retrouvé en Amérique du Nord.

Lucas (*in* Lepesme, 1944), l'a découvert sous l'écorce du chêne liège dans les environs d'Oran et de Skikda.

Lepesme (1944), considère que *Tribolium castaneum* est un insecte des climats chauds qu'on trouve rarement au dessus d'un quarantième degré de latitude Nord, sauf dans les magasins

chauffés. La présence de cette espèce, à travers le monde résulte sans doute, des échanges commerciaux.

## II.5. Description morphologique des différents stades de développement du *T. castaneum*

Comme tous les coléoptères, *Tribolium castaneum* est un insecte à métamorphose complète (holométabole).

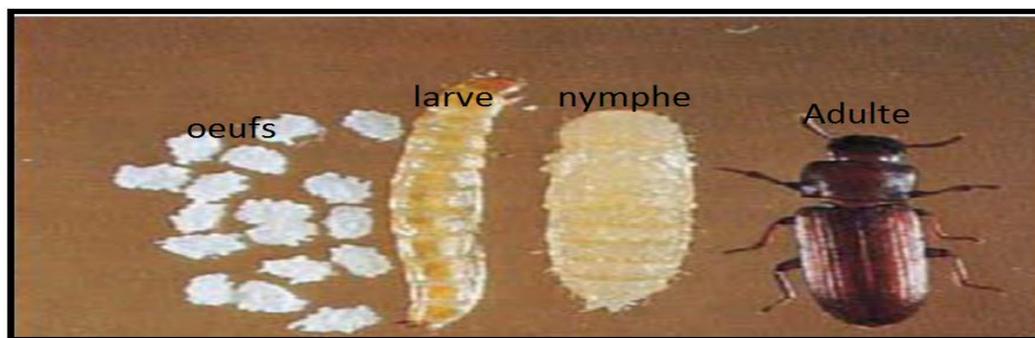
- **Œuf** : les œufs sont ovalaires, sans sculptures, ils mesurent en moyenne 0,6 mm de long (Steffan, 1978). Au moment de la ponte, ils sont de couleur blanche et sont recouverts d'une substance visqueuse qui leur permet d'adhérer à la denrée infestée (figure 2) (Balachowsky et Mesnil, 1936).
- **Larve** : la jeune larve L<sub>1</sub> est de couleur blanche. Elle mesure à peine 1,4mm. Elle passe ensuite par différents stades larvaires différenciés par la taille. A son développement complet, la larve mesure 6 à 7mm de long et 0,7 à 0,8mm de large (figure 2).

Le corps est couvert dorsalement par de nombreuses soies, il s'achève par une paire d'urogomphes rousses (Steffan, 1978).

- **Nymphe** : les nymphes ont un aspect analogue aux adultes, et sont de couleur claire (figure 2). Selon Lepesme (1944), la nymphe femelle possède à la face ventrale, au dessus de la paire d'urogomphe à extrémité très aigüe et brun foncé, 2 petites cornes qui, chez le mâle se réduisent à une légère protubérance déprimée au centre.
- **Imago** : la nymphe subit une mue imaginale et donne naissance à un imago. A son émergence, l'imago est de couleur claire. L'adulte est un coléoptère de couleur brun rouge dont la longueur varie de 3 à 4 mm (figure 2).

Les antennes sont nettement épaisses vers leur extrémité. Les élytres sont allongés et munies de stries de points bien nets. Chaque inter strie porte en son milieu une fine côte longitudinale (Lepesem, 1994). Ceci différencie les autres genres de la sous Famille.

Les pattes sont courtes, les tarse antérieurs et médianes sont formées de 5 articles, les tarse postérieures de 4 articles (Balachowsky et Mesnil, 1936).



**Figure 1.** Œuf, larve, nymphe, adulte de *Tribolium castaneum* H. (Devi et Devi, 2014).

## II.6. Régime alimentaire et dégâts

La vaste aire géographique et la propagation continue de ce ravageur vers de nouvelles régions du monde indiquent que ce dernier s'attaque à une large gamme de produits stockés. Toutefois, c'est aux céréales en stocks qu'il inflige les ravages les plus importants.

Son régime alimentaire d'origine est xylophage. Il s'est ensuite adapté à un régime cléthrophage. Ses attaques n'intéressent que les grains déjà détruits (Amllal, 1980)

L'espèce est aussi bien nuisible à l'état adulte qu'aux différents stades larvaires. Cet insecte cherche surtout les denrées amylacées pulvérulentes, telle que la farine.

Les denrées contaminées perdent de leur valeur commerciale par :

- ✓ modification de l'aspect extérieur ;
- ✓ changement de couleur par jaunissement et noircissement ;
- ✓ modification d'odeur qui devient rance et putride.

## II.7. Cycle biologique

On peut rencontrer cinq générations par an. Les adultes et les larves ne s'implantent généralement dans les grains qu'après les attaques de ravageurs primaires (Camara, 2009) ou lorsque les grains sont brisés (Seck, 1992)

Cette espèce est très prolifique. Se reproduit dans le grain endommagé, dans la poussière des céréales, grains de blé à haute humidité, la farine, etc. Les femelles Pondent 300 à 400 œufs au cours d'une période de cinq à huit mois (deux à trois œufs par jour). Dans les 5 à 12 jours, ces

œufs éclosent en larves minces, cylindriques de couleur blanche teintée de jaune. La longueur de la période larvaire varie de 22 à plus de 100 jours ; la nymphose est d'environ 8 jours. Entièrement larves, transformé en pupes nues, et dans une semaine les adultes émergents. Le cycle de vie nécessite 7 à 12 semaines, avec des adultes ayant une longévité de 3 ans ou plus. Ce type de coléoptère préfère des températures de 30 ° C et ne pourra pas se développer ou se reproduire à des températures inférieures à 18 ° C (Bennett, 2003).

## **II.8. Moyens de lutte**

Le souci majeur d'un stockeur est de garder son stock de denrées intactes. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes qui permettent d'éradiquer et de maintenir les populations des ravageurs à un niveau assez bas pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables.

### **II.8.1. Lutte préventive**

- Maintenir le bâtiment et les alentours en parfaite état de propreté.
- Destruction des détritits qui pourraient constituer un foyer d'infestation.
- Stockage des grains qui ne contiennent pas plus de 12% d'eau « grain séché » (Doumandji, 1983).
- Conserver dans un magasin des denrées appartenant à la même famille (blé, orge, maïs, etc.).
- Effectuer des inspections régulières et fréquentes, en vue de repérer le bon état sanitaire des marchandises entreposées.
- Triage des grains par tamisage mécanique.
- Retournement du grain qui a un effet important sur les insectes et les acariens qui résistent mal aux effets physiques du mouvement et l'abrasion.
- Choix du moment de la récolte
- 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.
- S'il y a une potentielle infestation par les insectes, il y a lieu d'échantillonner le contenu des sacs et d'effectuer des fumigations si la denrée est attaquée.
- Effectuer le traitement :

- des locaux, des abords (alentours), du matériel (nettoyage mécanique) par des traitements insecticides (badigeonnage, pulvérisation ou nébulisation).
- des sacs vides (généralement par trempage ou par pulvérisation avec une solution insecticide).
- des moyens de transport adéquat afin d'éviter l'infestation des denrées au cours du trajet.

## **II.8.2. Lutte curative**

Au cas où la méthode de lutte préventive n'est pas efficace, la protection des céréales stockées contre les attaques des ravageurs doit intégrer un certain nombre de techniques différentes conduisant à une bonne valorisation de la denrée considérée.

### **II.8.2.1. Lutte chimique**

Le traitement chimique contre les ravageurs est le plus pratiqué à l'heure actuelle et permet une désinsectisation de protection efficace mais jamais complète et inoffensive.

Deux types de traitement sont employés : le traitement par contact et le traitement par fumigation.

Différents produits chimiques sont utilisés pour lutter contre les insectes des stocks :

- **les organochlorés** : fréquemment utilisés dans le passé (D.D.T., Lindane, etc.), ils ne sont quasiment plus employés aujourd'hui, à cause de leur toxicité pour l'homme et les animaux.
- **les organophosphorés** : les plus connus et les plus utilisés sont : le Malathion, le Dichlorvos (ou DDVP) et le Promophos.
- **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).

### **II.8.2.2. Lutte physique**

- **Froid** : la lutte par le froid entraîne un ralentissement du développement des insectes, freiné dès que la température est inférieure à 10°C.
- **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.

Par ailleurs, le produit traité doit conserver l'ensemble de ses caractéristiques technologiques. Cette condition a été satisfaite dans le cas de traitements thermiques de blé dur ou de semoules (Fleurat-Lessard et Trentessaux, 1977).

- **Lutte par les radiations ionisantes** : elle consiste à traiter des grains par le rayonnement gamma émis par le cobalt 60 ou le césium 137, ou le traitement par des électrons d'une énergie inférieure à 10 mégasélectronvolt (Multon, 1982).

Les radiations ionisantes présentent des dangers pour l'homme et leur utilisation est très coûteuse (Fleurat-Lessard, 1978b).

- **Contrôle de l'atmosphère**

Il s'agit d'abaisser le taux d'oxygène de l'atmosphère intergranulaire jusqu'à un taux létal pour les insectes <1% d'O<sub>2</sub> (Cruz et al., 1988).

Dans certains pays, de bons résultats ont été obtenus en aérant le grain avec des mélanges d'azote, de dioxyde de carbone et d'oxygène, de façon à produire une atmosphère contrôlée dans l'espace intergranulaire dans des silos relativement hermétiques pour que la concentration des gaz demeure au niveau le plus efficace contre les insectes.

Jay (1983) a démontré l'effet de CO<sub>2</sub> sur la mortalité à trois stades de vie de *Tribolium castaneum* (larve, nymphe et adulte).

Comme les silos hermétiques sont coûteux, cette méthode n'est employée que lorsque les insecticides chimiques sont difficiles à obtenir ou à appliquer, ou encore lorsqu'ils sont inefficaces parce que les insectes ont développé une résistance à leur égard.

- **Désinsectisation par les ondes à hautes fréquences**

Un traitement par micro-ondes de hautes fréquences avec un complément de séchage permet une bonne désinsectisation. La libération de chaleur est d'autant plus forte quand le milieu traversé est hydraté (Fleurat-Lessard, 1978).

### II.8.2.3. Lutte biologique

La lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels (micro-organisme, de prédateurs, de parasitoïdes et de substances naturelles d'origine végétale) afin de contrôler les populations de ravageurs (Addor, 1995).

Les ennemis naturels ayant un impact sur *Tribolium castaneum* : les acariens (*Pyemotes ventricosus* NEWP (également appelé *Pediculoides ventricosus* NEWP) et *Acarophenax tribolii*

NEWP et DUV) et les *Bethylidae* : *Rhabdepyris zea* et *Sleroderma immigrans* qui parasite les larves) (Lepesme, 1944)

L'utilisation des phéromones d'insectes attractifs et répulsifs d'alimentation est d'un haut niveau de détection. Ils peuvent être employés comme indicateur des époques d'application des méthodes de lutte contre certains ravageurs des denrées stockées.

Ainsi, la lutte par les insecticides botaniques est très recommandée, parmi les moyens mis en œuvre par les plantes pour se défendre contre leurs déprédateurs, les médiateurs chimiques jouent un rôle déterminant (Mann, 1987).

Dans le bassin méditerranéen, on rencontre un très grand nombre de plante aromatique. Son climat riche en luminosité et en chaleur, qu'accompagnent des saisons marquées, exige de la part des plantes des efforts adaptatifs favorable à une richesse moléculaire évolutive leur conférant de multiples propriétés, entre autre l'effet insecticide (Penoel, 1994).

Les espèces de la famille de *Meliaceae*, *Rutaceae*, *Asteraceae*, *Labiataeae* et *Canellaceae* sont les principales familles les plus prometteuses comme source de bioinsecticides (Jacobsen et *al.*, 1989).

### III. Huiles essentielles

#### III.1. Définition

Les huiles essentielles sont des produits de composition généralement complexe renfermant les principaux composés volatiles contenus dans les végétaux (Charpentier et *al.*, 1998).

Les huiles essentielles sont des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les insectes et les champignons (Chiarson et Beloin, 2007).

L'odeur parfumée des plantes et des arbres est due à la présence des huiles essentielles (Bruneton, 1987 ; Népomirscène, 1995 ; Padrini et Lucheroni, 1997 ; Bachelot et *al.*, 2006 ).

Les huiles essentielles sont incolores ou jaunâtres à l'exception de l'huile essentielle de la matricaire qui est bleu à cause de l'azulène qu'elle contient et l'huile essentielle de la cannelle qui est rouge (Blaize, 1997 ; Charpentier et *al.*, 1998 ; Dutertre et Dubernet, 2001 ; Rahili, 2002).

#### III.2. Répartition et localisation

Dans Le règne végétal, les huiles essentielles se retrouvent généralement chez les végétaux supérieurs. Les genres capables d'élaborer les constituants qui les composent sont répartis dans

une cinquantaine de familles dont beaucoup appartiennent aux ordres des *Lamiales*, des *Astérales*, des *Rutales*, des *Laurales* et des *Magnoliales* (Mann, 1987). Elles peuvent être stockées à l'intérieur d'un ou de plusieurs organes, à titre d'exemples nous pouvons citer : les racines du vétiver (*Vetiveria zizanioides Stapf*) ; les rhizomes du gingembre (*Zingiber officinalis Roscoe*) ; les écorces du cannelier (*Cinnamomum zeylanicum Blume*) ; le bois du camphrier (*Cinnamomum camphora Sieb*) ; les tiges du romarin (*Rosmarinus officinalis L*) ; les feuilles de menthe (*Mentha piperita L*) ; les aiguilles de pin (*Pinus sylvestris L.*) ; les fleurs du giroflier (*Syzygium aromaticum L*) ; les graines ou les amandes du muscadier (*Myristicafragrans Houtt*) ; le péricarpe ou zeste des agrumes (*Citrus sp Blanco*) ; les fruits du bigaradier (*Citrus aurantium L*) (Bachelot et al., 2006 ; Bruneton, 1987 ; Népomirscène, 1995 ; Padrini et Lucheroni, 1997 ).

