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

Département d'Agronomie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Agronomie
Spécialité : Protection des végétaux

Sujet

Activité insecticide de l'huile essentielle de l'eucalyptus globuleux *(Eucalyptus globulus* L.) à l'égard de la bruche chinoise *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera : Chrysomelidae).

Présenté par :

Melle : Hadjour khelidja

Melle : Hamma kenza

Soutenu devant le jury :

Présidente:	Mme MEDJDOUB-BENSAAD F	Professeur	UMMTO
Promotrice :	Mme KHELFANE- GOUCEM K.	MCA	UMMTO
Co-promotrice:	Mme MEHALLI N.	Doct.	UMMTO
Examinatrice	Mme GHEBBI-SI SMAIL K.	MCB	UMMTO

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères, tout d'abord au «Bon Dieu» pour la patience et la santé qu'il nous a offertes tout au long de nos études.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à notre promotrice **Mme KHELFANE-GOUCEM K.**, Maitre de Conférences Classe A à l'UMMTO, pour avoir suivi et dirigé ce travail, pour sa disponibilité et tous les précieux conseils qu'elle nous a donné tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également à tous les membres de jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'elles ont porté à ce mémoire.

Nous remercions Mme **MEDJDOUB-BENSAAD F**., Professeur en Biologie à l'UMMMTO de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider et d'examiner le présent mémoire.

Nous sincères remerciements vont à l'ensemble des membres de jury. **Mme GHEBBI-SI SMAIL K.** Maitre de conférences catégorie B à l'UMMTO**,** pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à **Mme LAOUDI T.**, pour sa disponibilité, son aide, et surtout sa gentillesse.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde reconnaissance à toute l'équipe du laboratoire qui nous a permis de bien mener ce travail.

Enfin, nous remerciements vont aussi a tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents en leur disant combien je les aime, les remercier du fond du cœur pour leur amour et soutien pour ma réussite dans mes études.

A mes très chères frères et sœurs

et

A tout mes meilleurs et adorables amies

Kenza hamma

Dédicace

Tout d'abord , je dédie ce travaille aux personnes les plus chères à mon cœur, à mon papa **Rabah** et à ma maman **Sabria** qui s'est battu avec moi pour arriver la ou je suis aujourd'hui.

Très reconnaissante par ces mots qui témoignent l'appréciation et la gratitude de votre soutien et votre prières pour ma réussite . PAPA , MAMAN , merci d'être toujours a mes cotés .

A mon cher frère **Mohand** et a sa femme **Yasmina** et ses trois filles: **Estelle ,Anel** et **Aniyas** .

A ma chère sœur **Chahrazed** et son mari **Hannachi** et leurs enfants : **Eline ,Nour ,Ghani** et **Talia .**

A ma sœur **Dounia** et son fiancé **Samir** a qui je leurs souhaite un heureux mariage .

A mes deux frères **Didine** et **Fatah** qui m'ont toujours soutenus .

A ma petite sœur **Sadia** que j'appel Dida .

A **Rahim** par sa gentillesse et sa générosité , a lui qui n'arrête jamais a m'encourager et me soutenir, merci d'être la .

A ma binôme **kenza** par sa compréhension ,sa force et son courage.

A mes cousins et cousines et a mes amies ainsi que a toute personne qui a contribué a la réussite de ce mémoire .

Que ce travail soit l’accomplissement de vos vœux , et le fruit de votre soutien infaillible .

Merci.

Khelidja

Tableau 01 : Production du pois chiche en Algérie durant les années 2012-2015 (FAOSTAT, 2017).

Tableau 02 : Les principales maladies fongiques du pois chiche, agents pathogènes et symptômes (Reddy et *al.,* 1991**).**

Tableau 03: les principales maladies bactériennes affectant le pois chiche (Nene et *al*. (1996); Shroeder (2011).

Tableau 04 : Les principales maladies virales du pois chiche (Icrisat, 1990 ; Nene et *al.,* 2012 ; Schwinghamer et Larsen, 2011).

Tableau 05 : les différentes substances actives insecticides homologuées pour le traitement des grains et graines pour les protéger sur le long terme des attaques des insectes nuisibles après la récolte (Huignard et *al.,* 2O11).

Tableau 06: Localisation des huiles essentielles des quelques végétaux (Pibiri, 2005).

Tableau 07: Organes de certaines plantes riches en huiles essentielles (Garneau, 2005).

Tableau 08: Spécifications physico-chimiques de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* (La norme AFNOR NF T75-225).

Tableau 09: Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et *al*. (1970).

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification pour le paramètre de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par inhalation.

Tableau 11 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% pour l'effet du facteur dose sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par inhalation

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur de classification au seuil de 5% pour le paramètre de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes de *C. chinensis*.

Tableau 13 : Nombre d'individus de *C. chinensis* présents dans la partie traitée et non traitée et le pourcentage de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification pour le paramètre de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par contact

Tableau 15 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5%

pour l'effet du facteur dose sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* par contact

Tableau 16 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% pour l'effet du facteur temps sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* par contact

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre fécondité des femelles de *C. chinensis* après traitement avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*

Tableau 18 : Résultats du test de NEWMAN et KEULS au seuil de signification de 5% concernant l'effet du facteur dose de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* après traitement par contact sur la fécondité des femelles de *C. chinensis.*

Tableau 19 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre éclosion des femelles de *C. chinensis* après traitement avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*

Tableau 20 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre éclosion des œufs de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus.*

Tableau 21: Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre émergence des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par contact

Tableau 22 : Résultats de test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* sur l'émergence des adultes de *C. chinensis* traités par contact.

Figure 1. Le système racinaire de pois chiche.

Figure 2. Description morphologique du pois chiche

Figure 3. Les différentes couleurs de fleurs de pois chiche

Figure 4. Les différents types de graines de pois chiche

Figure 5. Pourcentage de production de pois chiche par continent en 2018

Figure 6. Les quantités de pois chiche exportées par les 5 plus grands pays exportateurs en 2018

Figure 7. Les quantités de pois chiche importées par les 5 plus grands pays importateurs en 2018

Figure 8. Situation agronomique du pois chiche en Algérie à traves le temps

Figure 9. Une graine de pois chiche pleine des œufs de *C. chinensis*.

Figure 10. Les différents stades larvaires de *Callosobruchus chinensis*

Figure 11. Nymphe de *Callosobruchus chinensis* sous une loupe binoculaire G X40

Figure 12. Deux individus adultes de *Callosobruchus chinensis* L. Mâle (à droite) et femelle (à gauche)

Figure 13. Dimorphisme sexuel chez C. chinensis : (a) Mâle et (b) femelle sous une loupe binoculaire G ×40

Figure 14. Cycle biologique de la bruche chinoise *C. chinensis*

Figure 15. Graines de pois chiche infestées par *C. chinensis* à gauche et des graines saines à droite

Figure 16. Le parasitoïde *Dinarmus basalis*

Figure 17. *Eucalyptus globulus*

Figure 18. Matériel utilisé au laboratoire

Figure 19. Les graines de pois chiche lavées et séchées à l'air libre

Figure 20. Elevage de masse de la bruche chinoise.

Figure 21. Test par inhalation sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de l'eucalyptus

Figure 22. Dispositif expérimental du test de répulsion sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de *Eucalyptus globulus*

Figure 23. Test de contact sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus*

Figure 24. Taux moyens de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec différentes doses de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* en fonction des doses et de la durée de traitement par inhalation

Figure 25. Taux moyens de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes *C. chinensis* après 30 minutes d'exposition aux différentes doses

Figure 26. Mortalité moyenne des adultes de la bruche du pois chiche *C.chinensis* après traitement par contact à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* en fonction de temps (j).

Figure 27. Fécondité moyenne des femelles de *C.chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact

Figure 28. Taux moyen d'éclosion des œufs de *Callosobruchus chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact.

Figure 29. Taux moyen d'émergence des adultes de *Callosobruchus chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Présentation de la plante hôte *Cicer arietinum L.*

1. Origine et distribution géographique 03
2. Taxonomie de la plante 03
3. Description botanique 04
3.1. Racines 04
3.2. Tiges 04
3.3. Feuilles 04
3.4. Fleurs 04
3.5. Fruits 05
4. Types de pois chiche 05
5. Biologie de la plante 06
6. Situation de la culture du pois chiche 07
6.1. Dans le monde 07
6.2. En Algérie 09
7. Importance du pois chiche 10
7.1. Sur le plan nutritionnel 10
7.2. Sur le plan médicinal 11
7.3. Sur le plan agronomique 11
7.4. Sur le plan technique 12
8. Maladies et les ennemis du pois chiche 12
8.1. Maladies fongiques 12
8.2. Maladies bactériennes 13
8.3. Maladies virales 14
8.4. Ravageurs du pois chiches 15
- Diptères 15
- Homoptères 15
- Lépidoptères 15
- Coléoptères 16
- Nématodes 16

Chapitre II. Présentation de l'insecte *Callosobruchus chinensis*

1. Caractères généraux des Bruchidae 17
2. Présentation de Callosobrucus chinensis 17
2.1. Position systématique de la bruche chinoise 17
2.2. Origine et répartition géographique 18
2.3. Description de l'espèce 18
2.3.1. Œuf 19
2.3.2. Larve 19
2.3.3. Nymphe 19
2.3.4. Adulte 20

2.3.5. Dimorphisme sexuel 21
2.4. Biologie et écologie 21
2.5. Les dégâts d'infestation 23
2.5.1. Sur le plan quantitatif 23
2.5.2. Sur le plan qualitatif 23
3. Moyens de lutte dans les lieux de stockage 24
3.1. Lutte préventive 24
3.2. Lutte curative 24
3.2.1. Lutte chimique 24
3.3. Lutte physique et culturale 27
3.3.1. Froid 27
3.3.2. Chaleur 27
3.3.3. Irradiation 28
3.4. Lutte culturale 28
3.5. Lutte génétique 28
3.6. Lutte biologique 29
3.6.1. Les parasitoïdes 29
3.6.2. Prédateurs 30
3.6.3. Extraits de végétaux (huiles essentielles) 30