Sur le plan quantitatif, la teneur des plantes en huiles essentielles est généralement faible, de l'ordre de 1 % (Guignard, 1995). Des teneurs fortes comme celle des boutons floraux du giroflier (15%) sont rares et exceptionnelles.

Sous l'influence du rayonnement solaire, les huiles essentielles sont produites dans le protoplasme cellulaire des plantes aromatiques et représentent les produits du métabolisme cellulaire dit "secondaire"(Mann, 1987 ; Verbois, 2001).

La synthèse et l'accumulation de ces métabolites dans un organe sont associées à la présence de structures histologiques spécialisées qui selon l'espèce botanique peuvent être des cellules sécrétrices, des poches sécrétrices, des poils sécréteurs ou des canaux sécréteurs (Deysson, 1978 ; Verbois, 2001).

Il existe quatre structures sécrétrices:

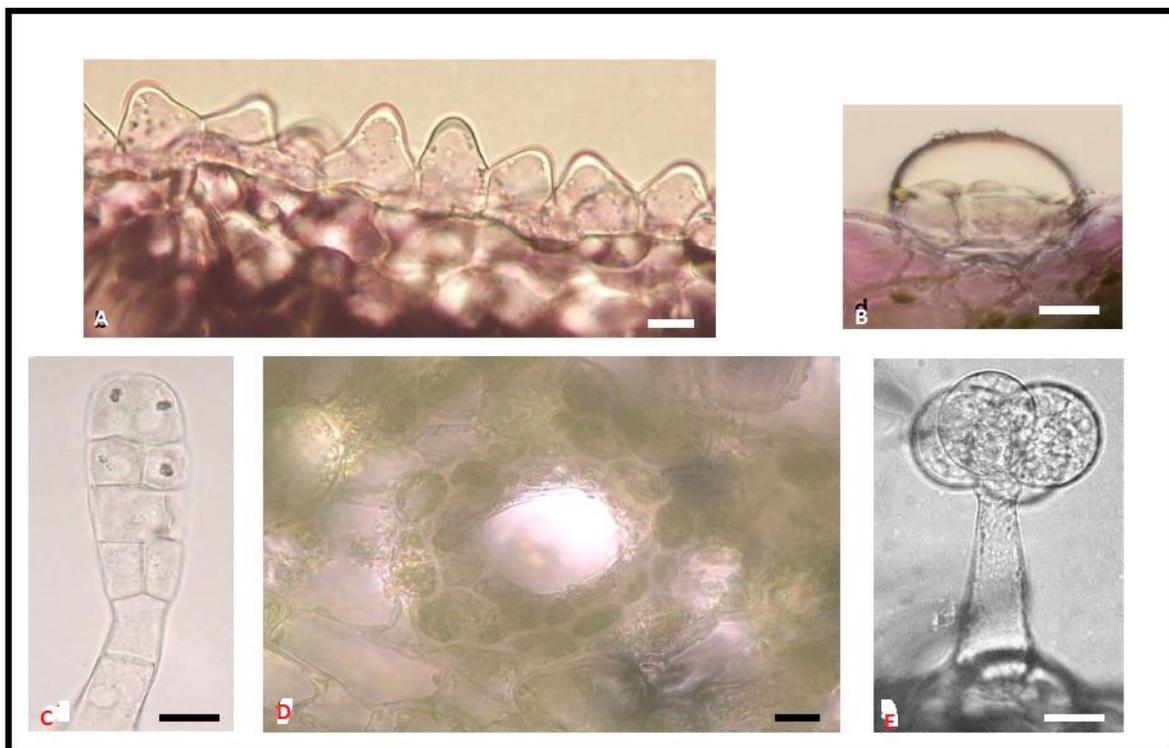
- les cellules sécrétrices isolées chez les *Lauraceae* et les *Zingiberaceae* ;
- les poils glandulaires épidermiques chez les espèces appartenant aux familles botaniques des *Lamiaceae*, *Gerniaceae* et *Verbenaceae* ;
- les poches sphériques "schizogènes" les glandes de type poche se rencontrent chez les *Asteraceae*, les *Hypericaceae*, les *Rosaceae*, les *Rutaceae*, les *Myrtaceae*...

L'extraction de l'huile essentielle dans la cavité des poches ou canaux est réalisée par exocytose chez les *Myrtaceae* ou par lyse des cellules bordant la cavité, chez les *Rutaceae* ;

- les canaux glandulaires lysigènes présents chez les *Pinophytes*, les *Apiaceae*...

Deysson (1978) et Bruneton (2002) affirment que la présence et la localisation des structures sécrétrices d'huiles essentielles sont des éléments important de détermination permettant

d'affilier un échantillon à une famille déterminée. Le fait que les huiles soient produites dans des cellules spécialisées permet à la fois, de réduire le risque d'autotoxicité pour la plante, et de stocker des quantités importantes de métabolites secondaires (Houel, 2011).



**Figure 2.** Illustration de la diversité des structures sécrétrices (Anonyme, 2016)

A, cellules papilleuses de l'épiderme de pétale de *Lamium purpureum* ;

B, glande peltée de feuille de *Mentha x piperita* ;

C, trichomes sécréteur à tête pluricellulaire et cristaux d'oxalate de calcium de pétale de *N. sylvestris* ;

D, canal résinifère de branche de *Pseudotsuga menziesii* ;

E, trichome sécréteur à 4 cellules de tête de feuille de *Lycopersicon esculentum*. Barres d'échelle, 10 µm sauf a, d et f, 20 µm.

### III.3. Principales techniques d'extraction des huiles essentielles

Les principales méthodes d'extraction sont :

- **Méthodes d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau :** elles sont basées sur le fait que la plupart des composés volatils contenus dans les végétaux sont entraînés par la vapeur d'eau, du fait de leur point d'ébullition relativement bas et de leur caractère hydrophobe. Sous l'action de la vapeur d'eau introduite ou formée dans le vase d'entraînement, l'essence aromatique

contenue dans la plante est chauffée, disloquée du tissu végétal et entraînée par la vapeur d'eau. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par décantation.

- **Hydrodiffusion** : elle consiste à pulser de la vapeur d'eau à travers la masse végétale, du haut vers le bas. Ainsi, le flux de vapeur traversant la masse végétale n'est pas ascendant, comme dans les techniques classiques de distillation, mais descendant. Le principe est de dégager et de condenser en utilisant la pesanteur, l'azéotrope produit par la vapeur d'eau et dispersé dans la masse végétale (Musseli et *al.*, 1997).
- **Hydrodistillation (distillation à la vapeur)** : le principe de l'hydrodistillation est celui de la distillation des mélanges binaires non miscibles. Elle consiste à immerger le matériel végétal dans un alambic rempli d'eau, que l'on porte ensuite à l'ébullition. La vapeur d'eau et l'essence libérée par le matériel végétal forment un mélange non miscible. Les composants d'un tel mélange se comportent comme si chacun était tout seul à la température du mélange, c'est-à-dire que la pression partielle de la vapeur d'un composant est égale à la pression de vapeur du composant pur. La pression totale au dessus du mélange est égale à la somme des pressions partielles de ses constituants.

#### III.4. Méthodes d'analyses des huiles essentielles

Les méthodes d'analyses des huiles essentielles peuvent être classées en deux groupes distincts:

- les analyses qui ont pour but de définir les caractéristiques physico-chimiques de l'huile essentielle (densité, indice de réfraction, pouvoir rotatoire, indice d'acide, indice d'ester, etc.). Ces caractéristiques propres à chaque essence servent de critère de qualité dans les transactions commerciales entre producteurs et acheteurs. Les méthodes de détermination à utiliser sont décrites dans le recueil de normes françaises "huiles essentielles" édité par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) et dans le recueil de normes de l'International Standard Organisation (ISO);
- celles qui ont pour objet l'identification qualitative et quantitative, des différents constituants d'une huile essentielle (CPG, CG/SM, etc.).

La chromatographie en phase gazeuse est la technique la plus utilisée pour ce type d'analyse. Le chromatographe peut être couplé à différents types de détecteurs, les plus utilisés sont: le

détecteur à ionisation de flamme (FID), le détecteur de masse (SM) et de plus en plus le détecteur infrarouge à transformé de Fourier (FTIR) (Browning, 1971 ; Dehoffman, 1994).

### **III.5. Variabilité des huiles essentielles**

La présence ou l'absence de certains constituants dans la plante dépend de l'un ou de la combinaison de trois facteurs (le patrimoine génétique, l'âge et l'environnement de la plante) (Senator, 1996 *in* Djibo et *al.*, 2004).

Les plantes réagissent avec le milieu environnant, et au cours de leur vie, la composition chimique de leurs métabolites peut évoluer.

Les huiles essentielles sont donc très fluctuantes dans leur composition, qui peut varier en fonction des conditions géographiques et climatiques, du terrain de culture de la plante, de l'année de culture (ensoleillement, hygrométrie, etc.), du mode cultural, de la période de récolte, de l'organe considéré, de la méthode d'extraction, etc.

La composition chimique de l'huile essentielle de certaines plantes peut varier à l'intérieur d'une même espèce. En effet une même plante aromatique, botaniquement définie, synthétise une essence qui sera biochimiquement différente en fonction du biotope dans lequel elle se développera ; ces variétés chimiques sont communément appelées chémotypes, types biogénétiques, races chimiques ou races biologiques.

Biochimiquement différent, deux chémotypes présenteront non seulement des activités thérapeutiques différentes mais aussi des toxicités très variables (Baudoux, 1997). La non-connaissance de cette notion capitale et le manque de précision laissent la porte ouverte aux échecs thérapeutiques et à la toxicité de certaines d'entre elles (Laouer, 2004).

### **III.6. Composition chimique des huiles essentielles**

Les huiles essentielles ont une composition assez complexe (Azevedo et Ferri, 2001). On y trouve généralement de nombreux constituants appartenant principalement à deux grandes familles chimiques : les composés terpéniques et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane. Les composés terpéniques sont formés d'unités isopréniques (en C5) et comprennent les monoterpènes en (C10), les sesquiterpènes (C15), les diterpènes (C20) et les triterpènes en (C30). Ils ont la même origine métabolique. Ces terpènes peuvent être acycliques, monocycliques ou bicycliques. En général, une huile essentielle est un mélange d'hydrocarbures

et de composés oxygénés dérivés de ces hydrocarbures. Parmi ces composés oxygénés, on peut noter la présence d'alcools, d'esters, d'aldéhydes, de cétones, d'ether-oxydes et de carbures.

### III.6.1. Terpènes et terpénoïdes

Il s'agit d'une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. Ils sont formés par la combinaison de 5 atomes de carbone (C5) nommée : isoprène (Bakkali et *al.*, 2008).

Ils sont classés selon :

- leurs fonctions : alcools (géraniol, linalol), esters (acétate de linalyle), aldéhydes (citral, citronellal), cétones (menthone, camphre, thuyone), éthers-oxydes (cinéole) ;
- leur structure : linéaire (farnésène, farnésol) ou cyclique : monocyclique (humulène, zingiberène), bicyclique (cadinène, caryophyllène, chamazulène) ou tricyclique (cubébol, patchoulol, viridiflorol) (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

Il convient à souligner que seuls les terpènes de faible masse moléculaire (mono – et sesquiterpènes) sont rencontrés dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999) leur conférant un caractère volatil et des propriétés olfactives (Pibiri, 2006).

**a- Monoterpènes :** ils sont constitués par le couplage de deux unités isopréniques (C10) et forment 90% des huiles essentielles avec une grande diversité de structures (Bakkali et *al.*, 2008).

Ils comportent plusieurs fonctions :

- *Carbures:* peuvent être de structure acyclique, monocyclique ou bicyclique :
  - Acyclique: ex : « myrcène », « ocimène », etc.
  - Monocyclique: ex : « terpinènes », « p-cimène », « phellandrenes », etc.
  - Bicyclique: ex : « pinènes », « camphène », « sabinène », etc

Ex : Huile essentielle de térébenthine : contient « alpha-pinène » et « camphène ».

- *Alcools:*
  - Acyclique: ex: « geraniol », « linalol », « citronellol », « lavandulol », « nerol », etc.
  - Monocyclique: ex: « menthol », « a-terpineol », « carveol »
  - Bicyclique: ex: « borneol », « fenchol », « chrysanthenol », « thuyon-3-ol », etc.

Ex: Huile essentielle de coriandre : contient « linalol ».

- *Aldéhydes:*
  - Acyclique: ex : « geraniol », « neral », « citronellal », etc.

Ex : Huile essentielle de citronnelle : contient « citral » et « citrannal ».

- *Cétones:*

- Acyclique: ex : « tegetone », etc.

- Monocyclique: ex : « menthones », « carvone », « pulegone », « piperitone », etc.

- Bicyclique: ex : « camphor », « fenchone », « thuyone », « ombellulone », « pinocamphone », « pinocarvone », etc.

Ex: Huile essentielle de sauge : contient « thuyone ».

- *Esters:*

- Acyclique: linalyl acetate or propionate, citronellyl acetate, etc.

- Monocyclique: menthyl or a-terpinyl acetate, etc.

- Bicyclique: isobornyl acetate, etc.

Ex: Huile essentielle de menthe bergamote : contient « acétate de linalyle ».

- *Ethers:*

ex : « 1,8-cineole », « menthofurane », etc

Ex : Huile essentielle d'eucalyptus globulus : contient « eucalyptol ».

- *Peroxydes:* ex : « ascaridole », etc.

Ex : Huile essentielle de chénopode : contient « ascaridol ».

- *Phénols:* ex : « thymol », « carvacrol », etc.

Ex : Huile essentielle de thym : contient « thymol » (Georges, 1979).

**b- Sesquiterpènes :** ils sont formés par l'assemblage de trois unités isopréniques (C15). Cependant leur structure ainsi que leur fonction restent similaires à celles des monoterpènes (Bakkali et al., 2008).

### III.6.2. Composés aromatiques dérivés du phénylpropane

Ils sont beaucoup moins fréquents dans les huiles essentielles que les composés terpéniques.