Chapitre III. Huiles essentielles

1. Généralités sur les huiles essentielles 32
2. Répartition dans le règne végétal 32
3. Localisation des huiles essentielles dans la plante 32
4. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles 33
5. Activités des huiles essentielles 34
6. Les huiles essentielles dans la protection des cultures 34
6.1. Activité acaricide, fongicide et bactéricide 34
6.2. Activité insecticide des huiles essentielles 35
7. Huile essentielle de L'Eucalyptus globulus 36
7.1. Origine 36
7.2. Description de L'Eucalyptus 36
7.3. Classification botanique 37
7.4. Composition chimique de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus 37
7.5. Utilisations et propriétés de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus 38

Chapitre IV. Matériel et méthodes

Matériel et méthodes 40
1. Matériel 40
1.1. Matériel de laboratoire 40
1.2. Matériel biologique 42
1.2.1. Graines de pois chiche 42
1.2.2. Bruches 42
1.2.3. Huiles essentielles utilisées 42
2. Méthodes 42
2.1. Elevage de masse 42
2.2. Effet insecticide de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus sur C. chinensis 43
2.2.1. Test par inhalation 43

2.2.2. Test par répulsion 44
2.2.3. Test par contact 45
2.2.3.1. Paramètres étudiés 46
- Longévité des adultes 46
- Fécondité des femelles 46
- Taux d'éclosion des œufs 46
- Taux d'émergence 46
3. Analyse des données ou statistiques 47

Chapitre V Résultats et discussion

1. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'Eucalyptus globulus par inhalation 48
1.1. Résultats 48
1.2. Discussion 49
2. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'Eucalyptus globulus par répulsion 51
2.1. Résultats 51
2.2. Discussion 53
3. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'Eucalyptus globulus par contact 56
3.1. Action sur la mortalité 56
3.1.1. Résultats 56
3.1.2. Discussion 58
3.2. Action sur la fécondité 60
3.2.1. Résultats 60
3.2.2. Discussion 61
3.3. Action sur l'éclosion des œufs 64
3.3.1. Résultats 64
3.3.2. Discussion 66
3.4. Action sur l'émergence 67
3.4.1. Résultats 67
3.4.2. Discussion 68
Conclusion 70
Références bibliographiques 71
Résumé

Les légumineuses alimentaires constituent une très grande source de protéines végétales qui peut corriger le déficit en protéines animales. En plus, elles sont riches en minéraux essentiels et en lysine, de ce fait, elles sont complémentaires des profils nutritionnels des céréales (Duranti et Gius, 1997). En outre, elles ont un usage médicinal non négligeable. En plus de leur importance dans le régime alimentaire humain et animal, elles ont un intérêt particulier dans le concept de l'agriculture durable. L'introduction de ces espèces dans un système de culture est, impérativement, tributaire de l'amélioration de leurs performances agronomiques (Ben Mbarek, 2011).

La moitié des superficies occupées par la culture des légumineuses alimentaires dans le monde est le continent asiatique, avec une superficie de 49%. Alors que le quart des superficies cultivées se localise en Afrique, mais la production est jugée faible avec 21,68%, suivie par le continent américain avec 18.97%. (FaoStat, 2013).

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) occupe la troisième position mondiale après le haricot et le petit pois en tant qu'une légumineuse alimentaire cultivée ; il est considéré comme une source essentielle d'hydrates de carbone, de sels minéraux et de protéines (Abdelguerfi-Laouar et *al.,* 2001). Originaire du Moyen-Orient, le pois chiche est cultivé dans les 5 continents et dans plus de 50 pays (Fao, 2015). Plus de 90% des superficies sont situées dans les pays développés (Gaur et *al.*, 2012 ; Millán et *al.,* 2015).

Le pois chiche est l'une des plus importantes légumineuses à graines en Algérie, il occupe la deuxième position après la fève-fèverole. La majeure partie des superficies cultivées de cette espèce est concentrée à l'Ouest du pays, particulièrement, dans les régions de Tlemcen et Ain-Temouchent, qui sont caractérisées par un climat humide à subhumide (MADR, 2014). Cette espèce est cultivée sur une superficie annuelle moyenne de 33 mille ha soit 36.78% de la superficie des légumineuses à graines. La production, est caractérisée par des fluctuations interannuelles, de l'ordre de 351 mille quintaux avec un rendement moyen de10 q/ha (MADR, 2014).

La culture de *C. arietinum*, comme toutes les autres espèces des grandes cultures, se trouve en général exposée aux différents bio-agresseurs des légumineuses qui causent des dégâts soit en plein champ (comme les pucerons et les maladies fongiques) ou d'autres qui s'installent dans les lieux de stockages ; c'est le cas de plusieurs espèces de Coléoptères comme les bruches de la superfamille Chrysomeloidea comme *Callosobruchus annalis* F., *Callosobruchus maculatus* F. et *Callosobruchus chinensis* L. (Hossain and Haque, 2010 ; Hossain et *al*., 2014).

La bruche chinoise, *C. chinensis* est l'un des insectes les plus importants qui provoque des dommages en plein champ et pendant le stockage de *C. arietinum* dans plusieurs continents du monde (Amérique, Afrique et Asie) (Atwal, 1976). Les femelles déposent leurs œufs directement sur la surface des graines qui vont éclore et donner des larves qui se développent à l'intérieur des graines et se nourrissent du contenu cotylédonaire ce qui provoque des pertes quantitatives et qualitatives ainsi qu'une détérioration de leur faculté germinative (Delobel, 2008).

Face à la menace que constituent les bruches, les moyens de lutte sont essentiellement articulés autour de l'utilisation d'insecticides chimiques surtout les fumigants dont l'efficacité est certaine. Cependant, les innombrables nuisances associées à leur utilisation telles que leur toxicité, la perturbation de l'équilibre biologique de l'écosystème et le développement de souches résistantes, imposent la recherche de nouvelles méthodes alternatives de lutte contre ce ravageur (Goucem-Khelfane, 2014).

Les inconvénients des insecticides ont conduit à la recherche de nouvelles stratégies de lutte alternative pour réduire l'application des produits phytosanitaires. L'application des huiles essentielles, qui sont des produits d'origine naturelle, ont un effet moins toxique sur les organismes vivants et empêche le déséquilibre de la chaine alimentaire ainsi que les milieux naturels (Emana, 1999; Adedire et *al*., 2011).

De nombreux travaux ont montré l'efficacité des huiles essentielles soit par inhalation, répulsion ou par contact sur plusieurs ravageurs des stocks comme *C. maculatus* (Kellouche, 2005; Taleb-Toudert, 2015), *Acanthocelides obtectus* (Hamdani, 2012 ; Goucem- Khelfane, 2014) et *C. chinensis* (Righi-Assia et *al.,* 2010).

Dans ce contexte, nous nous proposons d'évaluer l'activité insecticide de l'huile essentielle de l'eucalyptus *Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes de la bruche chinoise *C. chinensis* par contact, inhalation et répulsion.

Notre travail est scindé en deux parties, la première partie bibliographique divisée en trois chapitres principaux traitant de la plante hôte : le pois-chiche (*C. arietinum* L.) et l'insecte ravageur: la bruche chinoise (*C. chinensis*) ainsi que l'huile essentielle : *Eucalyptus globulus.* La deuxième partie expérimentale comporte le matériel et les différentes méthodes utilisées durant toute cette étude, ainsi que les résultats et discussion relatifs à l'évaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle. Ce travail est terminé par une conclusion et quelques perspectives de recherche pour les travaux futurs.

1. Origine et distribution géographique

Le pois chiche est originaire du Moyen-Orient, plus précisément du Sud-Est de la Turquie et de la Syrie où 03 espèces annuelles sauvages de pois chiches existent encore (Guillaume, 2010). Au cours de sa domestication, le pois chiche semble avoir connu plusieurs centres de diversification, dont le plus ancien serait le plateau Anatolien (Van Der Maesen, 1984). Il s'est rapidement disséminé dans le monde pour devenir une culture importante des environnements subtropicaux et méditerranéens (Muehlbauer et Rajesh, 2008).

D'après Erroux (1975), le pois-chiche (*Cicer arietinum* L.) est connu depuis la haute antiquité dans le bassin méditerranéen, dans le Sud-Est de l'Asie et en Inde. Il est classé parmi les premières légumineuses à graines domestiquées par l'homme (Van Der Maesen, 1987). Ce dernier explique que les premières traces d'utilisation du pois chiche comme aliment remontent à environ 7000 ans. Il aurait été cultivé pour la première fois dans la région méditerranéenne il y a 5000 ans.

En Algérie, le pois-chiche a été cultivé avant la colonisation, sauf qu'il a été difficile à cultiver (Laumont et Chevassus, 1956 ; Labdi, 1990).

2. Taxonomie de la plante

Duschak (1871) a signalé que l'origine du mot *Cicer* est Hébreu ‹‹ Kirkes››, ou ‹‹ Kikar›› qui signifie rond. Le mot *arietinum* («*aries*» en latin) fait référence à la forme de la graine en tête de bélier (Vander Maesen, 1987).

Selon Boumlik (1995), la position systématique du pois chiche est la suivante:

- Embranchement……. Spermaphytes
- Division…….....Dicotylédones
- Ordre……..Rosales
- Famille……Fabacée (Légumineuses)
- Genre……..*Cicer*
- Espèce……*Cicer arietinum* L., 1753.

3. Description botanique

Le pois chiche est une plante herbacée annuelle, autogame, diploïde (2n=16 chromosomes), atteignant 20 à 40 cm de haut dont les caractéristiques morphologiques (Figure 2) sont :

3.1. Racines

Le système racinaire est de type pivotant avec 3 ou 4 racines latérales dont la plupart sont étalées sur 15 à 30 cm de profondeur dans sol (Figure 1). Les racines atteignent 1,5 à 2,0 m de profondeur. La fixation de l'azote se fait grâce à des bactéries spécifiques du pois chiche (*Rhizobium ciceri*) qui forment des nodules sur les racines (Tillard, 1988).