Ils comprennent :

- *Aldéhyde:* « cinnamaldehyde », ex : huile essentielle de cannelle

- *Alcool:* « cinnamic alcohol »

- *Phénols:* « chavicol », « eugénol », ex: huile essentielle de girofle (eugénol)

- *Dérivés méthyloxy:* « anéthole », « élémicine », « estragole », « methyleugénols », ex : huile essentielle de fenouil (anéthole)

- *Composés de méthylène dioxy*: « apiole », « myristicine », « safrole », ex : huile essentielle de persil (apiole).

### III.7. Propriétés physico-chimiques

Les huiles essentielles sont liquides à température ambiante mais aussi volatiles, ce qui les différencie des huiles dites fixes. Elles sont liposolubles et solubles dans les solvants organiques usuels ainsi que dans l'alcool, entraînaient à la vapeur d'eau mais très peu solubles dans l'eau.

Elles présentent une densité en général inférieure à celle de l'eau et un indice de réfraction élevé. Elles sont pour la plupart colorées : ex : rougeâtre pour les huiles de cannelle et une variété de thym, jaune pâle pour les huiles de sauge sclarée et de romarin officinal. Elles sont altérables et sensibles à l'oxydation.

Elles sont constituées de molécules à squelette carboné, le nombre d'atomes de carbone étant compris entre 5 et 22 (le plus souvent 10 ou 15) (Couic-Marinier et Lobstein, 2013).

### III.8. Rôle biologique

Les vertus des huiles essentielles sont connues et utilisées depuis longtemps, mais cette utilisation se basait sur des pratiques traditionnelles et des applications sans bases scientifiques précises.

Parmi les activités biologiques des huiles essentielles, nous pouvons citer les activités antimicrobienne et antioxydante.

#### III.8.1. Activité antioxydante

Un antioxydant (Moll, 1998; Jeantet *et al.*, 2006). Est défini comme une substance qui, à de faibles concentrations comparées à celles des substrats oxydables, prévient significativement ou retarde l'initiation du processus d'oxydation (Beirão et Bernardo-Gil, 2006).

Les méthodes utilisées pour évaluer l'activité antioxydante des huiles essentielles sont relativement peu nombreuses et font intervenir en général la coloration ou la décoloration d'un réactif spécifique en présence d'agent antioxydant (huile essentielle).

Quelques récentes publications ont rapporté que certaines huiles essentielles sont plus efficaces que quelques antioxydants synthétiques (Hussain *et al.*, 2008). Les effets antioxydants

d'huiles essentielles et d'extraits des plantes sont dus principalement à la présence des groupes d'hydroxyle dans leur structure chimique (Hussain, 2009).

### III.8.2. Activité antimicrobienne

Les substances antimicrobiennes sont définies comme étant des substances utilisées pour détruire les micro-organismes ou empêcher leur croissance, y compris les antibiotiques et autres agents antibactériens et antifongiques (CE, 2001).

Les huiles essentielles sont connues pour posséder l'activité antimicrobienne et certaines sont classées comme des substances sûres et pourraient donc être employées pour empêcher la croissance des microorganismes pathogènes et contaminants (Gachkar *et al.*, 2007; Rasooli *et al.*, 2008).

La plupart des publications ont confirmé la possibilité d'employer les huiles essentielles dans les aliments pour prolonger la durée de conservation des aliments (Bagamboula *et al.*, 2004; Piyo *et al.*, 2009; Hadizadeh *et al.*, 2009; Souza *et al.*, 2009; Ghasemi *et al.*, 2010).

### III.9. Huiles essentielles et protection des plantes cultivées

Les biopesticides à base d'huiles essentielles forment une classe de pesticides intéressante puisqu'en étant constituées de plusieurs composées à mécanismes d'action multiple, elles ont des modes d'application variés et plusieurs formulations sont déjà disponibles sur le marché des produits phytosanitaires (Chiasson et Beloin, 2007).

#### III.9.1. Micro-organismes

La grande majorité des études sur l'activité antibiotique des huiles essentielles porte sur les micro-organismes pathogènes pour l'homme ou qui altèrent sa nourriture

Les huiles essentielles les plus efficaces sont riches en phénols (thymol, carvacrol, eugénol) ou en aldéhyde cinnamique, bien que quelques alcools (linalol, terpinène-4-ol...) montrent dans certains cas une activité intéressante.

- **Bactéries phytopathogènes**

L'activité antibactérienne des huiles essentielles a été la plus étudiée. On distingue deux sortes d'effets des huiles essentielles sur ces microorganismes :

- Effet bactéricide (bactéricidie) : exerçant une activité létale
- Effet bactériostatique (bactériostase) : entraînant une inhibition de la croissance.

L'activité bactériostatique est souvent plus assimilable aux huiles essentielles que l'activité bactéricide. Cependant, il a été démontré que certains constituants chimiques des huiles essentielles ont des propriétés bactéricides (Kunle et *al.*, 2003).

- **Champignons**

Les huiles essentielles les plus étudiées dans la littérature pour leurs propriétés antifongiques appartiennent à la famille des *Labiatae* : thym, origan, lavande, menthe, romarin, sauge, etc...

L'activité fongistatique des composés aromatiques semble être liée à la présence de certaines fonctions chimiques (Vokou et *al.*, 1988). Les phénols (eugénol, chavicol 4-allyl-2-6-diméthoxyphénol) sont plus antifongiques et que les aldéhydes testés (cinnamique et hydrocinnamique). Ils présentent également des propriétés fongistatiques très marquées. Les groupements méthoxy, à l'inverse, ne semblent pas apporter à ce type de molécules une fongitoxicité significative. Cette activité est estimée selon la durée d'inhibition de la croissance déterminée par simple observation macroscopique. L'activité antifongique décroît selon le type de fonction chimique : Phénols>Alcools>Aldéhydes>Cétones>Ethers>Hydrocarbures.

### III.9.2. Adventices

Les études publiées sur l'activité des huiles essentielles comme herbicides sont nombreuses et recouvrent généralement des tests d'inhibition de germination de graines. Celles qui paraissent les plus actives sont des huiles essentielles à phénols (thymol, carvacrol), à cétones (carvone, pulégone) ou à étheroxydes (eucalyptol ou 18-cinéol).

Certains produits sont commercialisés. Ils sont majoritairement des herbicides de contact qui agissent en dissolvant la cuticule recouvrant les feuilles, ce qui entraîne la mort des cellules (Soltys et *al.*, 2013).

Certains composés issus des huiles essentielles agissent différemment, ils entraînent une décoloration et un flétrissement des adventices. Elle est efficace en pré et post levée des adventices (Dayan et *al.*, 2011).

### III.9.3. Insectes phytophages

Les activités des huiles essentielles décrites sur les insectes sont variées: larvicides, adulticides, répulsifs ou inhibiteurs de croissance. La plupart des huiles essentielles agissent en perturbant la structure de la membrane cellulaire mais, pour certaines, des effets neurotoxiques ont pu être mis en évidence. Par leur volatilité et leur petite taille, beaucoup des constituants des huiles essentielles interagissent avec les récepteurs d'odeur des insectes, déclenchant des comportements variés: fuite, attraction, oviposition, etc. (Regnault-roger et *al.*, 2012).

Les effets physiologiques qui existent sont :

- **Effets neurotoxiques** : les effets neurotoxiques sont dus à des interactions avec des neurotransmetteurs tels que le GABA (acide gamma-aminobutyrique) et l'octopamine, ou par inhibition de l'acétyl cholinestérase. Certaines huiles essentielles peuvent potentialiser l'action d'autres molécules en inhibant les cytochromes P450 qui, normalement les détoxifient.
- **Inhibiteurs de la croissance** : certaines plantes produisent des substances qui agissent au niveau des glandes endocriniennes régulant la croissance des insectes. Elles provoquent un arrêt ou un ralentissement de la croissance larvaire. Certaines substances lorsqu'elles sont présentes dans les plantes consommées par les insectes, elles inhibent la production d'hormones juvéniles et induisent des métamorphoses anticipées. Les adultes obtenus sont de petite taille et généralement stériles.
- **Antiappétants** : les plantes produisent plusieurs substances à effets toxiques ou anti appétant pour les insectes phytophages par exemple l'extrait de graine de Neem agit comme anti-appétant 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).
- **Effets physiques** : selon Chiasson et Beloin (2007), les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des insectes. Le rôle de cette cuticule est de prévenir les pertes hydriques, elle est sécrétée par l'épiderme et comporte plusieurs couches dont la couche externe, composée de cires donnant les propriétés hydrofuges à la cuticule. Ainsi, la nature lipophile de l'huile essentielle peut dégrader la couche cireuse et cause des pertes en eau, et peut aussi

provoquer l'asphyxie, car les trachées et les sacs d'air des insectes sont enduit de cette couche cireuse. L'activité des huiles essentielles est souvent réduite à l'activité de ses composés majoritaires, ou ceux susceptibles d'être actifs. Évalués séparément sous la forme de composés synthétiques, ils confirment ou infirment l'activité de l'huile essentielle de composition semblable. Il est cependant probable que les composés minoritaires agissent de manière synergique.

## **I. But de l'expérimentation**

Notre expérimentation a pour objectif d'évaluer l'activité insecticide de deux huiles essentielles extraites à partir de deux plantes appartenant à des familles botaniques différentes et comparer leurs effets à celui d'un insecticide commercial qui est la Deltamethrine.

Les plantes ont été récoltées dans la région d'Ibsekrienne dans la commune d'Aghribs, Daira d'Azeffoun, Wilaya de Tizi-Ouzou.

## **II. Présentation de la zone d'étude**

### **II.1. Situation géographique**

La commune d'Aghribs se situe à 40 Km au nord-est du chef lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou, elle est comprise entre Latitude 36° 48' 08" N et la longitude 4° 19' 22" E, qui couvre une superficie de 65, 12 km<sup>2</sup>, délimitée dans son ensemble par les communes de :

- Au nord par la commune d'Azeffoun ;
- A l'est par la commune d'Akerrou ;
- Au sud est par la commune d'Azazga ;
- Au Sud Ouest par la commune de Freha ;
- A l'ouest par la commune de Timizart ;
- Au Nord ouest, par la commune d'Iflissen.

Le climat de cette région relève du régime méditerranéen, sec et chaud en été, humide et assez froid en hiver.

## **III. Présentation des espèces végétales étudiées**

### **III.1. Présentation d'*Artemisia arborescens* (Asteraceae)**

*Artemisia arborescens* est une plante de la famille des Astéracées (anciennement appelée Composées), originaire des régions à climat tempéré d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Nord, et plus particulièrement du bassin méditerranéen.

Le genre comprend environ 300 espèces, annuelles ou vivaces, *herbacées* ou arbustives. Ce qui fait la particularité de *Artemisia arborescens*, c'est notamment l'huile essentielle qu'elle contient. Elle a de nombreuses propriétés thérapeutiques. C'est un bon antiparasitaire, un cicatrisant et un ténifuge efficace...etc.



**Figure 3.** *Artemisia arborescens* (Originale, 2016).

❖ **Position systématique d'*Artemisia arborescens***

Selon Spichiger et *al.*, (2004), *Artemisia arborescens* appartient au :

Règne	<i>Plantae</i>
Embranchement	Tracheophyta
Sous-embranchement	Equisetopsida
Classe	Eudicotylédones
Ordre	Astérales
Famille	Asteraceae
Genre	<i>Artemisia</i>
Espèce	<i>Artemisia arborescens</i>

❖ **Composition chimique :** les chémotypes sont courants, surtout chez les *Artemisia*.

Les cétones sont très répandues; de même les esters et le chamazulène est représentatif de la famille des Astéracées.

Les principaux constituants chimiques sont le beta-Thujone, le Camphre, le Myrcene, le Sabinene et le Chamazulene

### III.2. Présentation de *Lavendula angustifolia* (Lamiaceae)

La lavande (Lamiacée) est une plante aromatique des régions méditerranéennes aux feuilles vert grisâtres et fleurs en épi bleu violacées. C'est une espèce à fécondité croisée dont la pollinisation est assurée par les insectes. Leurs variétés sont différenciées selon la taille, la robustesse et l'abondance des tiges, l'élongation des inflorescences et les caractéristiques de l'essence ou on peut distinguer deux espèces principales : La lavande aspic (*Lavandula latifolia*) et la lavande vivace ou la lavande fine (*Lavandula angustifolia*) (Aubineau et al., 2002).



**Figure 4.** *Lavendula angustifolia* (Originale, 2016).

#### ❖ Position systématique de *Lavendula angustifolia*

Selon Spichiger et al., 2004, *Lavendula angustifolia* appartient au :

Règne	<i>Plantae</i>
Embranchement	<i>Spermatophyta</i>
Sous-embranchement	Angiospermae
Classe	<i>Eudicotyledones</i>
Ordre	Lamiales
Famille	<i>Lamiaceae</i>
Genre	<i>Lavendula</i>
Espèce	<i>Lavendula angustifolia</i>

❖ **Composition chimique** : l'huile essentielle de la lavande contiennent 31% de linalool, 38% de l'acétate de linalyle et moins de 1% de camphre et d'eucalyptol (Bellakhdar, 1997)

#### **IV. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles**

##### **IV.1. Matériels**

###### **IV.1.1. Matériels végétal utilisé**

Les huiles essentielles étudiées sont extraites à partir de la partie aérienne de deux espèces végétales récoltées dans le village d'Ibsekriene commune d'Aghribs : *Artemisia arborescens* et *Lavendula angustifolia*.

La récolte et l'extraction sont effectuées par notre promotrice Melle Abdellaoui Karima Maitre assistante Classe A à la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Les extractions ont été effectuées au laboratoire de Génie de la réaction de l'USTHB par hydrodistillation de type Clevenger.

###### **IV.1.2. Insectes utilisés**

L'espèce étudiée est *Tribolium castaneum*, ravageur des denrées stockées. Obtenue à partir des élevages en masse réalisés au niveau du laboratoire.

Les insectes adultes de *Tribolium castaneum* utilisés pour ont été identifié par les entomologistes de l'Université de Tizi-Ouzou.

###### **IV.1.3. Matériels de Laboratoire**

- Boîtes de Pétri de 10cm de diamètre et de 2cm de hauteur pour les tests de répulsion
- Des bocaux en verre pour les tests d'inhalation
- Acétone
- Des flacons pour le conditionnement des huiles
- Papier filtre
- Rubans adhésifs

##### **IV.2. Méthodes**

###### **IV.2.1. Elevage de masse**

Elevage de masse de *Tribolium* réalisé consiste à mettre en contact les *Triboliums* adultes males et femelles avec la farine ou la semoule dans un bocal en verre recouvert par un papier fixé par un bracelet élastique (figure 6). Ce dernier est placé dans un endroit chaud

afin de produire un nombre suffisant d'adultes pour les différents essais (croissance la plus rapide à 34°C).



**Figure 5.** Elevage de masse de *Tribolium castaneum* (Originale, 2016).

#### **IV.2.2. Test de répulsion des huiles essentielles sur *Tribolium castaneum***

Ce test 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 le réaliser nous avons suivi les étapes suivantes :

- découpage en deux parties égales des disques de papier filtre Whatman N°2 de 9 cm de diamètre.
- préparations de différentes dilutions de 5, 10, 15 et 20  $\mu$ l dans 0,5ml d'acétone pour chaque huile essentielle, pour que la répartition d'huile soit homogène sur le papier filtre.
- à l'aide d'une micropipette, une quantité de chaque solution est uniformément répandue sur une moitié du papier, tandis que l'autre moitié reçoit uniquement de l'acétone.
- après évaporation complète du solvant à l'air libre pendant 15mn, nous rassemblons les deux parties (partie traitée et non traitée) et nous les plaçons dans une boîte de Pétri de 9 cm de diamètre.
- vingt adultes, ou larves, de *Tribolium castaneum* sont libérés au centre de chaque papier filtre et les boîtes sont fermées (figure 7).
- trois répétitions ont été effectuées pour chaque concentration et pour chaque huile.
- le dénombrement des insectes sur les demi-disques est réalisé chaque heure durant cinq heures et un dénombrement est effectué après 24 heures.

Le pourcentage de répulsion (PR) est ainsi calculé selon la formule utilisée par Nerio et *al.*, (2009).

$$\text{PR (\%)} = [(N_c - N_t) / (N_c + N_t)] \times 100.$$

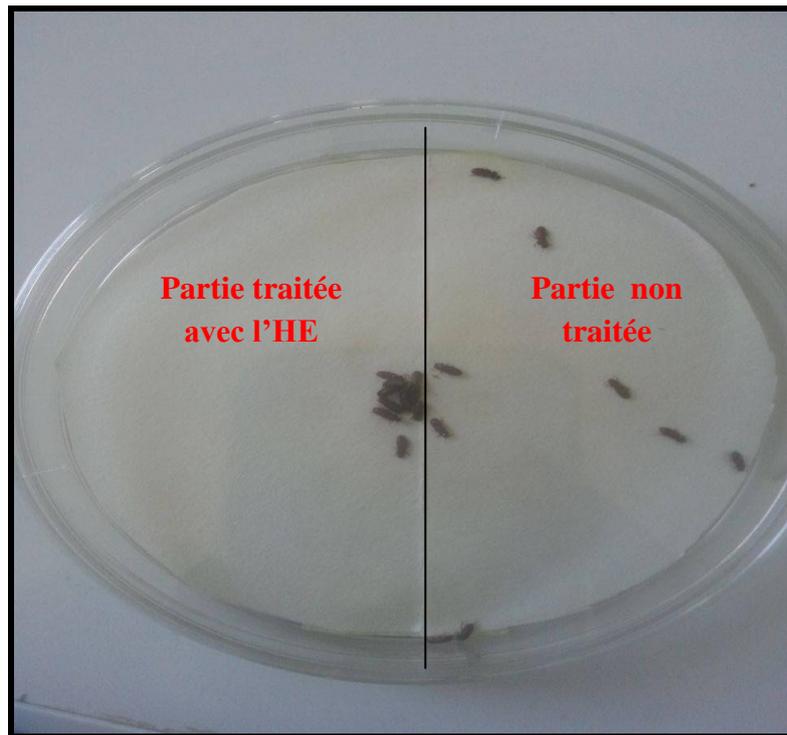
$N_c$  : nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité avec l'acétone uniquement.

$N_t$  : nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité avec la solution huileuse.

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

**Tableau 1.** Pourcentages de répulsion selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970)

Classes	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	$\text{PR} \leq 0.1\%$	Très faiblement répulsif
Classe I	$0.1\% < \text{PR} \leq 20\%$	Faiblement répulsif
Classe II	$20\% < \text{PR} \leq 40\%$	Modérément répulsif
Classe III	$40\% < \text{PR} \leq 60\%$	Moyennement répulsif
Classe IV	$60\% < \text{PR} \leq 80\%$	Répulsif
Classe V	$80\% < \text{PR} \leq 100\%$	Très répulsif



**Figure 6.** Dispositif expérimental du test de répulsion (Originale, 2016).

#### IV.2.3. Test d'inhalation.

Ce test consiste à évaluer l'effet des huiles essentielles par fumigation sur la longévité des adultes de *Tribolium castaneum*.

- dans des bocaux en verre de 500 ml de volume, des masses de papier filtre Whatman N°2 de 2cm de diamètre sont fixés par un fil à la face interne des couvercles. Des doses de 20, 40, 60 et 80 $\mu$ l des huiles essentielles sont injectées séparément dans du papier filtre. Parallèlement, un témoin n'ayant pas reçu d'huile est réalisé.
- dix adultes de l'insecte sont introduits dans chaque bocal qui sera ensuite fermé hermétiquement (figure 8). Trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose et pour le témoin.
- un dénombrement des individus morts est ensuite effectué après un temps d'exposition variable d'un jour à 5 jours.
- la mortalité a été calculée et corrigée selon la formule d'Abbott (1925) en tenant compte de la mortalité naturelle ( $M_t$ ) observée sur le témoin :

$$M_c \times 100$$

$M_c$  : mortalité corrigée ;

$M_0$  : mortalité de l'échantillon testé ;

$M_t$  : mortalité dans le témoin non traité.



**Figure 7.** Dispositif expérimental du test d'inhalation (Originale, 2016).

- A : Couvercle muni d'un joint étanche
- B : Fil
- C : Masse de papier filtre + dose d'HE
- D : Bocal d'un litre de volume contenant 10 adultes de *T. castaneum*

#### Calcul des taux de mortalité

Le pourcentage de mortalité observée quotidiennement chez les larves témoins et traitées par les huiles essentielles est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Mortalité observée} = \frac{\text{Nbr d'individus morts}}{\text{Nbr total d'individus}} \times 100$$

#### IV.2.4. Evaluation de l'activité insecticide de la Deltaméthrine

Nous avons comparé l'efficacité des huiles essentielles tant que répulsives et adulticides avec un insecticide de synthèse qui est composé d'une seule matière active « la deltaméthrine » (25g/l) qui appartient à la famille des pyréthrinoïdes.

Ses caractéristiques et paramètres physicochimiques sont consignés dans le tableau 2. Nous avons utilisé la même démarche expérimentale et les mêmes doses utilisées pour les bio-essais.

**Tableau 2.** Propriétés physico-chimiques de la Deltaméthrine (Morolli et *al.*, 2006 ; Bavoux et *al.*, 2007).

<b>Deltaméthrine</b>	
<b>Paramètre</b>	<b>Valeur</b>
Formule chimique	$C_{22}H_{19}Br_2NO_3$
Nom chimique	(S)- $\alpha$ -cyano-3-phenoxybenzyl (1R,3R)-3-(2,2-dibromovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane Carboxylate.
Solubilité dans l'eau	0.0002 à 25 °C et au pH de 7.5 à 7.9
	<0.005 à 20 °C et au pH de 6.2
Dissociation dans l'eau	Absence de dissociation
Vitesse d'hydrolyse (jour)	Temps de demi-vie : 2.5 jour(s) à 25 °C et au pH de 9
	Stable à 25 °C et au pH de 5 à 7
	Temps de demi-vie : 31 jour(s) à 23 °C et au pH de 8
Pression de vapeur (nPa à 25 °C)	12.4
Solubilités dans les solvants organiques (g/L) à 20 °C	Acétone : 300 - 600 DMSO : 200 - 300 Méthanol : 8.15 n-heptane : 2.47 Xylène : 175
Caractéristiques de photolyse	directement phototransformée e, DT50 = 48 jours
	Indirectement phototransformée, DT50 = 4 jours

### V. Analyse statistique : Test ANOVA

Les résultats des différents essais ont été soumis au test de l'analyse de la variance (ANOVA) selon plusieurs critères de classification, suivi par le test de Newman et Keuls à 5%.

**I. Comparaison de l'effet répulsif des huiles essentielles et d'un insecticide de synthèse à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum***

**I.1. Etude de l'effet répulsif des huiles essentielles**

Les résultats du test de répulsion sont représentés au niveau du tableau 3. Les deux huiles se sont montrées répulsives à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* même à plus faible dose (5µl). Le calcul du pourcentage de répulsion par la méthode de Mc Donald et ses collaborateurs (1970) a montré que l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* est très répulsive avec un taux de (86%) et l'huile de *Lavandula angustifolia* est répulsive avec un taux de (78%).

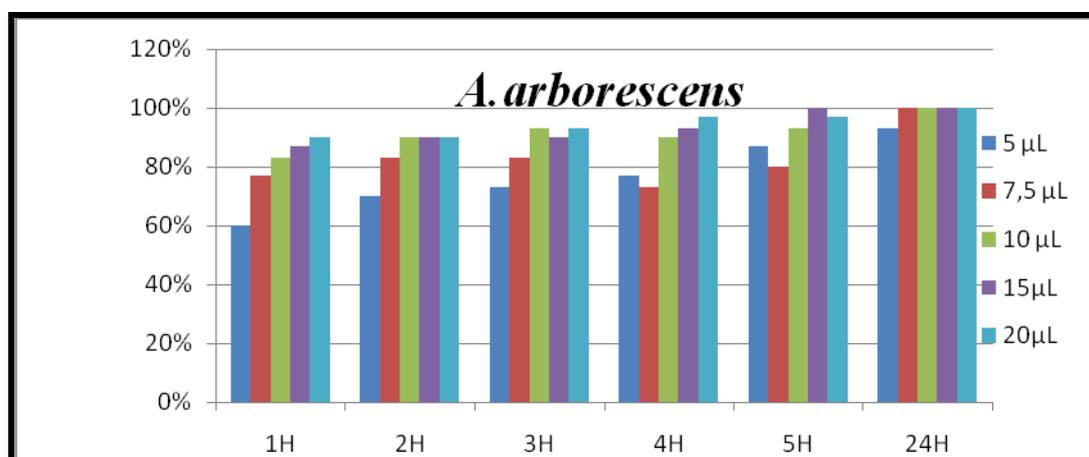
L'analyse de la variance a montré des différences significatives pour les deux huiles.

**Tableau 3.** Taux moyens de répulsion des huiles essentielles d'*Artemisia arborescens* et de *Lavandula angustifolia* à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum* et leur classement selon la méthode de Mc Donald et al. (1970).

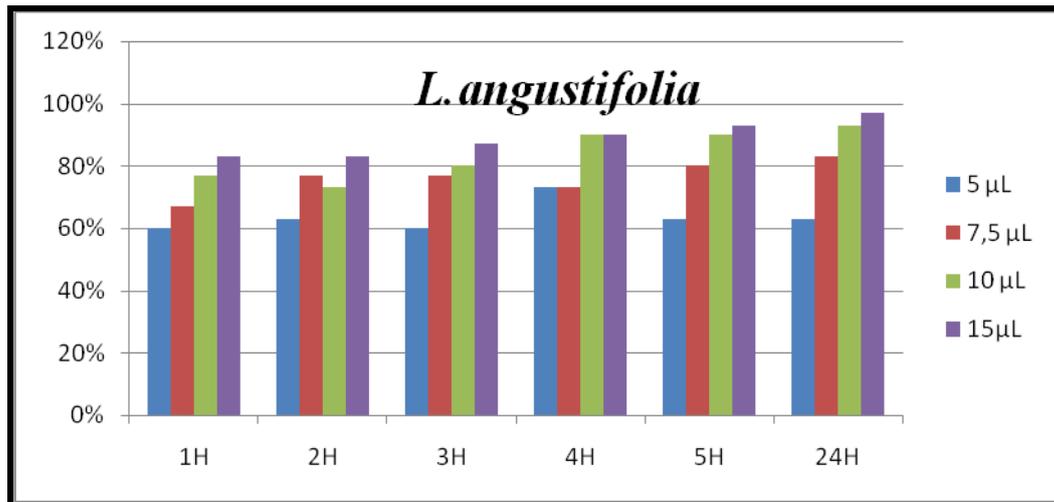
Huile essentielle	5 µl	7.5 µl	10 µl	15 µl	Valeur de probabilité (P)	% PR moyen	Classe
<i>Artemisia arborescens</i>	73c	83b	92a	93a	0.00646	86%	Très répulsive (V)
<i>Lavandula angustifolia</i>	64c	76c	84b	89a	0.00069	78%	Répulsive (IV)

P : différences significatives déterminées par une Anova à un critère de classification.

Les figures 9 et 10 montrent les effets des huiles essentielles à l'égard de *Tribolium castaneum* après 1h, 2h, 3h, 4h, 5h et 24h d'exposition.



**Figure 8.** Résultats de la répulsion de l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens*.



**Figure 9.** Résultats de la répulsion de l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia*.

Les figures 9 et 10 montrent des taux de répulsion qui s'élèvent en fonction des doses et de la durée d'exposition. Les espèces étudiées présentent une activité insecticide par répulsion vis-à-vis de *Tribolium castaneum*. Ces espèces font partie des groupes botaniques les plus prometteurs Regnault-Roger (1997). Elles rejoignent une série d'autres huiles essentielles qui ont des effets insecticides similaires dans la gestion des organismes nuisibles des grains stockées (Bekele et al., 1996 ; Bouda et al., 2001 ; Hassanali et al., 1990).