Figure 1. Le système racinaire de pois chiche (Anonyme 1, 2016).

3.2. Tiges

La tige est érigée, anguleuse, couverte de poils et mesure entre 30 et 50 cm de hauteur (Figure 2). A une certaine hauteur, selon les génotypes, la tige de pois chiche se ramifie en deux ou trois branches, pour donner des ramifications secondaires et par la suite des ramifications tertiaires. La plante peut alors présenter un port soit étalé, soit semi dressé (Slama, 1998).

3.3. Feuilles

Cicer arietinum présente des feuilles composées et alternes avec un nombre de folioles impaires. Chacune d'elles compte 7 à 17 folioles ovales et à dentées (Ayadi, 1986) (Figure 2).

3.4. Fleurs

Les fleurs sont blanches, violettes ou bleues (Ladinsky et Abbo, 2015). Elles sont zygomorphes, typiquement papilionacées, solitaires (Duke, 1981) ou en grappes de deux

insérées sur des pédoncules axillaires à l'aisselle des feuilles et au niveau des bifurcations (Benmbarek, 2011) (Figure 3).

3.5. Fruits

Le fruit de cette plante prend la forme d'une gousse renflée atteignant 3 cm de long sur 1,5 cm de large, avec des poils glanduleux ; chaque gousse contient 1 à 2 graines, rarement 4 graines d'un diamètre pouvant atteindre 14 mm. Les graines sont globuleuses à anguleuses ovoïdes, à rainure médiane et à bec bien distinct supérieur au hile, de couleur crème à brune, verte ou noire et à surface lisse ou ridée (Singh et *al.*, 1995 ; Bock, 2008) (Figure 4).

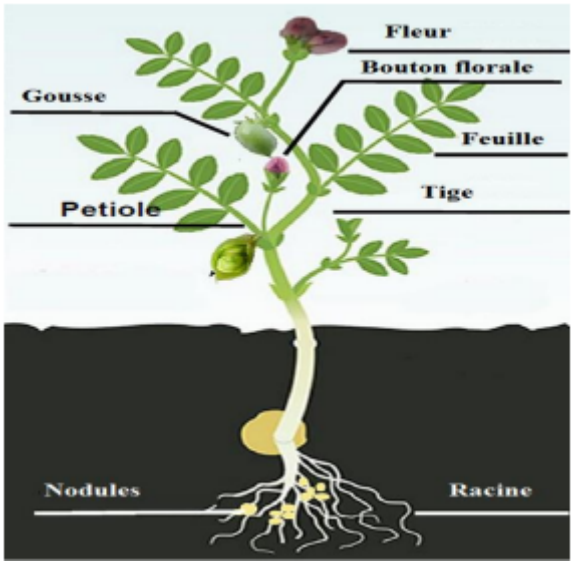


Figure 2. Description morphologique du pois chiche (Kudapa et *al.*, 2018)

Figure 3. Les différentes couleurs de fleurs de pois chiche (Bellemou et *al.*, 2016)

4. Types de pois chiche

Il existe trois types du pois chiche, à savoir :

Type Desi ou "microsperma" (Singh, 1987; Toker, 2014): caractérisé par des petites graines, angulaire avec la présence éminente d'un bec et une surface rugueuse. Les graine de ce type se caractérisent aussi par des téguments colorés et épais ; les couleurs comprennent diverses nuances qui combinent : le marron, le jaune, le vert et le noir (Figure 3) ;

Type Kabuli ou "macrosperma" (Singh, 1987; Toker, 2014) : caractérisé par des grosses graines, de couleur blanche ou beige avec la forme de « tête de bélier », des téguments minces et lisses (Figure 3) ;

Un troisième type intermédiaire appelé Gulabi a été identifié par certains auteurs, il présente des grains lisses, de couleur claire et d'une taille moyenne (ITGC, 2011) (Figure 3).

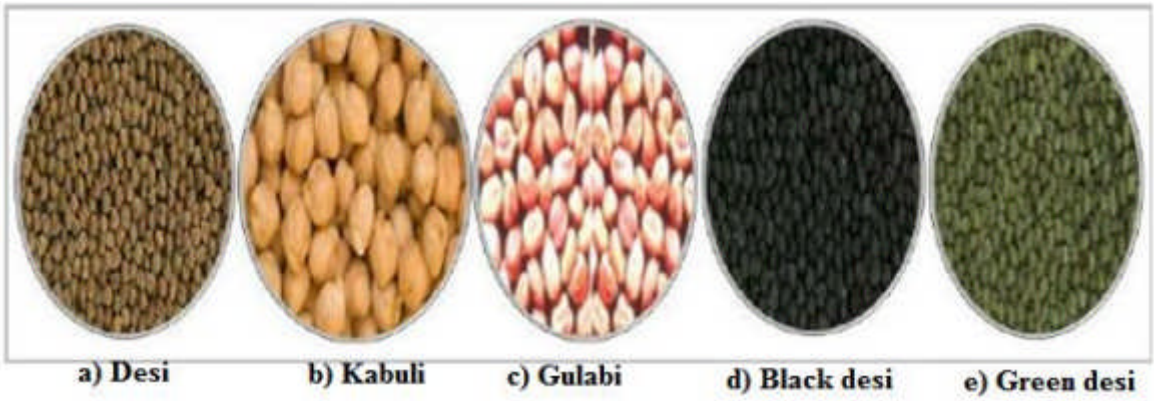


Figure 4. Les différents types de graines de pois chiche (Singh et *al.*, 2015)

5. Biologie de la plante

Dans le bassin méditerranéen, le pois chiche est considéré comme une culture de printemps, la plante se développe vigoureusement et complète son cycle évolutif en 4 mois (El-Aoufir, 2001). La pollinisation chez le pois chiche est assurée pendant le stade de formation des bourgeons à fleur, avant qu'elles ne soient visitées par les abeilles dans les champs (Van Der Maesen, 1972). Certains cultivars de pois chiche à maturité précoce peuvent compléter leur cycle de vie dans 65 jours. Cependant les cultivars à maturité tardive demandent environ 120 jours. Les variétés du pois chiche en hiver peuvent étaler leurs cycles végétatifs jusqu'à 180 jours (Muehlbaur et Rajesh, 2008).

La plante du pois chiche a besoin d'un taux d'humidité du sol qui varie entre 15 et 40% pendant la germination et le développement de la graine ; l'humidité excessive du sol à la floraison réduit le rendement en grains (Wery et *al*, 1994).

6. Situation de la culture du pois chiche

6.1. Dans le monde

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est la deuxième légumineuse alimentaire la plus cultivée dans le monde en termes de production et de superficie (Gaur et *al.*, 2012). En 2016, la production mondiale a été estimée à 17 217 705 tonnes pour une superficie totale de 17 849 300 ha (FAO, 2019).

Ainsi, plus de 80% de la production mondiale annuelle provient de l'Asie ; l'Inde étant le principal producteur de cette légumineuse (Figure 5). Cependant, l'Afrique, ne contribue qu'avec 5.9% de la production annuelle mondiale, avec l'Ethiopie comme principal producteur du continent (FAO, 2019).

Auparavant, 90% des pois chiches se consommaient dans le pays où ils sont produits ; mais au cours de ces dernières années les échanges mondiaux de pois chiches ont fait que des pays exclusivement exportateurs sont apparus (FAO, 2019). En effet, les cinq plus grands exportateurs sont : l'Australie, la Russie, le Canada, l'Argentine et l'Inde (Figure 6). Par contre, les cinq plus grands importateurs sont : le Pakistan, l'Inde, le Bengladesh, les Emirates et l'Algérie (Figure 7).

Concernant la France, entre 2019 et 2020, les exportations s'élevaient à 15 559 tonnes avec pour destinations principales l'Europe, dont 36% en Belgique et 20% au Pays Bas. Durant la même année, la France a importé 7 002 tonnes essentiellement en provenance du Mexique (2 475 tonnes), de l'Italie (1 111 tonnes) et de l'Inde (1 007 tonnes), (FAO statistiques 2019).

Les rendements de cette culture dépendent de l'importance des attaques parasitaires et des conditions climatiques, notamment le volume des pluies. La sécheresse est le principal facteur limitant le rendement. La valeur des pertes causées annuellement par cette dernière est estimée à 1,2 milliards de dollars dans le monde (Houasli et *al*., 2014).

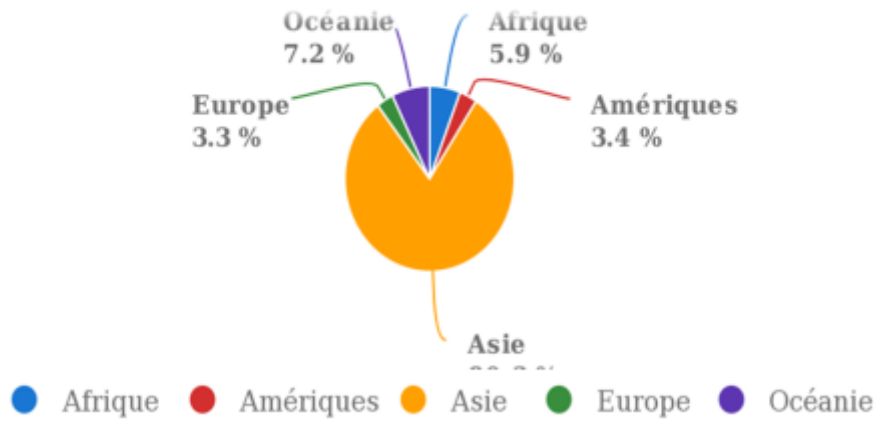


Figure 5. Pourcentage de production de pois chiche par continent en 2018 (FAO, 2019)

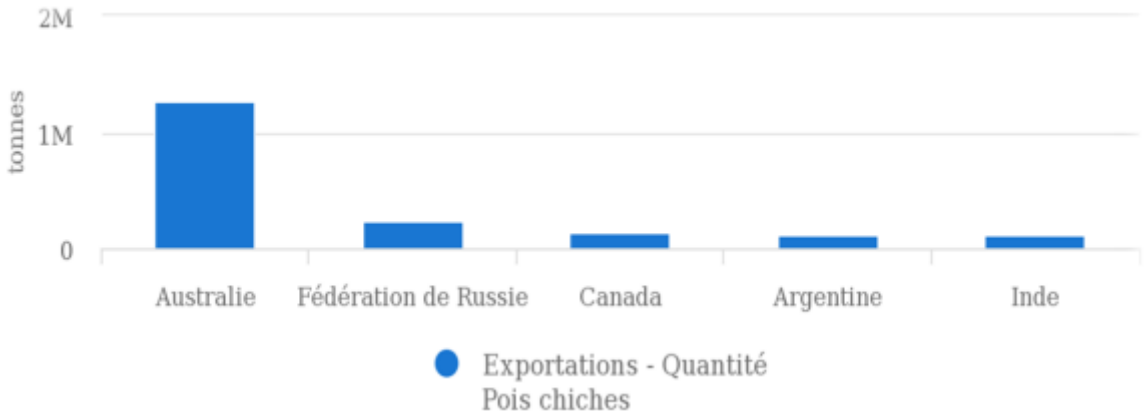


Figure 6. Les quantités de pois chiche exportées par les 5 plus grands pays exportateurs en 2018 (FAO, 2019).