Les travaux de Mediouni Benjemâa et ses collaborateurs (2012) sur les propriétés répulsives de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* de différentes provenances (Algérie, Tunisie, Maroc) ont montrés une activité répulsive significative, après une durée d'exposition d'une heure sur les adultes de *Tribolium castaneum*.

Les travaux de Tirakmet (2015), ont montré que les huiles essentielles de deux Astéracées *Calendula arvensis* et *Chamaemelum fuscatum* étaient répulsives, les taux de répulsion étaient de 72 à 73% après trois heures d'exposition.

Les plantes aromatiques et leurs huiles essentielles agissent par répulsion en émettant des substances volatiles (terpènes) qui constituent une barrière empêchant les insectes et les autres arthropodes de se mettre en contact avec la surface de l'hôte (Brown et Herbert, 1997).

Les activités des huiles essentielles décrites sur les insectes sont variées : larvicides, adulticides, répulsifs ou inhibiteurs de croissance. La plupart des huiles essentielles agissent en perturbant la structure de la membrane cellulaire mais, pour certaines, des effets neurotoxiques ont pu être mis en évidence, dus à des interactions avec des neurotransmetteurs tels que le GABA (acide gamma-aminobutyrique) et l'octopamine, ou par inhibition de

l'acétyl cholinesterase. Enfin, certaines huiles essentielles peuvent potentialiser l'action d'autres molécules en inhibant les cytochromes qui, normalement les détoxifient. Par leur volatilité et leur petite taille, beaucoup des constituants des huiles essentielles interagissent avec les récepteurs d'odeur des insectes, déclenchant des comportements variés: fuite, attraction, oviposition,... etc (Regnault-Roger, 2012).

Casida (1999) a rapporté que les effets répulsifs de ces huiles essentielles pourraient dépendre de sa composition chimique et du niveau de sensibilité des insectes. Dans ce contexte, de nombreux travaux ont été réalisés pour évaluer l'effet de la composition chimique sur l'activité répulsive des huiles essentielles (Ko et al., (2009) ; Goucem-Khelefane, 2014 ; Taleb-Toudert, 2015).

Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par Kim et ses collaborateurs (2003) et Nkouka (1995) qui ont rapporté que les effets toxiques des extraits des plantes sont en fonction de l'espèce de plante, de la dose, de l'espèce d'insectes et aussi du temps d'exposition. La bioactivité de l'huile essentielle dépend de sa composition chimique, de la partie de la plante utilisée pour l'extraction, du temps de récolte, de l'âge de la plante et la nature du sol et des conditions de croissance.

De ce fait, l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* peut être expliquée par sa richesse en monoterpènes oxygénés et en sesquiterpènes hydrocarbonés.

Younes (2014) a mis en évidence les composés majoritaires des huiles essentielles des différentes parties d'*Artemisia arborescens*, récoltées de quatre régions de la wilaya de Tlemcen, les résultats sont représentés au niveau du tableau 4.

Des travaux antérieurs effectués sur les huiles essentielles d'*Artemisia arborescens* provenant de différentes régions du monde (Italie, USA, Maroc, Liban, Turquie et Algérie-Bejaia) ont montré des différences dans la composition chimique.

Les travaux sur les huiles essentielles provenant de différentes stations de l'Italie ont montré l'existence de trois chémotypes. Dans la région de la Sicile, deux chémotypes différents ont été identifiés ( $\beta$ -Thujone et Chamazulène) (Militello et al., 2011). Nous pouvons conclure que la composition chimique des huiles essentielles peut varier dans des zones géographiques très restreintes.

Les huiles essentielles d'*Artemisia arborescens* d'origine libanaise (El Beyrouthy et al., 2011) et marocaine sont dominées par le  $\beta$ -Thujone (68.50% et 30.06% respectivement). Il a été déjà signalé l'abondance du Chamazulène dans l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* originaires des USA (39.60%) (Pappas et Sheppard-Hanger, 2000). Le Camphre a été

identifié comme un constituant majoritaire de l'huile essentielle d'*Artemisia arbrescens* d'origine turque (33.39%) (Baykan Erel et al., 2012).

En Algérie, une étude a été effectuée sur l'huile essentielle de l'espèce, récoltée de Bejaia, qui est caractérisée par sa richesse en Chamazulène (30.20%) (Abderrahmin et al., 2010).

**Tableau 4.** Composés majoritaires des huiles essentielles d'*Artemisia arbrescens* (Younes, 2014).

Composés majoritaires	Béni snous	Bidar	Chetouane	Nedroma			
	Partie aérienne	Partie aérienne	Partie aérienne	Partie aérienne	Feuilles	Fleurs	tiges
monoterpènes oxygénés	78.40%	61.80%	50.90%	48.25%	47.04%	40.16%	33.87%
Camphre	<b>72.20</b>	<b>50.30</b>	<b>32.80</b>	<b>33.75</b>	<b>36.56</b>	23.13	18.19
Sesquiterpenes Hydrocarbonés	2.60%	6.40%	14.80%	30.19%	26.38%	35.53%	26.47%
Chamazulène	0.10	3.20	8.70	<b>27.41</b>	<b>22.39</b>	<b>32.01</b>	<b>20.32</b>

Par ailleurs, l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* peut être expliquée par sa richesse en composés terpéniques, le monoterpène linalol (32-42 %) et les acétates de linalyle (42-52 %). Ces composés sont à l'origine de l'activité répulsive à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum*.

D'autres composés présents en quantités mineurs dans l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* ont contribué à l'effet toxique, comme le 1,8-cinéole, l'alpha -pinène qui ont été déjà signalé comme des agents toxiques contre certains insectes nuisibles (Tripathi et al., 2001; Yang et al., 2004 ; Kordali et al., 2006 ; Stamopoulos et al., 2007).

Une propriété insecticide de l'1,8cinéole et le linalool, ont été également démontrées vis-à-vis de plusieurs insectes, entre autres *Tribolium confusum*, *Tribolium castaneum*, *Sitophilus zeamais*, *Prostephanus truncatus*, *Rhyzoperta dominica* et *Callosobruchus maculatus*.

Parmi les contituants mineurs de *Lavandula*  $\alpha$ -pinène et le  $\beta$ caryophyllène qui ont été déjà évalués seuls et en combinaison binaire pour leur activité répulsive, la toxicité aiguë et de développement des activités inhibitrices contre le coléoptère *Tribolium castaneum* de la farine. Ainsi au niveau du test de répulsion,  $\alpha$ -pinène et  $\beta$ -caryophyllène repoussent les

adultes de *Tribolium castaneum* d'une manière significative même à de faibles concentrations de 0,025% (Chaubey, 2012).

### I.2. Etude de l'effet insecticide par répulsion d'un insecticide de synthèse

Les résultats du test de répulsion sont représentés sur le tableau 5. La Deltaméthrine s'est montré faiblement répulsive contre les adultes de *Tribolium castaneum* même à la plus grande dose de 20µl. Le calcul du pourcentage de répulsion par la méthode de Mc Donald et ses collaborateurs (1970) permet de constater que la Deltaméthrine est faiblement répulsive avec un taux de (19.15%)

**Tableau 5.** Taux de répulsion de la Deltaméthrine sur les adultes de *Tribolium castaneum* et leur classement selon Mc Donald et *al.*, (1970).

Insecticide	Dose (µl)	Moyennes d'individus présents dans la partie		Répulsion(%)
		Traité	Non traité	
Deltaméthrine	5	12.7	7.3	18.26
	7.5	9	11	19.17
	10	8.3	11.7	19.28
	15	7.3	12.7	19.42
	20	5.3	14.7	19.64
Taux moyens de répulsion				19.15
Classe				I (Faiblement répulsive)

Shakoori et *al.* (1998) et Fleurat-Lessard et *al.* (1998) ont signalé la résistance de *Tribolium castaneum* contre les pyréthrinoïdes de synthèse, par exemple, Cyperméthrine, Deltaméthrine, la Cyfluthrine, la Fenvalérate et certaines hormones juvénile analogues.

Shweta Singh et Sant Prakash (2013), ont montrés qu'il existe des souches de *Tribolium castaneum* qui résistent à la deltaméthrine. Ce qui peut justifier nos résultats. Misra (1995) a sélectionné une souche fenvalérate-résistante de *Tribolium castaneum* dans le laboratoire ayant une résistance >210 fois à travers sept générations de sélection.

L'apparition d'une résistance aux insecticides chez les populations de *Tribolium* est un problème mondial (Champ et Dyte, 1976; Arthur, 1996): les cas de résistance ont été détectés en Amérique (Halliday et al., 1988 ; Haliscak et Beeman, 1983 ; Stadler et al. , 2003), ainsi qu'en Asie (Saxena et al., 1991a ; Saxena et al., 1991b ; Sinha et Saxena, 2001) et en Australie (Collins, 1998).

Toutefois, l'évaluation de la résistance aux pesticides dans les populations de *Tribolium* ainsi qu'une vaste surveillance de la résistance aux insecticides serait essentielle à la réalisation d'une application rationnelle des stratégies de lutte intégrée dans les produits entreposés, notamment en raison de l'importation massive des denrées alimentaires (Savoldelli et Süss, 2008).

Selon Haubruge et Amichot (1998), on distingue trois types de mécanisme de résistance qui se traduisent par des modifications comportementales, physiologiques et biochimiques :

- la résistance comportementale s'observe au niveau de l'insecte qui présente un comportement différent, empêchant le toxique d'agir ;
- la résistance physiologique s'exprime au niveau des tissus et organes ; elle est caractérisée par une diminution de la pénétration ou par une augmentation de l'excrétion des insecticides ;
- la résistance biochimique se situe au niveau cellulaire; elle consiste en une augmentation de l'activité enzymatique des systèmes de détoxification.

### I.3. Comparaison de l'effet insecticide par répulsion des huiles essentielles et l'insecticide de synthèse

D'après les résultats obtenus (tableau 6), nous constatons que l'effet répulsif de nos huiles essentielles est nettement meilleur en comparaison avec celui obtenu avec l'insecticide chimique (Deltamethrine).

**Tableau 6.** Résultats de la répulsion des huiles essentielles en comparaison avec l'insecticide de synthèse.

Traitement	<i>Artemisia arborescens</i>	<i>Lavandula angustifolia</i>	Deltamethrine
Taux moyens de répulsion	86%	78%	19.15%
Classe	Très répulsive (V)	Répulsive (IV)	Faiblement répulsive (I)

En raison de la nature dangereuse des insecticides classiques de synthèse, qui sont relativement néfastes à l'homme, d'autres animaux et les organismes non visés, il est impératif d'évaluer des insecticides botaniques contre ces insectes nuisibles (Jabilou et *al.*, 2006).

Selon Koubey (2012), les répulsifs d'origine végétale sont considérés comme moyens sûrs dans la lutte antiparasitaire pour minimiser les résidus des pesticides; assurer la sécurité humaine et environnementale. Les répulsifs peuvent jouer un rôle très important dans certaines situations ou dans un espace spécial où les insecticides ne sont pas en mesure d'être utilisés.

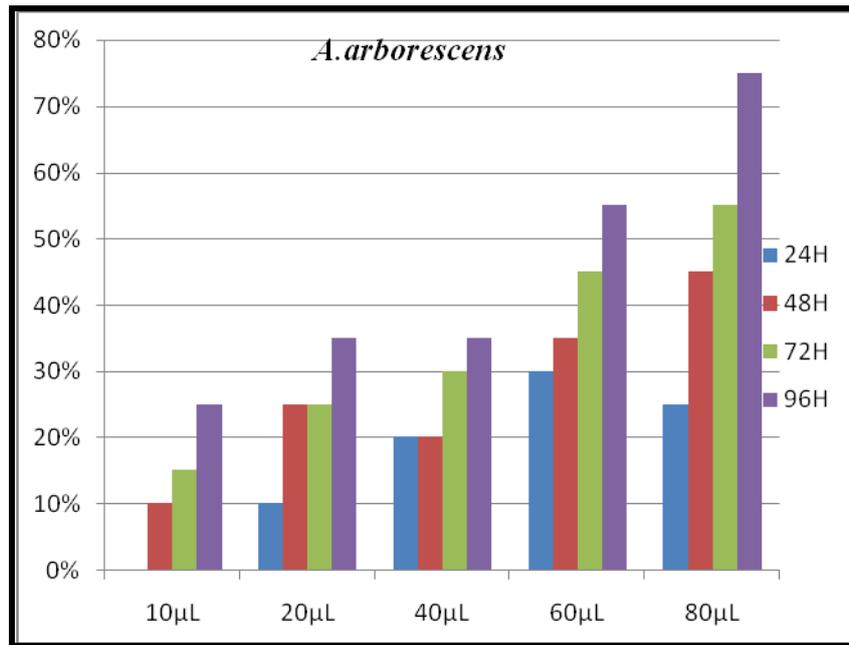
Beaucoup d'huiles végétales et leurs composants ont été démontré pour leur bonne activité répulsive contre les insectes nuisibles.