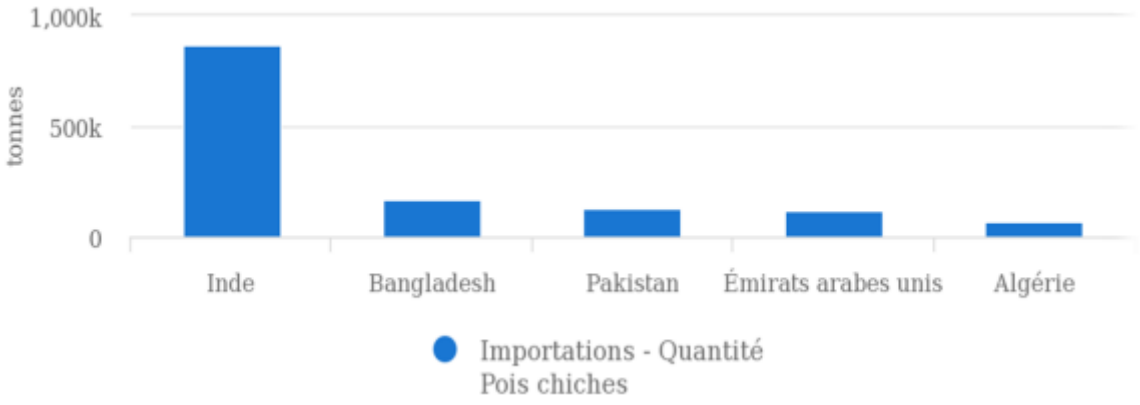


Figure 7. Les quantités de pois chiche importées par les 5 plus grands pays importateurs en 2018 (FAO, 2019)

6.2. En Algérie

En Algérie, le pois chiche constitue la seconde légumineuse cultivée après la fève *(Vicia faba* L.) (Abdelguerfi et *al.*, 2001). La superficie réservée au pois chiche a augmenté durant la période 1961- 1990. D'une part, elle a présenté une régression constante passant de 47 061 ha durant la période 1981-1990 à 21 799 ha durant la période 2001-2010. Les productions les plus importantes ont été observées durant la décennie 1991-2000, avec une production en 1992 de 261 320 qx. De même, la production de l'année 2010 a atteint 234 737 qx.

D'autre part, la hausse de la production enregistrée ces dernières années peut être attribuée à l'extension des terres réservées aux légumineuses, atteignant durant la saison 2013-2014 une superficie de plus de 33 295 hectares, ainsi qu'à l'adhésion des agriculteurs au programme national de développement des filières légumineuses. Les fellahs adhérant à la production de pois chiche bénéficient d'un soutien du Fonds National de Régulation Agricole et de Développement Rural, de l'ordre de 7.000 DA/q pour l'acquisition des semences.

En outre, la filière légumineuse a enregistré de grandes performances en 2018. Et ce, avec une importante production, principalement pour les pois chiches et les lentilles. C'est d'ailleurs le satisfecit chez les responsables du secteur qui parlent d'une production historique jamais atteinte. Pour la campagne 2017/2018, elle était à 1 ,3 millions de quintaux pour une valeur de 220 milliards de dinars soit une évolution de 63% par rapport à 2017 (135 milliards de dinars). Pour rappel, durant la campagne 2015/2016, le volume de production obtenu était de 770 153 quintaux, soit une augmentation de 69%. Pour les rendements moyens, ils ont atteint 12 q/ ha durant la campagne 2017/2018, contre 11 q/ha en 2016/2017. C'est dire que la filière a enregistré des résultats probants durant la campagne agricole 2017/2018 où les superficies, les productions et les rendements ont augmenté de manière substantielle à travers l'ensemble des zones de production comme le montre le tableau 01 et la figure 07.

Tableau 01 : Production du pois chiche en Algérie durant les années 2012-2015 (FAOSTAT, 2017) :

Année	Surface en hectare (ha)	Production (en tonne)	Rendement en hectogramme/hectare (hg/ha)
2012	30562	27675	9055
2013	29320	34980	11930
2014	33295	35118	10548
2015	29000	31000	10690

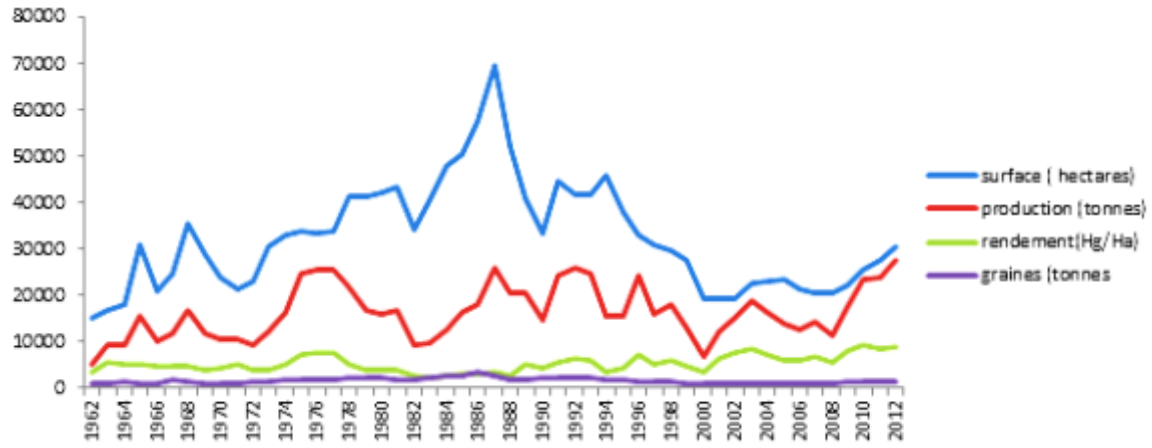


Figure 8. Situation agronomique du pois chiche en Algérie à traves le temps (FAOSTAT, 2014).

7. Importance du pois chiche

7.1. Sur le plan nutritionnel

Les légumineuses fournissent une part importante des protéines et des calories dans le régime afro-asiatique. La composition en acides aminés du pois chiche est bien équilibrée, à l'exception des acides aminés soufrés limités (méthionine et cystéine), et est riche en lysine. Le pois chiches est donc un compagnon idéal des céréales connues pour être plus riches en acides aminés soufrés mais limités en lysine (Wood et Grusak, 2007, Jukanti et *al*., 2012).

Le pois chiche, au même titre que la fève et les haricots, est une graine protéagineuse cultivée pour sa richesse en protéine (20% et 25%). A titre de comparaison, la teneur en protéines de la viande est de 16% à 25% et celle du poisson est de 14 à 20% (Anonyme b, 2004).

Il fait partie du nombre très réduit d'aliments qui apportent à la fois des protéines et un grand nombre de sels minéraux (Calcium, Fer, Potassium et Phosphore) jouant un rôle important dans l'alimentation (Mahiout, 2017).

La teneur totale en lipides comprend principalement des polyinsaturés (62-67 %), des mono-insaturés (19-26 %) et des saturés (12-14 %). Par conséquent, la petite quantité de lipides est principalement du type bénéfique (mono-insaturés et polyinsaturés) plutôt que les graisses saturées qui sont liées aux maladies cardiaques et circulatoires (Mahiout, 2017).

Les glucides sont la principale composante nutritionnelle, avec 51-65% dans le type Desi et 54-71% dans le type Kabuli. Les principales classes sont des monosaccharides, des disaccharides, des oligosaccharides et des polysaccharides (Mahiout, 2017).

Le pois chiche contient des quantités considérables d'acide folique associées à des quantités plus modestes de vitamines hydrosolubles comme la riboflavine (B2), l'acide pantothénique (B5) et la pyridoxine (B6). Ces niveaux sont similaires ou supérieurs à ceux observés dans d'autres légumineuses (Mahiout, 2017).

Alajaji et El-Adawy (2006) montrent que l'ébullition, l'autoclavage et la cuisson à micro-ondes affectent la composition, les facteurs antinutritionnels, les facteurs de flatulence et la qualité nutritionnelle des pois chiches. Selon ces auteurs, la cuisson par micro-ondes cause de légères pertes de vitamines B et de minéraux, alors que l'autoclavage provoque des pertes importantes.

Les graines de pois chiches brutes (100 g) fournissent en moyenne environ 5 mg de fer, 4,1 mg de zinc, 138 mg de magnésium et 160 mg de calcium. Environ 100 g de graines de pois chiche peuvent répondre aux besoins diététiques quotidiens en fer (1,05 mg / jour chez l'homme et 1,46 mg / j chez la femme) et en zinc (4,2 mg / j et 3,0 mg / j) alors que 200 g peuvent répondre aux besoins en magnésium (260 mg / j et 220 mg / j) (Jukanti et *al*., 2012).

7.2. Sur le plan médicinal

La consommation de pois chiche a des effets physiologiques qui peuvent réduire le risque de maladies chroniques et optimiser la santé. Elle présente un intérêt particulier pour les diabétiques, car elle fait grimper moins vite le taux de sucre sanguin que les autres aliments riches en glucides (Baumgartner, 1998). D'une part, les isoflavones sont des métabolites secondaires di-phénoliques qui peuvent réduire l'incidence des maladies cardiaques (Jukanti et *al.*, 2012). Ainsi, Il est démontré que le régime à base de pois chiches, riche en fibres, réduit le taux total de cholestérol plasmatique chez les sujets obèses (Crujeiras et *al*., 2007). Cette légumineuse contient des saponines qui influencent positivement le taux de cholestérol (Baumgartner. A, 1998).

D'autre part, les oligosaccharides peuvent servir de probiotiques (Guillon et Champ, 2002). Ces derniers stimulent la croissance et l'activité des bactéries bénéfiques dans le système gastrointestinal, comme *Bifidobacterium* et *Lactobacillus* et sur des bactéries nocives comme *Salmonella spp*., *Helicobacter pylori* et *Clostridium perfringens* (Wood et Grusak, 2007).

7.3. Sur le plan agronomique

Les cultures des légumineuses ont une très grande importance économique et agronomique en raison de leur capacité à assimiler l'azote atmosphérique grâce à une relation symbiotique avec une bactérie du sol, *Rhizobium ciceri*. La fixation biologique de l'azote se produit à l'intérieur des nodules portés par les racines des espèces de légumineuses, à la suite d'une symbiose entre la plante hôte et ces bactéries (Thavarajah et *al* ; 2005).

Dans les régions semi-arides du bassin méditerranéen où les ressources en eau sont en constante régression, les agriculteurs se rendent compte, de plus en plus, du rôle appréciable que jouent les légumineuses à graines dans la fertilisation organique du sol (Pacucci et *al.*, 2006). En effet, le pois chiche peut, grâce à sa capacité à fixer biologiquement l'azote atmosphérique, subvenir à environ 90% de ses besoins en cet élément et les quantités fixées peuvent dépasser (dans certains cas) 400 kg d'azote/ha/an (Obaton, 1992). Une grande partie de cet azote est restitué au sol après incorporation des résidus de récolte.

De par ses caractéristiques, la culture du pois-chiche maintient pour une longue durée la fertilité du sol et se place comme un atout majeur dans toutes les stratégies de gestion durable en agriculture (Icrisat, 2008).

7.4. Sur le plan technique

Le pois chiche est un bon précédent cultural. Il libère le sol assez tôt (sa maturité est cependant un peu plus tardive que celle des céréales) en laissant une structure très bonne. Ceci permet une bonne implantation et un meilleur développement des cultures suivantes.

Cette culture a des besoins limités en eau, et de ce fait elle résiste assez bien au stress hydrique de sorte que cette dernière ne demande qu'une pluviosité moyenne. Son système racinaire puissant lui permet de prélever de l'eau jusqu'à 1,5 m de profondeur environ. L'irrigation peut être envisagée en situation de déficit hydrique prononcé. Le pois chiche est très sensible à l'excès d'eau pendant la phase reproductrice (Sinha et watters, 1985).

8. Maladies et les ennemis du pois chiche

8.1. Maladies fongiques

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est vulnérable à plusieurs agents pathogènes (Ayadi, 1986) dont les plus importants d'origine fongique, sont illustrés dans les Tableau 02.

Tableau 02 : Les principales maladies fongiques du pois chiche, agents pathogènes et symptômes (Reddy et *al.*, 1991**).**

La maladie	L'agent pathogène	Les symptômes
Le flétrissement	*Fusarium oxysporum f.sp. ciceri*	L'attaque du champignon se manifeste par des chutes des pétioles et des tâches rougeâtres au niveau des folioles qui commencent à perdre leur couleur verte, celle-ci se transforme en couleur verte claire pour se décolorer en jaune paille (Haware, 1990).
Le flétrissement	*Verticillium alboatrum.*	Avant de flétrir, la plante infectée devient jaune, les tissus du xylème prennent une coloration marron claire comme celle causée par *Fusarium oxysporum f. sp. ciceri* (Haware, 1990).
La pourriture blanche des Tiges	*Sclerotinia sclerotiorum (Lib.).*	Les symptômes sur les plantes adultes sont pareils à celles du flétrissement, ils sont clairement vus sur les tiges qui sont attaquées de n'importe quel point du sol jusqu'au sommet. Des tâches blanches indiquant le mycélium apparaissent sur la tige et la base des branches, comme il y a aussi apparition des taches sclérotiques irrégulières blanches (Singh et Reddy, 1983).
La pourriture sèche des racines.	*Rhizoctonia bataticola*	La maladie se développe dans le sol. Pendant une longue période, se transmet au niveau des racines de façon sévère. Elle apparaît soudainement au moment de la floraison ; le mycélium à une couleur marron brillant (Haware, 1990).
La pourriture grise.	*Botrytis cinerea.*	La maladie est très importante pour la culture, les symptômes sont caractérisés par des tâches grises et marron au niveau de la partie aérienne de la plante (Haware, 1990)
La pourriture racinaire.	*Phoma medicaginis*	Les symptômes peuvent être confondus avec ceux causés par *Ascochyta rabiei* (Néne et Reddy, 1987).

8.2. Maladies bactériennes

Les principales maladies bactériennes du pois chiche sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 03: les principales maladies bactériennes affectant le pois chiche (Nene et *al*. (1996); Shroeder (2011).

Symptômes	Agent causal	Distribution	Importance
Brûlure bactérienne et fonte de semis	*Xanthomonas campestris pv. cassiae* (Kulkarni. Patel et Dhande) Dye.	Inde	Mineure
Chancre bactérien de la tige, taches foliaires et dépérissement	*Pseudomonas andropogonis* (Smith) Stapp.	Australie, Italie, une signalisation aux USA.	Mineure
Graines roses	*Erwinia rhapontici*	Canada	Faible incidence

8.3. Maladies virales

Les principales maladies virales du pois chiche sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Les principales maladies virales du pois chiche (Icrisat, 1990 ; Nene et *al.*, 2012 ; Schwinghamer et Larsen, 2011).

Symptômes	Agent causal	Distribution	Importance
Mosaïque jaune Jaunissement	*Bean yellow mosaic potyvirus* (BMYV)	USA, Iran, Inde	Importance locale, pertes de rendement estimées à 77-92 % en Iran.
Mosaïque jaune	*Beet western yellow luteovirus* (BWYV)	Australie, Inde, Espagne, Syrie	Mineure
Mosaïque, nécroses, flétrissements	*Alfaalfa mosaic virus* (AMV)	Largement répandu	Localement important en Iran où les pertes de rendement sont estimées à 52%.

Enation, mosaïques	*Pea enation mosaic virus* (PEMV)	USA, Italie	Mineure.
Necrotic yellows	*Lettuce necrotic yellows Rhabdovirus* (NLYV)	Australie	Potentiellement à la Nouvelle Galle du Sud et au sud de la Queesland.
Enroulement des feuilles, jaunissement et nanisme	*Faba bean necrotic yellow virus* (FBNYV)	Pays de l'Afrique du Nord, Sud de l'Europe et Sud de l'Asie.	Large distribution
Jaunissement, rougissement du feuillage, et brunissement du phloème	Masterevirus: *Chickpea chlorotic dwarf virus* (CpCDV)	Inde, Ouest de l'Asie, Afrique du Nord	Large distribution en Inde même sur les espèces sauvages du genre *Cicer spp*
Nécroses et dégénérescence du phloème	*Luteovirus: Bean leafroll virus* (BLRV)	Iran, Californie, Afrique subsaharienne ;	Distribution moyenne.

8.4. Ravageurs du pois chiches

Parmi les principaux ravageurs du pois chiches, nous pouvons citer :

- **Diptères**

La mineuse du pois chiche *Liriomyza cinerea* est un des ravageurs du pois chiche. Son incidence sur la culture revêt une importance particulière du fait qu'elle entraîne une diminution de la photosynthèse. L'activité minière des larves réduit la capacité photosynthétique de la plante et de fortes infestations provoquent la dessiccation et prématurent la chute de feuilles et donc un manque à gagner dans la production (Singh et *al*., 1994).

- **Homoptères**

Le cas du puceron *Aphis carccivora* Kock, le vecteur du BLRV qui provoque le rabougrissement (Reed et *al.*, 1987).

- **Lépidoptères**

Les dégâts des larves du lépidoptère *Heliothis armigera* sont observés sur les fleurs et les fruits (Reed et *al.*, 1987).

- C**oléoptères**

L'infestation des graines par les insectes de cet ordre est redoutable (Champ et Dyte, 1978). Le charançon du riz *Sitophilus oryzae* L. est très nuisible aussi au niveau des denrées stockées (Appert, 1985).

L'espèce *Callosobruchus maculatus* (la bruche du niébé) provoque une perte en poids et en éléments nutritifs de la graine (Appert, 1985) et l'espèce *C. chinensis* qui fera l'objet du chapitre suivant.

- **Nématodes**

Deux espèces de nématodes des genres *Heterodera* (Nématode à kyste) et Pr*atylenchus* (Nématode à lésion) sont redoutables sur la culture du pois chiche. IL s'agit d'*Heterodera ciceri* et de *Pratylenchus thornei.*

1. Caractères généraux des Bruchidae

Les Bruchidés [Latreille 1804], sont de petits Coléoptères (phytophagoidea ; Chrysomeloidea) présents sur tous les continents (hormis l'Antarctique) et particulièrement abondants dans les zones tropicales, où une plus grande diversité spécifique est observée avec plus de 60 genres et 1700 espèces décrites à ce jour (Southgate, 1979 ; Johnson, 1994). Les bruches ne représentent qu'une minorité des 135 000 espèces de Coléoptères phytophages (Lawrence, 1982). Ce sont des insectes coléoptères séminivores spécialistes ou oligophages qui se développent aux dépens des graines de légumineuses sauvages et cultivées, comme elles sont des ravageurs notoires des denrées stockées avec un taux de croissance intrinsèque très élevé (Tuda, 2007). Les Bruchidae sont des holométaboles, c'est-à-dire qu'ils ont une métamorphose complète et passent par quatre stades de développement : œuf, larve, nymphe et imago (Auber, 1965).