## **II. Comparaison de l'effet insecticide par inhalation des huiles essentielles et d'un insecticide de synthèse à l'égard des adultes de *Tribolium castaneum***

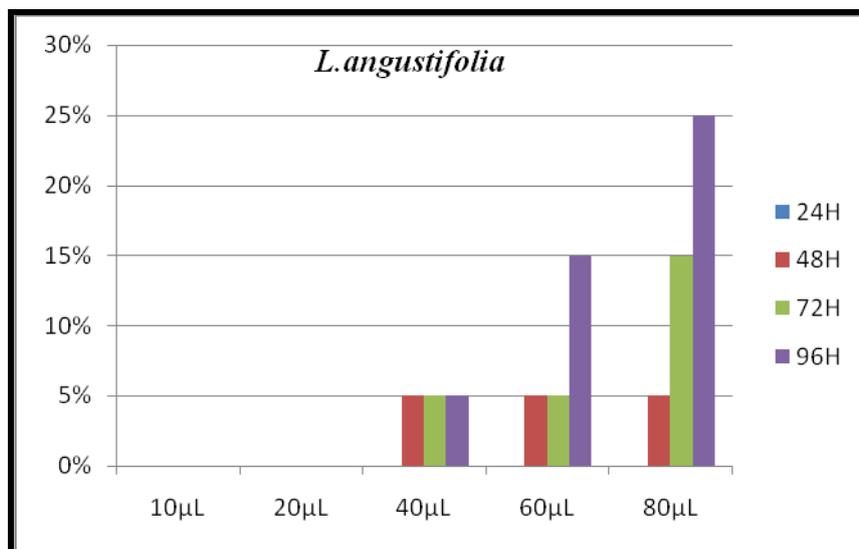
### **II.1. Effet des huiles essentielles par inhalation**

Les résultats obtenus sont représentés au niveau de la figure 11. Ceux-ci montrent que le taux de mortalité de *Tribolium castaneum* augmente proportionnellement avec la dose des huiles essentielles testées et la durée d'exposition.

Nous avons enregistré une mortalité moyenne de 25% pour la plus petite dose de l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* (10µl) après 96h d'exposition, les taux de mortalité s'élèvent en fonction de la dose et du temps. Les doses de 20µl, 40µl, 60µl et 80µl donnent respectivement après 96h d'exposition 35%, 35%, 55%, 75% de mortalité. Pour l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia*, après 96h d'exposition le taux de mortalité est nul (0%) pour les doses 10 µl et 20µl et pour les doses 40µl, 60µl et 80µl nous avons obtenu 5%, 15% et 25% de mortalité.



**Figure 10.** Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* traités par l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens*.



**Figure 11.** Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* traités par l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia*.

Le test de Newman et Keuls au seuil de signification 5%, classe les deux huiles essentielles utilisées dans deux groupes homogènes présentées au niveau du tableau 7.

**Tableau 7.** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur huile essentielle sur la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*.

<b>F1</b>	<b>Libelles</b> <b>Huile</b>	<b>Moyenne des taux de mortalité</b> <b>(%)</b>	<b>Groupes homogènes</b>	
1.0	<i>Artemisia arborescens</i>	31%	A	
2.0	<i>Lavandula angustifolia</i>	4%		B

Le test de Newman et Keuls au seuil de signification 5%, classe les 5 doses des huiles utilisées dans 4 groupes homogènes présentés au niveau du tableau 8. De plus, les 4 durées d'exposition aux huiles sont classées dans 3 groupes homogènes représentés au niveau du tableau 8.

**Tableau 8.** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur dose sur le taux de mortalité des adultes de *T.castaneum*.

<b>F2</b>	<b>Libellés</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes homogènes</b>			
5.0	80µl	50%	A			
4.0	60µl	41%		B		
3.0	40µl	26%			C	
2.0	20µl	24%			C	
1.0	10µl	13%				D

**Tableau 9.** Résultats du test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur durée d'exposition sur le taux de mortalité des adultes de *T.castaneum*.

<b>F3</b>	<b>Libellés</b>	<b>Moyennes</b>	<b>Groupes homogènes</b>			
4.0	96H	45%	A			
3.0	72H	34%		B		
2.0	48H	27%		B		
1.0	24H	17%				C

Les mortalités enregistrées après le traitement avec l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* sont dues à sa composition. *Artemisia arborescens* les composés majoritaires d'*Artemisia arborescens* sont le chamazulène (31.9%) et le camphre (25.8%).

Dunkel et Sears (1998) ont montrés que les huiles essentielles d'*Artemisia tridentata* et *Artemisia vulgaris* ont un important effet fumigant contre les adultes, les larves et les œufs de *Tribolium castaneum*.

En ce qui concerne l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia*, montre des mortalités qui augmentent en fonction de la dose et du temps mais à de très faibles pourcentages. Même après 96h la mortalité n'a pas eu lieu pour les dose de 10 et 20µl, aussi un faible pourcentage (5%) a été enregistré qu'après 48h pour les trois doses 40µL, 60µL et 80µL. dès les 48h, une augmentation de la mortalité a été enregistré mais toujours avec des taux faibles (inférieurs ou égal à 45%).

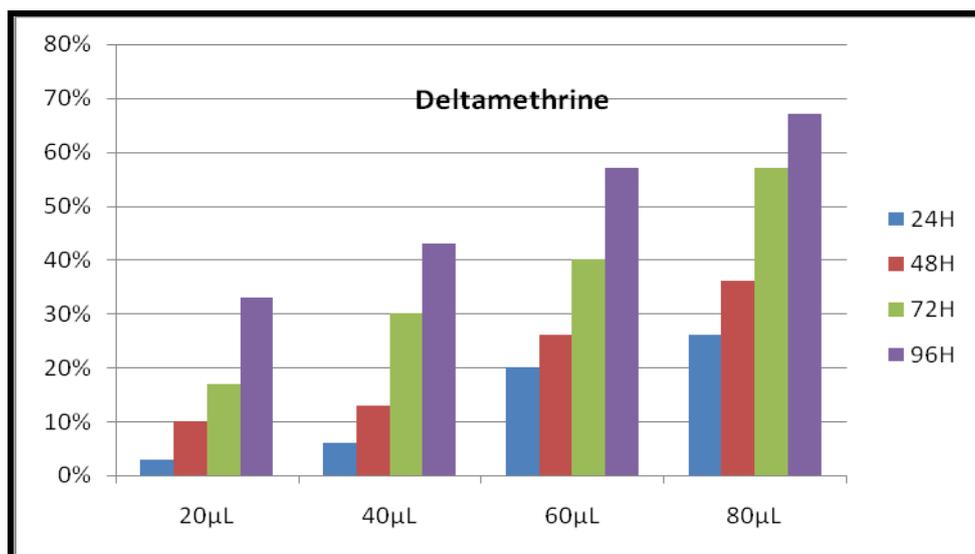
Les constituants majoritaires de *Lavandula angustifolia*, est l'acétate de linalyle et l'inalol et les autres constituants monoterpéniques ne représentent que 5 % : Pinène, Camphène, Limonène, Géranyle , Géranol, Lavandulol 1,8-Cinéole, B Carpyllene,...etc (Jollois, 2001). A cet effet, notre résultat peut être du à la présence en faible quantité des composés toxiques comme le 1.8cineole, ou à l'absence totale de certain composés comme l'estrogole qui sont connus comme les principes actifs toxiques de plusieurs d'huiles essentielles. D'autre part, la résistance marquée de cette espèce dans plusieurs bio essais peut se rajouter. A cet égard, nous pouvons déduire que les composés majoritaires de *lavandula angustifolia* avaient une toxicité beaucoup plus efficace en répulsion qu'en inhalation.

Une activité insecticide par fumigation a été constatée chez les huiles essentielles de *Lavandula stoechas* L. (*Lamiaceae*) sur *Lasioderma serricorne* (F.) (*Anobiidae*), *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium castaneum* (Ebadollahi et al., 2010).

## II.2. Etude de l'effet insecticide par inhalation d'un insecticide de synthèse

Les résultats obtenus sont représentés au niveau de la figure 13. Ceux-ci montrent que le taux de mortalité de *Tribolium castaneum* augmente proportionnellement avec la dose de la Deltamethrine testée et de la durée d'exposition.

Nous avons enregistré une mortalité moyenne de 15.75% pour la plus petite dose de la Deltamethrine (20µl) après 96h d'exposition, les taux de mortalité s'élèvent en fonction de la dose et du temps. Les doses de 40µl, 60µl et 80µl donnent respectivement après 96h d'exposition 23%, 35.75%, 46.5% de mortalité.



**Figure 12.** Evolution du taux moyen de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* traités par la Deltamethrine.

Nous avons enregistré une moyenne de mortalité de 30.25% après 4jours d'exposition. Ce résultat est peut être due à la résistance du *Tribolium castaneum* aux pyréthrinoïdes de synthèse.

Selon Khambay et Jewess (2004), les insecticides pyréthrinoïdes sont l'une des classes les plus utilisées d'insecticides pour le contrôle des insectes nuisibles qui se nourrissent de cultures et transmettent des maladies. Cependant, la résistance aux pyréthrinoïdes a largement développé dans de nombreux insectes nuisibles. Les mécanismes les plus importants impliqués dans la résistance aux pyréthrinoïdes sont augmentés de désintoxication métabolique par P450 cytochrome (Feyereisen 2005 ; Wondji et *al.*, 2009) et une diminution de la sensibilité du site cible des canaux sodiques (Dong, 2007).

### II.3. Comparaison de l'effet insecticide par inhalation des huiles essentielles et l'insecticide de synthèse

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les taux de mortalités enregistré avec l'utilisation de l'huile essentielle *Artemisia arborescens* (31%), suivie de prêt par la Deltamethrine avec un taux moyen de 30.25%. en dernier, le taux le plus faible est obtenu avec l'huile essentielle *Lavandula agustifolia* (4%). Tous ces résultats restent quand même faibles (tableau10, figures 11, 12 et 13).

**Tableau 10.** Taux moyens de l'effet des deux huiles et de la Deltamethrine sur la mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*.

Traitement	<i>Artemisia arborescens</i>	Deltamethrine	<i>Lavandula angustifolia</i>
Moyenne des taux de mortalité (%)	31%	30.25%	4%

L'effet biocide pourrait s'expliquer en partie par l'effet insecticide des composés majoritaires des huiles essentielles testées. Ceci est en accord avec les résultats de plusieurs chercheurs notamment ceux de Ngamo et Hance (2007) qui rapportent que la toxicité des huiles essentielles sur les insectes est induite par l'action de leurs composés majoritaires. Ces derniers ont des efficacités insecticides soit singulière ou lorsqu'elles sont mises ensemble.

Ces observations ont été notées également par Asawalam et ses collaborateurs (2008) qui ont testé la toxicité des composants majoritaires des huiles essentielles extraites de *Vernonia amygdalina* (Astéracées) sur *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae), qui sont 1,8-cinéole,  $\beta$ -pinène,  $\alpha$ -pinène, myrtenal, pinanol, L-carveol, transpinocarveol, et linalool. La dose létale minimale qui provoque une mortalité de 100% des adultes de *Sitophilus zeamais* par les huiles essentielles de *Vernonia amygdalina*, elle provoque une mortalité de  $63 \pm 2,1\%$  par 1,8-cineole,  $37 \pm 2,4\%$  par  $\beta$ -pinène,  $00 \pm 00\%$  par chacun des autres composants, et 100% par le mélange des huit composants majoritaires. Les résultats montrent que l'action toxique combinée des composants majoritaires est plus remarquable que l'action individuelle de ces composants.

Cependant, il serait difficile de penser que l'activité insecticide de ces Huiles essentielles se limite uniquement à certains de ses constituants majoritaires ; elle pourrait aussi être due à certains constituants minoritaires ou à un effet synergique de plusieurs constituants. Les composants minoritaires connus pour leurs propriétés insecticides qui sont présents dans l'huile essentielle de *Calendula arvensis* sont des monoterpènes hydrocarbonés tels que p-cymène dont les propriétés insecticides ont déjà été démontrées vis-à-vis d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Regnault-Roger et Hamraoui, 1995) et  $\alpha$ -pinène qui a révélé un effet insecticide intéressant contre *Tribolium confusum* (Ojimmelukwe et Alder, 1999).

Les pourcentages de mortalité demeurent faibles. Ceci peut s'expliquer par le développement des résistances, que ce soit envers la Deltaméthrine ou envers les huiles essentielles.

D'après Collins (1990), une souche de *Tribolium castaneum*, QTC279, présente des niveaux élevés de résistance à la deltaméthrine, un insecticide pyréthrinoïde. Cette résistance a été presque complètement supprimée par le butoxyde de pipéronyle (PBO), un inhibiteur du cytochrome P450, ce qui suggère que la désintoxication P450 est le principal mécanisme impliqué dans la résistance de la deltaméthrine dans la souche QTC279 (3).

Par ailleurs, l'activité insecticide pourrait dépendre également du sexe de l'insecte. En effet, plusieurs auteurs ont démontré que les mâles d'*Acanthoscelides obtectus* sont plus sensibles aux huiles essentielles par rapport aux femelles (Regnault-Roger et Hamraoui, 1994 ; Papachristos et Stamopoulos, 2002).

La difficulté à contrôler les populations des insectes ravageurs des grains stockés est renforcée par les limites et les conséquences liées à l'utilisation des pesticides de synthèse.

Notre étude rentre dans le cadre de la recherche de solutions alternatives qui permettent de réduire les pertes occasionnées par ces insectes nuisibles.

L'étude a été consacré à l'évaluation des propriétés insecticides à l'égard du ravageur des grains stockés *Tribolium castaneum* par répulsion et inhalation de deux huiles essentielles : *Artemisia arborescens* et *Lavendula angustifolia* appartenant respectivement aux familles des *Asteraceae* et des *Lamiaceae*, et aussi à l'évaluation de l'effet insecticide de la Deltaméthrine contre le ravageur des grains stockés *Tribolium castaneum*.

Les huiles essentielles ont montré des résultats très prometteurs en ce qui concerne leur effet répulsif, qu'en à l'effet par inhalation les résultats sont faibles pour les deux huiles testées, Selon le classement de Mc Donald et al. (1970) l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens* est très répulsive classe (V) avec un taux de répulsion de 86% et l'huile essentielle de *Lavendula angustifolia* est répulsive classe (IV) avec un taux de répulsion de 76%. Pour la deltaméthrine nous constatons qu'elle est faiblement répulsive avec un taux de répulsion de 19.15% classe (I).

La comparaison de l'effet répulsif de nos huiles par rapport à celui de la Deltaméthrine, montre que nos huiles sont nettement plus répulsives que l'insecticide chimique (Deltaméthrine). En ce qui concerne l'effet par inhalation, les huiles y compris la Deltaméthrine ont montrés de faibles taux de mortalité.