D'après Balachowsky (1962), les bruches sont caractérisées par une forme courte, ramassée et globuleuse dont la taille oscille entre 1,3 et 5mm, une tête dégagée et un menton pédonculé ; les antennes sont insérées près des yeux ne sont pas filiformes et les élytres recouverts d'une pilosité souvent très fine, qui recouvre incomplètement d'abdomen (Hoffman, 1945). Les pattes postérieures sont toujours plus développées que les deux autres paires avec des fémurs fréquemment dilatés ou renflés. Ainsi, les ailes sont fonctionnelles chez presque toutes les espèces de cette famille (Labeyrie, 1962).

En outre, les larves évoluées des Bruchidae sont de type « rhyncophorien ». Elles subissent 4 à 5 mues au cours de leur évolution (labeyrie, 1962). Ces larves ont un régime clèthrophage car elles vivent exclusivement dans les grains (Avidov, 1965).

Selon Delobel et Tran, (1993), la famille des Bruchidae comprend deux groupes, d'une part, le premier renferme les bruches se développant dans les champs, dans les graines encore vertes et qui ont une seule génération annuelle (espèce univoltine) comme *Bruchus pisorum* (la bruche de pois) et *Bruchus rufimanus* (la bruche de la fève). D'autre part, le deuxième groupe renferme les bruches qui se multiplient à l'intérieur des entrepôts, dans les graines sèches qui ont plusieurs générations annuelles (espèces polyvoltines). C'est le cas de la bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus*) et la bruche chinoise (*Callosobruchus chinensis*).

2. Présentation de *Callosobrucus chinensis*

2.1. Position systématique de la bruche chinoise

Selon Balachowsky (1962), la position systématique de la bruche chinoise est la suivante :

Embranchement…….Arthropodes

Sous-Embranchement……Trachéates

Classe……Insectes

Sous-classe……Ptérygotes Néoptères

Division……Endoptérygotes

Ordre……Coléoptères

Sous- ordre……...Phytophages

Famille…….Bruchidae

Sous famille…….Bruchinae

Genre……..*Callosobruchus*

Espèce……*Callosobruchus chinensis* L.

2.2. Origine et répartition géographique

Le bruche chinoise (*C. chinensis)* est d'origine asiatique, elle s'est répandue dans toutes les régions à climat chaud et elle est peu répandue en Afrique. Elle représente le principal ennemi du pois chiche en Asie occidentale (Delobel et Tran, 1993).

Selon Varma et Anandhi (2010), *C. chinensis* affiche une répartition cosmopolite et a été repéré dans la plupart des pays en raison de l'exportation commerciale de haricots. L'aire de répartition naturelle du coléoptère est dans les régions tropicales et subtropicales de l'Asie, et la population a connu une croissance considérable depuis la culture et la distribution des légumineuses. Leur distribution est fortement influencés par la production humaine et ils ne vivent que sur les légumineuses qui conviennent pour l'accouplement des adultes et servent de nourriture pour les larves.

2.3. Description de l'espèce

Callosobrucus chinensis L. est une espèce qui appartient à la famille des Bruchidées. Son cycle de développement renferme 04 stades qui sont :

2.3.1. Œuf

Selon Fleurat Lessard (1982), les œufs de la bruche chinoise sont semi ovoïdes ne dépassant jamais 0,5 mm de long et adhérent solidement par leur face plane au tégument de la graine. Le nombre d'œufs pondus par la femelle varie suivant les facteurs climatiques, mais ne dépasse jamais 50 œufs (Figure 9).

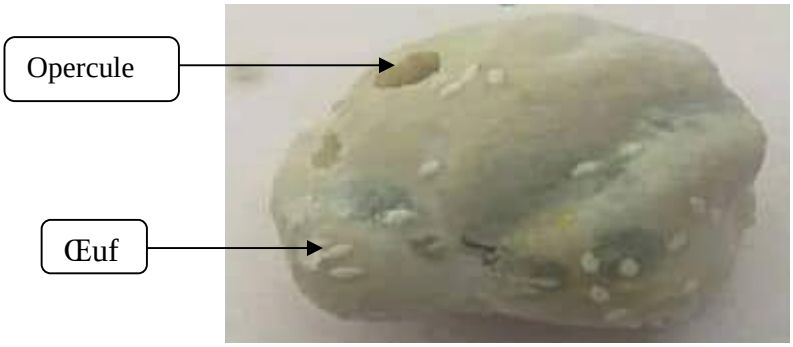


Figure 9. Une graine de pois chiche pleine des œufs de *C. chinensis* (Originale, 2022).

2.3.2. Larve

La larve de *C. chinensis* est de couleur blanche, avec 2.1 à 2.5 mm de long, il existe quatre stades larvaires ; les larves des stades L_2, L_3 et L_4 sont très semblables mais les larves des deux derniers stades sont de taille plus importante (Delobel et Tran, 1993) (Figure10).

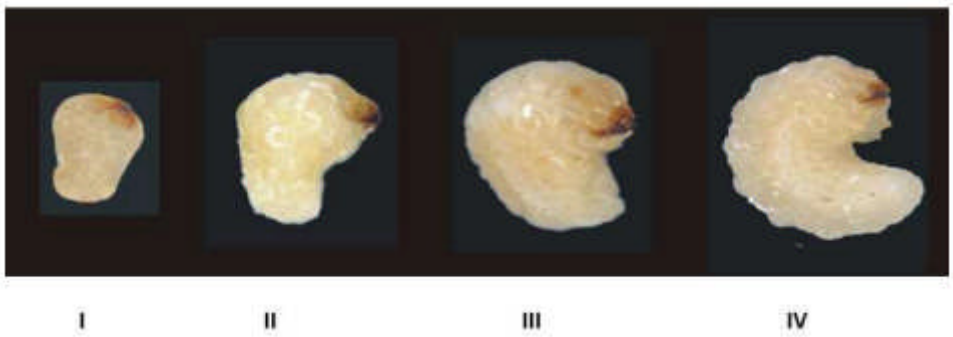


Figure 10. Les différents stades larvaires de *Callosobruchus chinensis* (Goutam et *al.*, 2018)

2.3.3. Nymphe

La pupe de la bruche chinoise est de couleur blanche à jaunâtre. La tête, le thorax et l'abdomen sont bien visibles, elle mesure en moyenne 3,34 mm de longueur, et 1,67 mm de largeur. La période nymphale dure entre 6 et 7 jours (Kumar et *al.*, 2009) (Figure11).

Figure 11. Nymphe de *Callosobruchus chinensis* sous une loupe binoculaire G X40 (Aliane et Imarazene, 2020)

2.3.4. Adulte

Callosobrucus chinensis est de taille plus réduite que les autres espèces de la famille des Bruchidées, elle est de 2,2 à 2,8 mm de longueur. Elle a le corps plus ramassé et possède deux callosités nacrées à la base du prothorax ; ce dernier est de forme conique et étranglée vers le tiers antérieur (Fleurat Lessard, 1982). Le pygidium est allongé, assez pointu recouvert d'une substance blanche et jaune. En outre, la face ventrale est noire avec de petites parties couvertes de poils blancs. Enfin, les fémurs postérieurs présentent une dent simple au bord inféro-externe (caractère du genre *Callosobruchus*) (Delobel et Tran, 1993). Les même auteurs rajoutent que l'adulte est un bon voilier et que deux phéromones sexuelles sont sécrétées par la femelle : l'une est attractive, l'autre induit la copulation (Figure 12).

Figure 12. Deux individus adultes de *Callosobruchus chinensis* L. Mâle (à droite) et femelle (à gauche) (Acheraiou et Kaced, 2019).

2.3.5. Dimorphisme sexuel

Chez la plupart des Coléoptères, il n'existe aucune différence extérieure visible entre les deux sexes mais, dans certains cas il y a des caractères sexuels secondaires qui peuvent être le propre soit du mâle, soit de la femelle. Chez la bruche chinoise, il existe certaines différences morphologiques entre les deux sexes, tel qu'au niveau des antennes qui sont fortes et nettement plus longues et pectiformes chez le mâle (Fleurat Lessard, 1982) alors qu'elles sont dentées et assez courtes chez la femelle (Bonne maison, 1962) ou seulement épaissies (Balachowksy, 1962). Aussi, la femelle présente un abdomen complet avec tous les segments alors que le mâle à un abdomen échancré (Huignard et *al.*, 2011). La coloration générale du corps est brun-noir, avec des zones noires beaucoup plus étendues chez le mâle que chez la femelle (Delobel et Tran, 1993) (Figure 13).