A la lumière de l'ensemble des résultats obtenus, il est permis d'espérer au moins une réduction de l'usage des pesticides, en particulier dans les entrepôts de stockage des grains avec l'alternative que présente les substances naturelles dont nous venons de démontrer la polyvalence de leur activité biologique.

Sachant que ces résultats se révèlent prometteurs et que chaque plante se caractérise par des molécules particulièrement intéressantes, qui demandent d'être exploitées, nous proposons à l'avenir de :

- ✓ Tester d'autres effets létaux (larvicide, ovocide, nymphicide,..) et subletaux (anti appétant, effet inhibition, effet de sur le développement des stades) ;
- ✓ réaliser une étude phytochimique et toxicologique de ces huiles essentielles ;
- ✓ réaliser des tests plus approfondies sur les activités insecticides *in vivo* ;
- ✓ réaliser une étude de la variabilité géographique des huiles essentielles afin de déceler une éventuelle spécificité régionale en vue d'une valorisation commerciale.

1. **Abbott W. S., 1925.** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Ent.*, 18 : 265-267.
2. **Abderrahmin A., Belhamel K., Chalchat J.C. & Figuéredo G., 2010.** Chemical composition of the essential oil from *Artemisia arborescens* L. growing wild in Algeria , *Records of natural products*, 4(1):87-90.
3. **Addor R.W., 1995.** "Insecticides", In: *Agrochemicals from Natural Products*, Godfrey CRA. Ed., Marcel Dekker, Inc. New York, p. 1. Ahn YJ, Kim GH, Cho KY (1995). Bioassay system for insecticidal compounds. *Proceedings of the 3rd Symposium on the Biochemical Methodology for the Research and Development of the Bioactive Substances*. Seoul, Republic of Korea, p. 495.
4. **Amellal F., 1980.** Etude de la valeur insecticide de quelques produits dans la lutte contre *Tribolium castaneum* ravageur des denrées alimentaire (coleoptéra Tenebrionidae Th. Ing. Agr, INA El Harrach, 84 p.
5. **Appert J., 1992 a.** le stockage des produits vivriers et semenciers. Ed .Maisonneuve et Larose , Paris, 110 p.
6. **Appert J., 1992 b.** Le stockage des produits vivriers et semenciers. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 109 p.
7. **Arthur F. H., 1996.** Grain protectants: current status and prospects for the future.- *Journal of Stored Product Research*, 32: 293-302.
8. **Asawalam E.F., Emosairue S.O. & Hassanali A., 2008.** *Contribution of different constituents to the toxicity of essential oil of Vernonia amygdalina (Compositae) and Xylopia aetiopica (Annonaceae) on maize weevil, Sitophilus zeamais Motshulsky (Coleoptera: Curculionidae) Afr. J. Biotechnol.* 7:2957–2962.
9. **Aubineau M., Bermond A., Bongler J. & Roger-Estrad J. 2002.** Larousse agricole. Larousse /VUEF.Canada, p. 379
10. **Azevedo N.R., Campos I.F., Fereira H.D., Prtes T.A., Santos S.C., Seraphin J.C., Paula J.R. & Ferri P.H., 2001.** Chemical variability in the essential oil of *Hyptis suaveolens*. *Phytochemistry* ; 2001, 57(5) : 733-736.
11. **Bachelot C., Blaise A., Corbel T. & Guernic A., 2006.** Les huiles essentielles: extraction et comparaison. U.C.O Bretagne: 1-8
12. **Bagamboula C.F., Uyttendaele M. & Debevere J., 2004.** Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and *p*-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology* 21: pp. 33-42.

13. **Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. & Idaomar M., 2008.** Biological effects of essential oils- A review. *Food Chem Toxicol.* 46: 446-475.
14. **Balachowsky A.S. & Mesnil., 1936** .les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs et leur destruction. Ed. Busson, Paris, T : 2, 1921 p.
15. **Baudoux D., 1997.** Un procédé, une analyse, une définition. *Aroma News.* Lettre d'information de N.A.R.D: Natural Aromatherapy Research and Development.
16. **Bavoux C., Burneleau G., & Bretagnolle, V., 2006.** Gender Determination in the Western Marsh Harrier (*Circus aeruginosus*) Using Morphometrics and Discriminant Analysis. *J. Raptor Res.* 40: 57-64.
17. **Baykan Erel S., Reznicek G., Senol S.G., Karabay Yavasogulu U.N., Konyaliogulu S. & Zeybek A.U., 2012.**Antimicrobial and antioxidant properties of *Artemisia arborescens* L. species from western Anatolia, *Turk J Biol,* 36 : 75-84.
18. **Beirão A.R.B. & Bernardo-Gil M.G., 2006.** Antioxidants from *Lavandula luisieri*. 2<sup>nd</sup> *Mercosur Congress on Chemical Engineering.* Portugal ; 8p.
19. **Bekele A.J., Obeng-Ofori D. & Hassanali A., (1996).** Evaluation of *Ocimum suave* (Willd) as a source of repellent, toxicants and protectants in storage against three stored product insect pests. *Int. J. Pest Manage.* 42(2): 139-142.
20. **Bellakhdar J., 1997.** La pharmacopée marocaine traditionnelle. Ed. le Fennec, casablanca, 477p.
21. **Bennett J. M. & Bennett M.J., 2003.** Developing intercultural sensitivity. Landis, D., Bennett, J., Bennett, M. (red.): *Handbook of Intercultural Training,* pp : 147-165
22. **Bernard J.R. Philogène, Cathérine Regnault-Roger & Charles Vincent, 2008.** Biopesticides d'origine végétale : bilan et perspectives. 2e édition, Edition Tec & Doc, pp1-24.
23. **Bouda H., Taponjou L. A., Fontem D. A. & Gumedzoe M. Y. D., 2001.** Effect of essential oils from leaves of *Ageratum conyzoides*, *Lantana Camara* and *Chromolaena odorata* on the mortality of *Sitophilus zeamais*(Col.: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research,* 37: 103-109.
24. **Bruneton J., 1999.**Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème édition, Ed. TEC et DOC, Paris.
25. **Bruneton J., 1987.** Pharmacognosie, Phytochimie : Plantes médicinales. Technique et documentation, 1èreEdition Lavoisier, Paris.

26. Bruneton J., 1999. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition, Ed. TEC et DOC, Paris.
27. Browning D.R., 1971. Chromatographie, Masson & Cie, Paris, 164 p.
28. Camara A., 2009. lutte contre *Sitophilus oryzae* L.(Coleoptera : Curculionidae) et *Tribolium castaneum* H (Coleoptera : Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales , thèse doctorat en sciences de l'environnement. Université du Québec Montréal, 224 p.
29. Casida JE., 1999. Minor structural changes in nicotinoid insecticides confer differential subtype selectivity for mammalian nicotinic acetylcholine receptors.Br. J. Pharmacol.127:115–22.
30. Champ B.R. & Dyte C.E., 1976 . report of the FAO global survey of pesticide susceptibility of stored grain pest. F A O Rome, 297pp.
31. Chaubey M.K.,2012. Acute, lethal and synergistic effects of some terpenes against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). -Ecologia Balkanica, 4(1): 53-62.
32. CE, 2001. Commission Européenne : proposition de la commission en matière de lutte contre la résistance microbienne. Bruxelles. In Kechkar M., 2008. Extraction de Silymarine et étude de son activité antimicrobienne. *Mémoire de magister*. Université Mentouri Constantine. Algérie, 99p.
33. Chehat F., 2007.Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation» Alger : 7-9 avril 2007.
34. Chiasson H. & Beloin N., 2007.Les huiles essentielles des biopesticide (nouveau genre). Bulletin de la Société d'entomologie du Québec, Antennae 2007, Vol. 14, n°1. 4P.
35. Chiasson H. & Beloin N., 2007. les huiles essentielles, des biopesticides « nouveau genre ». *Antennae*. Bulletin de la société d'entomologie du Québec 14(1) : 3-5.
36. Collins P. J., 1998.Resistance to grain protectants and fumigants in insect pests of stored products in Australia, pp. 55-57. In: Proceedings Australian Postharvest Technical Conference, Canberra, 26-29 May 1998.
37. Collins PJ., 1990. A new resistance to pyrethroids in *Tribolium castaneum* (Herbst) Pestic Sci. 1990;28:101–115.
38. Couic-Marinier F. & Lobstein A., 2013. Composition chimique des huiles essentielles. Actual pharm; 52 (525): 22-25.

- 39. Cruz J.F., Troude F., Griffon D. & Hébert J.P., 1988.** Ministère de la Coopération et du Développement. Paris, France, 545 p.
- 40. Dayan F.E., Howell J.L., Marais J.P., Ferreira D. & Koivunen M., 2011.** Manuka Oil, A Natural Herbicide with Preemergence Activity. *Weed Science*: October-December 2011, Vol. 59, No. 4, pp. 464-469.
- 41. Dehoffman E., Charrette J. & Stroobant V., (1994).** Spectrométrie de masse, Masson, Paris, 341p.
- 42. Delobel A. & Trans T., 1993.** les coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. Orstom, Paris, 424 p.
- 43. Devi K.C. & Devi S.S., 2011.** Insecticidal and oviposition deterrent properties of some spices against coleopteran beetle, *Sitophilus oryzae*. *J Food Sci Technol*. doi:10.1007/s13197-011-0377-1
- 44. Deysson G. 1978, 1979.** Organisation et classification des plantes vasculaires. Tomes II, (en deux parties), Soc. d'édi. et d'Ens. Sup., Paris, 385 et 540 p.
- 45. Dong K., 2007.** Insect sodium channels and insecticide resistance. *Invert Neurosci*. 2007;7:17–30.
- 46. Doumandji S. E., 1983.** Insectes des denrées stockées. Fiche technique N°2, 5 p.
- 47. Doumandji S.E., 1977.** Séminaire : La meunerie et les industries céréalières. Les stockages et la lutte contre les ennemis des céréales. pp : 1-13.
- 48. Ducom P., 1982 a.** La protection phytosanitaire des grains après récolte. *Phytoma*. Défense des cultures, N° 133 , pp : 32-37.
- 49. Ducom P., 1985.** La lutte contre les insectes en meunerie. *Industrie des céréales*, pp : 41-45.
- 50. Dunkel F.V. & Sears L.J., 1998.** Fumigant properties of physical preparations from mountain big sagebrush, *Artemisia tridentata* Nutt. ssp.vaseyana(Rydb.) beetle for stored grain insects. -*Journal of Stored Product Research*, 34: 307–321.
- 51. Ebadollahi A., Safaralizadeh M.H. & Pourmirza A.A., 2010b.** Fumigant toxicity of essential oils of *Eucalyptus globulus* Labill and *Lavandula stoechas* L. grown in Iran, against the two coleopteran insect pests; *Lasioderma serricornis* F. and *Rhyzopertha dominica* F. *Egypt. J. Biol. Pest. Con.* 20 (1): 1–5.
- 52. El Beyrouthy M., Aboukaïs A., Arnould-Apostolides N., Cazier F., Labaki M. & Najm S., 2011.** Chemical composition of the essential oil of the *Artemisia arborescens* L. growing wild in Lebanon, *Lebanese science journal*, 12(1) : 71-78.

- 53. Feyereisen R., 2005.** Insect cytochrome P450. In: Gilbert LI, Iatrou K, Gill SS, editors. *Comprehensive Molecular Insect Science*. Vol. 4. Oxford: Elsevier; 2005. pp. 1–77.
- 54. Fleurat – Lessard F., 1978 a.** Description et biologie des acariens : Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. A.F.N.O.R – I.T.C.F., Paris, pp : 67-87.
- 55. Fleurat – Lessard F., 1978 b.** Autres méthodes de lutte. Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. A.F.N.O.R – I.T.C.F., Paris, pp : 165 – 168.
- 56. Fleurat-Lessard F. & Trantessaux E., 1977.** Désinsectisation des produits céréaliers par traitement physique compte rendu D.G.R.S.T (75-7-0345/346/347).
- 57. Gachkar L., Yadegari D., Rezaei M.B., Taghizadeh M., Astaneh S.A. & Rasooli I., 2007.** Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food Chem.*, 102: pp.898-904.
- 58. Georges Sens-Olive, 1979.** « Les huiles essentielles - généralités et définitions », dans *Traité de phytothérapie et d'aromathérapie*, éd. Maloine.
- 59. Ghasemi Pirbalouti A., 2009.** Iranian medicinal and aromatic plants. Islamic Azad University Publishers, Shahrekord, Iran, p. 550
- 60. Godon B. & Willm C., 1991.** Les industries de première transformation des céréales. Technique et documentation – Lavoisier.
- 61. Goucem-Khelfane K., 2014.** Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles et des poudres de quelques plantes à l'égard de la bruche du haricot *Acanthocelides obtectus* Say (Coleoptera, Chrysomelidae, Bruchinae) et comportement de ce ravageur vis-à-vis des composés volatils de différentes variétés de la plante hôte (*Phaseolus vulgaris* L.). Thèse de doctorat en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 178 p.
- 62. Guignard J.L., 1995.** Abrégé de botanique. Ed. Masson, 285 p
- 63. Hadizadeh F., Ebrahimzadeh MA., Hosseinzadeh H., Motamed-Shariaty V., Salami S. & Bekhradnia AR., 2009.** Antidepressant and antioxidant activities of some 2-benzoxazolinone derivatives as Bupropion analogues. *Pharmacologyonline*,1: 331-335.
- 64. Haliscak J.P. & Beeman W., 1983.** Status of malathion resistance in five genera of beetles infesting farm-stored corn, wheat, and oats in the United states. *J. Econ. Entomol.* 76: 717-722.
- 65. Halliday W.R., Arthur F.H. & Zettler J.L., 1988.** Resistance status of red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) infesting stored peanuts in southeastern United States. *Journal of Economic Entomology* 81, 74-77.

- 66. Hassanali A., Lwande W., Ole-Sitayo N., Moreka L., Nokoe S. & Chapya A., (1990).** Weevil repellent constituents of *Ocimum suave* leaves and *Eugenia caryophyllata* cloves as grain protectants in parts of Eastern Africa. *Discovery Innov.*, 2: 91-95.
- 67. Haubruge E., Amichot., 1998.** - Compréhension des mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les Insectes et les Acariens. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 3: 184-191. *Resistance to malathion in Tribolium castaneum*. *J. Econ. Entomol.*, 91: 935-945.
- 68. Hussain A.I., Anwar F., Chatha S.A.S., Jabbar A., Mahboob S. & Nigam P.S., 2010.** *Rosmarinus officinalis* essential oil: antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities. *Brazilian Journal of Microbiology* 41: pp.1070-1078.
- 69. Hussain A.I., 2009.** Characterization and biological activities of essential oils of some species of *Lamiaceae*. *Doctorale thesis*, Pakistan; 257p.
- 70. Jabilou R., Ennabili A. & Sayah F., 2006.** Insecticidal activity of four medicinal plant extracts against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Afr. J. Biotechnol.*, 5(10): 936-940. Kamali HHEL (2009). Effect of certain medicinal plant extract against stored grain pest *T. castaneum* Herbst. *Am.Eurasian J.Sustain. Agric.*, 3(2): 139-142
- 71. Jacobson N. S., Schmaling K. B., Holtzworth-Munroe A., Katt, J. L., Wood L. E. & Follette V M., 1989.** Research-structured versus clinically flexible versions of social learning-based marital therapy. *Behaviour Research and Therapy*, 27. 173-180.
- 72. Jay E., 1983.** Imperfection in our current knowledge of insect biology as related to their response to controlled atmosphere in 'controlled atmosphere and fumigation in grain storages. "proc. Int. Symp. 11-22 april 1983, perth, Western Australia, Vol.5, pp : 493- 507.
- 73. Jeantet R., Croguennec T., Schuck P. & Brulé G., 2006.** *Sciences des aliments. 1. Stabilisation biologique et physicochimique*. Tec & Doc, Lavoisier (Ed), Paris, France, 383 p.
- 74. Kalache F., 1989.** Efficacité de quelques insecticides vis a vis de *Sitophilus oryzae* L., *Tribolium castaneum* H. et *Rhyzopertha dominica* F. sur blé stocké Th. Ing. INA El Harrach, 74 p.
- 75. Kim BR., Nam HY., Kim SU., Kim SI & Chang YJ., 2003.** Normalization of reverse transcription quantitative-PCR with housekeeping genes in rice. *Biotechnology Letters* 25, 1869-1872
- 76. Khambay BPS. & Jewess PJ., 2004.** Pyrethroids. In: Gilbert LI, Iatrou K, Gill SS, editors. *Comprehensive Molecular Insect Science*. Vol. 6. Oxford: Elsevier; 2004. pp. 1-29.

- 77. Kleeberg H., 2006.** Demands for plants protection products-Risk assessment botanicals and semiochemicals. REBECA workshop.fin de cycle pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles, Ecole supérieure d'Agronomie de Yamoussoukro, 56p.
- 78. Kordali S., Kotan R., Mavi A., Cakir A., Ala A. & Yildirim A., 2005.** Determination of the chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Artemisia dracunculus* and of the antifungal and antibacterial activities of Turkish *Artemisia absinthium*, *A. dracunculus*, *Artemisia santonicum*, and *Artemisia spicigera* essential oils. Journal Agriculture and Food Chemistry, Washington, v.53,p.9452-9458.
- 79. Kunle O. & Okogun J., 2003.** Antimicrobial activity of various extracts and carvacrol from *Lippia multiflora* leaf extract. *Phytomedicine*; 10: 59-61.
- 80. Laouer H., 2004.** Inventaire de la flore médicinale utilisée dans les régions de Sétif, de Bejaia, de Msila et de Djelfa, composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoides pusilla* et de *Magydaris pastinacea*. Thèse de Doctorat d'état, Département de Biologie, Faculté des sciences, UFA de Sétif
- 81. Lepesme P., 1944.** les coléoptères des denrées alimentaire et des produits industriels entreposé. Ed.paul le chevalier, Paris, 335 p.
- 82. Lepigre A. L., 1966.** La désinsectisation des stocks de céréales. Ed. off. interprof. Des cereals. Paris.
- 83. Lessard F.F., Vidaland M.M. & Budzinski H., 1998.** Modeling biological efficacy decrease and rate of degradation of chlorpyrifos methyl on wheat stored under controlled condition. *J.Stord Prod.Res.*, 34: 341-354.
- 84. Mann J., 1987.** Secondary metabolism. second edition, Clarendon press, Oxford, 374 p.
- 85. Mediouni Benemâa J., Haouel S., Bouaziz M. & Khoujam L., 2012.** Seasonal variations in chemical composition and fumigant activity of five Eucalyptus essential oils against three moth pests of stored dates in Tunisia.- *Journal of Stored Product and Research*, 48: 61-67.
- 86. Militello M., Settanni L., Aloe A., Mammina C., Moschetti G., Giammanco G.M., Amparo Blàzquez M., Carruba A., 2011.** Chemical composition and antibacterial potential of *Artemisia arborescens* L.essential oil, *Curr Microbial*, 62: 1274-1281.
- 87. Misra H.P., 1995.** Studies on the development of resistance to fenvalerate in *Tribolium castaneum* (Herbst) and its interaction with gamma radiation. Ph.D. Thesis, P.G. School, IARI, New Delhi. 120p.

88. Moll M., 1998. Additifs alimentaires et auxiliaires technologique. Ed. DUNOD. Paris. pp. 89-99.
89. Morolli C., Quaglio F., Della G., Rocca, Malvisi J. & Di Salvo, A., 2006. Evaluation of the toxicity of synthetic pyrethroids to red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard 1852) and common carp (*Cyprinus carpio*, L. 1758). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 380-381: 1381-1394.
90. Multon J. L., 1982 . conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés céréales, oléagineux protéagineux, aliments pour animaux. Ed. Teck. Doc. Et APRIA, Lavoisier, Paris, vol 1, 1155 p.
91. Muselli A., Bighelli A., Corticchiato M., Acquarone L. & Casanova J., 1997. Composition chimique d'huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* hydrodistillées et hydrodiffusées, Rivista Italiana EPPOS, Numéro spécial, p. 638-6-13.
92. Mc Donald L.L., Guy RH. & Speirs R.D., 1970. Preliminary evaluation of new candidate materials as oxicans, repellents and attractants against stored product insects, marketing research report n° 882. Agriculture Research services, US Department of agriculture, Washington. 183p.
93. Népomuscène M.J., 1995. Caractérisation des huiles essentielles du bleuet nain, *Vaccinium angustifolium* Aiton. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi.
94. Nerio L.S., Olivero-Verbel J. & Stashenko E., 2009. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). Journal of Stored Products Research, 45:212-214.
95. Ngamo LST. & Hance TH., 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. Tropicultura, 25(4): 215-220.
96. Nkouka N., 1995. Les plantes pesticides dans la lutte intégrée contre les nuisibles In. Intégration de la résistance des plantes et de la lutte biologique. Actes du Séminaire CTAIIARJILB, Addis Abeba (Ethiopia), 9-14 Oct. 1997. CTA (ed.), 10-11.
97. Ojimekwe P.C. & Adler C., 1999. Potential of Zimtaldehyde, 4-allyl-anisol, linalool, terpeneol and other phytochemicals for the control of confused flour beetle (*Tribolium confusum* J.D.V) (*Col; Tenebrionidae*) *J. Pestic. Sci.* 72:81–86.
98. Padrini P. & Lucheroni M.T., 1996. Le grand livre des huiles essentielles—guide pratique pour retrouver vitalité, bien-être et beauté avec les essences. Ed: De Vecchi, Paris. Pages 11,15, 61 et 111

- 99. Pappas R. & Sheppard-Hanger S., 2000.** Essential oil of the pacific Northwest: a high-chamazulene, low-thujone essential oil with potential skin-care applications, *Aromatherapy J*,10: 30-33.
- 100.Papachristos D.P. & Stamopoulos D.C., 2004.** Fumigant toxicity of three essential oils on the eggs of *Acanthoscelides obtectus*(Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research* 40,517–525.
- 101.Penoel D., 1994.** La médecine aromatique. *Research. Mediterranea* 1, 24-29.
- 102.Pibiri M.C., 2006.** Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles. Thèse Doctorat, EPFL Lausanne, p.161.
- 103.Piyo A., Udomsilp J., Khang-Khun P. & Thobunluepop P., 2009.** Antifungal activity of essential oils from basil (*Ocimum basilicum* Linn.) and sweet fennel (*Ocimum gratissimum* Linn.): Alternative strategies to control pathogenic fungi in organic rice. *As. J. Food Ag-Ind., Special Issue*, pp: S2-S9.
- 104.Rasooli I., Fakoor M.H., Yadegarinia D., Gachkar L., Allameh A. & Rezaei M.B., 2008.** Antimycotoxigenic characteristics of *Rosmarinus officinalis* and *Trachyspermum copticum* L. essential oils. *Food Chemistry* ; pp.135-140.
- 105.Regnault-Roger C., 1997.** The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated pest Management Reviews* 2: 25-34.
- 106. Regnault-Roger C., 2012.** *Revolutions agricoles en perspective*, Editions-Groupe France Agricole, 214 p.
- 107.Regnault Roger C. & Hamraoui A., 1994.** Reproductive inhibition of *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera), bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris*L.) by some aromatic essential oils. *Crop Prot.*,13(8): 624-628
- 108.Regnault-roger C., Vincent C. & Thor Arnason J., 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *ANNUAL REVIEW OF ENTOMOLOGY*, vol. 57, p. 405-424.
- 109.Roger Jollois., 2001.** "l'aromathérapie exactement: Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des extraits aromatiques", Editions Roger Jollois, 2001, ISBN: 2-87819-001-7
- 110.Savoldelli S. & Süß L., 2008.** Preliminary investigations about tolerance to phosphine in *Tribolium strains* (Coleoptera, Tenebrionidae) in Italy.- *IOBC/WPRS Bulletin*, 40: 313-317.
- 111.Saxena J.D., Bhatia S.K. & Sinhas. R., 1991a.** Status of insecticide resistance in *Tribolium castaneum* (Herbst.) in India. IV: Resistance to phosphine. *Bulletin of grain technology*, 29 (3): 148-151.

- 112.Saxena J.D., Bhatia S.K. & Sinhas R., 1991b.** Status of insecticide resistance in *Tribolium castaneum*(Herbst) in India. V: Resistance to DDT.- Bulletin of grain technology, 29 (2): 89-92
- 113.Scotti G., 1978.** Les insectes et les acariens des céréales stockées Coed. A.F.N.O.R – I .T. C .F., Paris, 232 P
- 114.Seck D., 1992.** Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en milieu paysan. In: *La post-récolte en Afrique*. Montréal, Canada : Aupelf-Uref ; Paris : John Libbey Eurotext, 155-160.
- 115.Shakoori A.R., Ali S.S. & Saleem M.A., 1988.** Effects of six months feeding of cypermethrin on blood and liver of Albino rats. J. Biochem. Mol. Toxicol., 3: 59–71.
- 116.Shweta Singh and Sant Prakash, 2013.** Development of resistance in *Tribolium castaneum*,Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) towards deltamethrin in laboratory. International Journal of Scientific and Research Publications, India. Volume 3, ISSN 2250-3153.
- 117.Sinha S.R. & Saxena J. D., 2001.-** Status of lindane resistance in *Tribolium castaneum* in India.- Indian Journal of Entomology, 63 (2): 166-169.
- 118.Soltys D, Krasuska U, Bogatek R, & Gniazdowska A. 2013.** Allelochemicals as Bioherbicides –Present and Perspectives; <http://dx.doi.org/10.5772/56185>
- 119.Souza ET., 2009.** Synthesis, characterization and biological activities of mononuclear Co(III) complexes as potential bioreductively activated prodrugs. *J Inorg Biochem* 103(10):1355-65.
- 120.Spichiger R., Savolainen V., Figeat M., Jeanmonod D., & Perrett M., 2004.** Botanique systématique des plantes à fleurs. Edition 3. Presses Polytechniques Universitaires Roman des, Lausanne.
- 121.Stadler T., Subramanjam B. & Ferrero A. A., 2003.-** Monitoring for insecticide resistance in major stored product pests in Argentina: a review.- Agriscientia, 20: 99-110.
- 122.Stamopoulos D.C., Damos P. & Karagianidou G., 2007.** Bioactivity of five monoterpenoid vapours to *Tribolium confusum*(du Val) (Coleoptera: Tenebrionidae). -Journal of Stored Product Research,43: 571-577
- 123.Steffan J. R., 1978.** Description et biologie des insectes, 1-65 . In Scotti, G. Les insectes et les acariens des céréales. AFNOR/ITCF, Paris, 238 p

- 124. Taleb-Toudert, 2015.** extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatique provenant de la région de Kabylie (Nord Algerie). Evaluation de leurs effets sur la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera :Bruchidae). Thèse de doctorat en sciences Biologique. U.M.M.T.O. 206 p.
- 125. Tirakmet S., 2015.** Étude comparative de l'activité insecticide d'un pesticide organique de synthèse et des huiles essentielles extraites à partir de deux Astéracées récoltées dans la région de Makouda sur le ravageur secondaire du blé tendre stocké *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidea). Master en Agronomie. Spécialité : Protection des Plantes Cultivées. UMMTO.
- 126. Tripathi, M. K., Agrawal, I. S., Sharma, S. D., Mishra, D. P., 2001.** Effect of substitution of soybean meal with treated or untreated high glucosinolate mustard (*Brassica juncea*) meal on intake, digestibility, growth performance and body composition of calves. Anim. Feed Sci. Technol., 94 (3-4): 137-146
- 127. Vokou D., Kokkini S. & Bressiere J.M., 1988.** *Origanum onites* (Lamiaceae) in Greece Distribution , volatile oil yield, and composition . Economy botanic. 42, p:407-412.
- 128. Wondji CS, & al., 2009.** Two duplicated P450 genes are associated with pyrethroid resistance in *Anopheles funestus*, a major malaria vector. Genome Res. 2009;19:452–459.