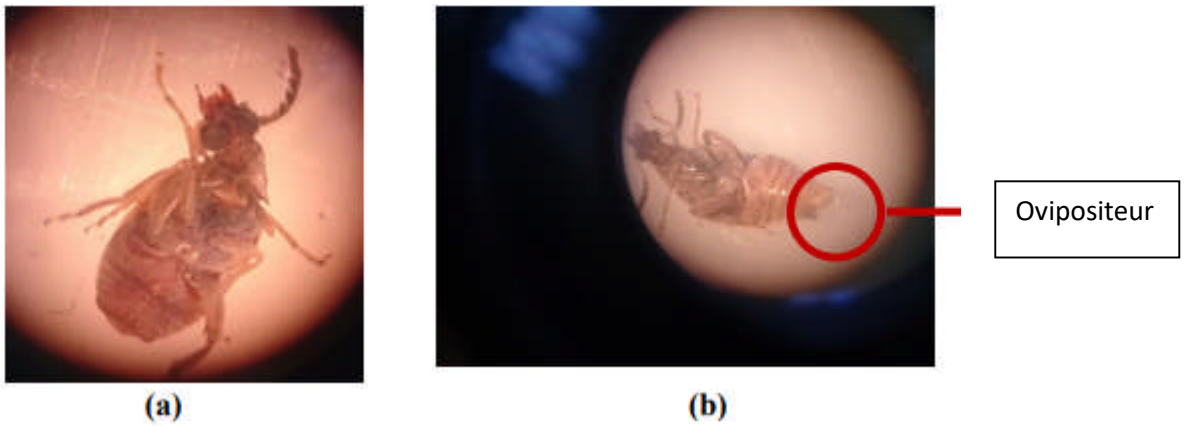


Figure 13. Dimorphisme sexuel chez C. chinensis : (a) Mâle et (b) femelle sous une loupe binoculaire G ×40 (Aliane et Imarazene, 2020)

2.4. Biologie et écologie

Les coléoptères *Callosobruchus* adultes ne se nourrissent pas de produits stockés et ont une durée de vie très courte, généralement pas plus de 12 jours dans des conditions optimales. Pendant ce temps, les femelles de *C. chinensis* pondent jusqu'à 70 œufs, bien que la ponte puisse être réduite en présence de graines précédemment infestées (Chavan et *al.*, 1997).

Le cycle de vie des espèces de Bruchidés les plus importantes sur le plan économique est relativement court. Dans des conditions optimales, le développement complet a lieu en aussi peu que 22 à 25 jours. La température optimale pour la ponte est élevée chez *C. maculatus* (environ 30-35°C) et basse chez *C. chinensis* (23°C). Au fur et à mesure que les œufs sont pondus, ils sont fermement collés à la surface de la graine hôte, les variétés à graines lisses étant plus adaptées à la ponte que les variétés à graines rugueuses (Parr, 1996 ; Chavan et *al.*, 1997). Lorsqu'ils sont nouvellement posés, les œufs sont petits, gris translucides et discrets. Ces derniers éclosent dans les 5 à 6 jours suivant la ponte (Howe et Currie, 1964). À l'éclosion, la larve sort à travers la base de l'œuf et traverse le testa de la graine et s'introduit dans les cotylédons. Les détritus produits pendant cette période sont entassés dans l'œuf vide lorsque l'insecte éclot, transformant l'œuf en blanc et le rendant clairement visible à l'œil nu.

La larve en développement se nourrit entièrement d'une seule graine, creusant une chambre au fur et à mesure de sa croissance. Les conditions optimales de développement de la bruche chinoise se situent autour de 32°C et 90% HR et la période de développement minimale de cette dernière est d'environ de 22 à 23 jours à 25°C et 70% HR (Howe et Currie, 1964). Les larves se nourrissent du contenu cotylédonaire tandis que l'adulte se nourrit de divers pollens ainsi que de moisissures en particulier mildious et rouilles infestant les feuilles des légumineuses hôtes. Selon Shinoda et Yoshida (1987) cité par Delobel et Tran (1993), la fécondité se trouve multipliée par 2, la longévité par 3 en présence de nourriture (Figure 14)

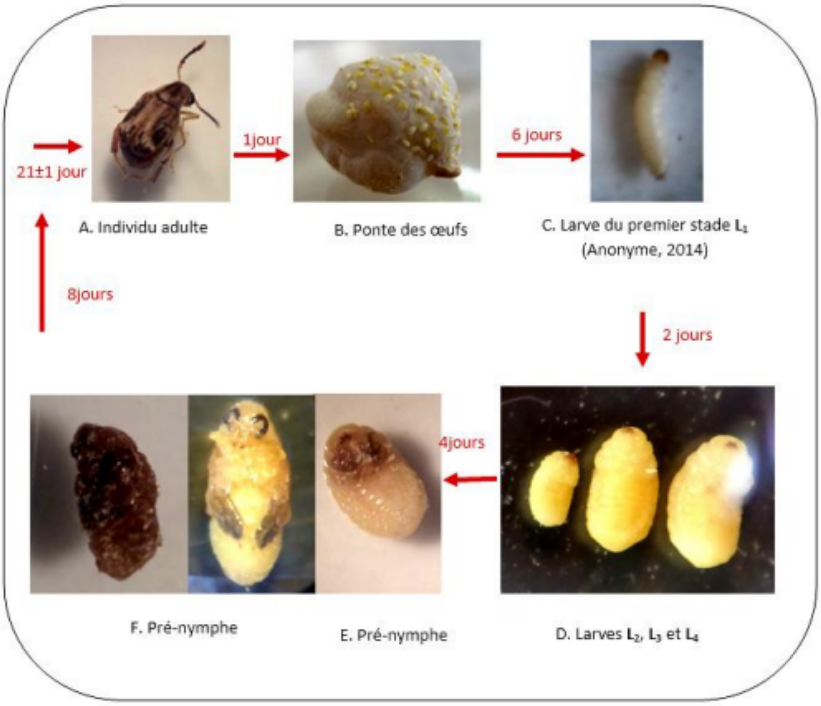


Figure 14. Cycle biologique de la bruche chinoise *C. chinensis* (Acheraiou et Kaced, 2019).

2.5. Les dégâts d'infestation

Les ravageurs associés aux légumineuses alimentaires pendant le stockage causent d'importants dégâts et induisent des pertes en qualité et en quantité des grains stockés (Figure 15) et surtout une détérioration de leur faculté germinative (El-Miziani et *al.*, 2016).

2.5.1. Sur le plan quantitatif

La perte pondérale se traduit par la réduction du poids et du volume des graines attaquées par les insectes pour s'en nourrir. La partie de l'albumen des graines attaquées par les bruches est détruite après le développement des larves et les graines fortement endommagées se délitent (avec la prise en masse possible en cas de développement de moisissures qui peuvent être éventuellement productrices de mycotoxines dangereuses pour la santé du consommateur régulier).

2.5.2. Sur le plan qualitatif

Les attaques d'insectes se traduisent généralement par une diminution de la valeur nutritive et de la capacité germinative (en particulier dans les cas de développement abondant de moisissures de stockage).

Ainsi, les taux de viabilité et de germination des graines infestées par les larves sont très diminués. Les pertes en poids sec enregistrées varient de 0,2 à 5%. Scotti (1978) a montré que

les pertes en poids des graines pouvaient être supérieures à 80% après six ou sept mois de stockage.

Figure 15. Graines de pois chiche infestées par *C. chinensis* à gauche et des graines saines à droite (Originale, 2022)

3. Moyens de lutte dans les lieux de stockage

3.1. Lutte préventive

Selon Kellouche (2004), la lutte préventive contre les bruches consiste en une hygiène rigoureuse des moyens de transport, des locaux de stockage, des installations de la manutention et des machines de récolte. Il est important d'isoler les nouvelles récoltes de celle qui sont anciennes dans l'entrepôt. Ensuite, une désinsectisation de l'entrepôt par pulvérisation ou badigeonnage des murs et du sol avec des insecticides, ainsi que désinsectisation de la sacherie vide et le séchage des graines pour maintenir leur taux d'humidité en dessus de 15%. Ces mesures de prévention sont indispensables pour réduire voire empêcher toute infestation (Scotti, 1978). Mais ces mesures préventives ne peuvent évidemment pas empêcher la multiplication des ravageurs lorsque ceux-ci sont ramenés avec le produit. Dans ce cas, la lutte après stockage s'impose.

3.2. Lutte curative

3.2.1. Lutte chimique

Selon Vincent et *al.* (2009), dans le cadre de la protection intégrée des stocks de grains et graines, l'évaluation précise des pertes pendant la conservation au moment d'une inspection du grenier ou du magasin représente un outil d'aide très important à la décision de traiter et permet de conditionner le déclenchement d'un traitement à partir du seuil de perte jugé

tolérable. Puis, lors de la préservation des stocks de graines de légumineuses contre les attaques d'insectes nuisibles, deux approches de la lutte chimique raisonnée (Tableau 05) contre les insectes de la post-récolte sont régulièrement pratiquées partout dans le monde :

– l'application d'insecticides soit sous forme liquide ou en poudre ayant un effet létal par simple contact des ravageurs cibles avec les dépôts de la substance active sur les graines

– le gazage dans une enceinte étanche avec un fumigant, en d'autre terme un gaz à propriétés insecticides reconnues comme le phosphure d'hydrogène (PH3).

Tableau 05 : les différentes substances actives insecticides homologuées pour le traitement des grains et graines pour les protéger sur le long terme des attaques des insectes nuisibles après la récolte (Huignard et *al.*, 2O11)

Famille chimique	**Substance active (s.a.)**	**Limite maximale de résidus de s.a. (mg/kg)**	**Dose d'application Spec. en poudre**	**Dose d'application Spec. après dilution dans l'eau (mL/quintal)**
Organophosphorés	Pyrimiphos Méthyl	Non fixée(1)	/	/
	Chlorpyriphos méthyl	Non fixée(1)		
	Chlorpyriphos éthyl	0,1 (soja seulement)		
	Fénitrothion	0,1 (soja seulement)	/	/
	Malathion	2 (haricot sec seulement)	4 à 5 g/ quintal	50 à 80

Pyréthrinoïdes	Deltaméthrine	1(toutes légumineuses)	2 à 3 g/ quintal	25 à 40
	Cyperméthrine	0,05 (arachide et soja)		
	Perméthrine(1)	0,1 (haricot et arachide) 0,05 (soja)		
Fumigants (gaz)	Phosphure d'aluminium ou de magnésium	0,01 (arachide et toutes légumineuses	3 g/m3 de graines, soit 4 g/tonne	/
	Fluorure de sulfuryl	/		
Biopesticides	Spinosad	0,01 (soja seulement)	/	50 à 80

Les traitements des graines après récolte avec des pesticides de contact persistants génèrent des résidus qui perdurent plus ou moins longtemps dans les graines traitées et ne doivent pas dépasser la limite maximale de résidus (LMR). Selon Fleurat-Lessard (2001), la dégradation des teneurs en résidus d'organo-phosphorés (malathion, chlorpyriphos-méthyl, pyrimiphos-méthyl) ou de pyréthrinoïdes (deltaméthrine, cyperméthrine, perméthrine, etc.) dans les grains est beaucoup plus lente, même en conditions de température et d'humidité du grain de climat tropical. De plus, les durées de demi-vie des résidus (disparition de 50 % de la dose appliquée) dans les graines varient en fonction des niveaux de température et des propriétés intrinsèques de chaque substance active pesticide. Elles peuvent être très courtes, par exemple trois semaines avec un organo-phosphoré appliqué sur des grains conservés à 30°C, ou très longues, comme avec un pyréthrinoïde appliqué sur des grains à 20-25 °C (Fleurat-Lessard et *al.*, 2002).

Par ailleurs, le principal inconvénient de l'usage régulier et courant de pesticides pour la lutte contre ces ravageurs est l'apparition et la multiplication de races d'insectes résistantes aux substances actives les plus régulièrement utilisées. En conséquence, ces populations résistantes peuvent devenir invasives en quelques années. Parmi les cas de résistance les plus inquiétants sont ceux qui se généralisent en quelques années dans le monde entier comme on peut l'illustrer par le cas de *Callosobruchus maculatus* qui a développé une résistance à la phosphine (Ahmed et *al.,* 2002) et à un insecticide organophosphoré au Nigeria (Odeyemi et *al.,* 2006).

Ce même auteur ajoute, qu'en revanche, la prévention des risques d'apparition de ces résistances fait généralement intervenir plusieurs stratégies, comme la mise en place de réseaux de surveillance de l'apparition de ces dernières, la gestion raisonnée de l'usage des pesticides et l'amplification des recherches à caractère fondamental dans les centres de recherche agronomique.

En outre, l'aire d'extension des populations résistantes aux pesticides peut être limitée en premier lieu par le changement régulier de famille chimique avec des substances à activité équivalente. En deuxième lieu, par la réduction de la persistance des résidus (quand ils ne sont plus actifs sur les insectes visés). Ensuite, l'utilisation de synergistes de l'activité des substances actives, comme le butoxyde de pipéronyl pour les pyréthrinoïdes, le dillapiol ou les composés soufrés des alliacées. Puis, la diversification des méthodes de protection ou de lutte contre les ravageurs limitant le recours aux pesticides.

3.3. Lutte physique et culturale

Elles comprennent l'emploi de différents méthodes culturales et physiques telles que ; le froid, la chaleur, la radiation infra et ultrason, les ultraviolets et les rayons gamma (Southgate, 1983).

3.3.1. Froid

Le froid peut être employé pour la conservation des récoltes. Selon Sinha et Watters (1985), les denrées stockées ne sont pas infestées si la température de conservation est inférieure à 12°C. Ainsi, la ventilation refroidissante peut éliminer les insectes si elle atteint 5°C et toutes les formes meurent si cette température est maintenue pendant 02 mois (Ducom et

Bourges, 1987). Cependant il faudrait prêter attention aux risques possibles de chute de la faculté germinative.

3.3.2. Chaleur

Ce paramètre constitue également un moyen de lutte non négligeable pratiqué pour la première fois aux Etat Unis. Par simple sur chauffage, elle engendre le séchage du grain et la destruction d'une certaine quantité d'insectes. Ainsi, toutes les formes de ravageurs de denrées stockées, se trouvant dans une masse de grains, sont éliminées après 10 minutes d'exposition à une température de 60°C, sans aucune conséquence sur le pouvoir germinatif ni sur la qualité boulangère des grains, mais leur degré d'humidité diminue, or les bruches ne s'attaquent guère aux grains présentant moins de 20 % d'eau (Fleurat Leussard, et Scotti, 1978). Il y a donc là, non seulement un moyen de désinfecter ces légumes, mais aussi de protéger contre les attaques ultérieures.

De plus, la solarisation (ou séchage et chauffage) peut être utilisée pour contrôler les infestations de *C. maculatus* sans affecter la germination des graines bien que les effets sur *C. chinensis* soient moins clairs (Shinoda et Yoshida, 1985; Buctu Anon et Morallo-Rejesus, 1997 ; Sharma et Dwivedi, 1997) ; cette méthode assure une désinsectisation thermique des grains (Chauhan et Ghaffar, 2002 ; Murdock et *al.*, 2003).

3.3.3. Irradiation

D'après Bui-Cong-Hien et *al.* (1997), l'irradiation par rayonnement gamma ionisant a le potentiel d'être utilisée pour la désinfestation dans les magasins, bien que la pratique ne soit pas largement autorisée et puisse être coûteuse.

3.4. Lutte culturale

D'autre part, Olubayo et Port (1997) rappellent que la culture intercalaire de maïs et de niébé et l'absence de récolte tardive ont réduit de manière significative l'infestation par *C. maculatus, C. rhodesianus, C. chinensis* et *Acanthoscelides obtectus* au Kenya. Enfin, l'incorporation de poudres minérales (cendres de bois, terre de diatomées, argile en poudre fine, balle de riz moulue, sable) aux stocks de graines prévient la reproduction et le développement des insectes de ces stocks.

3.5. Lutte génétique

Les cultivars de graines hôtes varient considérablement dans leur susceptibilité aux attaques d'insectes et il y a eu beaucoup d'intérêt dans le criblage des variétés de graines pour la résistance (Rathore, 1996 ; Chavan et *al.,* 1997 ; Sharvale et Borikar, 1996 ; ; Liu et *al.,* 1998 ; Singh et *al.,* 1998). La base biochimique de la résistance des graines a été élucidée dans certains cas, de même que certains des gènes responsables de la résistance (Miura et *al.,* 1996).

Les produits chimiques des semences responsables de la résistance des semences et qui peuvent être exploités dans des programmes de sélection (ou transgéniques) pourraient inclure des inhibiteurs de protéinase (Kuroda et *al.,* 1996 ; Islam et Karim, 1997). Comme on peut illustrer ce propos par ces des haricots Adzuki qui ont été génétiquement modifiés pour exprimer des inhibiteurs de l'alpha-amylase (alpha AI) les rendant résistants à *C. chinensis* et *C. maculatus* (Ishimoto, 1996 ; Ishimoto et Chrispeels, 1996 ; Ishimoto et *al*., 1996).

Aussi, des lignées de pois chiche (*Cicer arietinum*) transgéniques produisant αAI-1 ont également été obtenues (Sarmah et *al.,* 2004) ; leurs graines ne permettent pas le développement de *C. maculatus* et de *C. chinensis.* Par conséquence, l'utilisation de lignées de légumin XCeuses cultivées résistantes vis-à-vis des bruches, obtenues soit par sélection soit par transgenèse, représente un mode de contrôle efficace de ces ravageurs et limite l'utilisation de traitements chimiques.

3.6. Lutte biologique

Des études récentes sur la biologie des insectes associés aux légumineuses arborescentes révèleront le rôle joué par les parasitoïdes et prédateurs. Il a été déjà montré que les parasitoïdes exerçaient une influence sur les populations de coléoptères s'attaquant aux graines de plantes cultivées. C'est bien qu'une manipulation de leur cycle biologique pourrait permettre de les élever massivement pour les relâcher en vue de lutter contre les coléoptères des semences.

3.6.1. Les parasitoïdes

Selon Southgate (1983), les hyménoptères parasitoïdes se développent aux dépens des larves, des nymphes ou des œufs des Coléoptères Bruchidae. Ils sont présents dans les cultures et ils peuvent, comme leurs hôtes, se reproduire puis se développer dans les

systèmes de stockage après la récolte des graines. Les taux de parasitisme dans les cultures et au début du stockage sont généralement faibles et les parasitoïdes ne peuvent pas contrôler les populations de bruches. La lutte biologique peut se faire à deux niveaux (J. Huignard, I. A. Glitho, J.-P. Monge, C. Regnault-Roger et coordinateurs, 2O11).

En premier lieu, soit en lâchant des parasitoïdes adultes à l'intérieur du système de stockage afin d'augmenter la pression parasitaire. Puis, il faut avoir une bonne connaissance des conditions de reproduction, de développement des parasitoïdes et du taux de contamination des graines au moment du lâcher. Cette méthode de lutte nécessite la mise en place d'élevages de ces parasitoïdes.

En second lieu, soit en favorisant la reproduction et le développement de ces derniers qui sont présents dans le système de stockage grâce à l'apport de nutriments qui accroissent la longévité des adultes et augmentent la fécondité des femelles.

La recherche s'est concentrée sur les parasitoïdes larvaires et pupes, *Anisopteromalus calandrae* (Nishimura et Jahn, 1996 ; Wackers, 1998 ;Wackers et al., 1998 ; Mitsunaga et Fuji, 1999; Shimada et *al.*, 1999), *Dinarmus basilis* (Nishimura et Jahn, 1996 ; Islam, 1997) (Figure 16) , *Heterospilus prosopidis* (Nishimura et Jahn, 1996 ; Wackers, 1998 ; Wackers et *al.*, 1998 ; Shimada et *al*., 1999), *Lariophagus distinguendus* (Wangxi et *al.*, 1998); et le parasitoïde des œufs, *Uscana lariophaga* (Mourad et Zaghloul, 1997).

Figure 16. Le parasitoïde *Dinarmus basalis* (Encyclopedia of life).

3.6.2. Prédateurs

La présence d'acariens du genre Pymotes sur des Bruchidés présents dans des échantillons de graines de légumineuses récoltées dans des zones tropicales a limité le développement de ces ravageurs. Ces acariens, longs de 0,2 mm à leur complet développement, se nourrissent des

larves, des nymphes et des adultes de bruchidés. Leurs effets sur des échantillons de laboratoire permettent de penser que dans les conditions de terrain il pourrait en résulter une forte diminution des populations de coléoptères.

Moser (1975) a montré l'existence de plusieurs espèces différentes du genre *Pymotes* alors que les chercheurs antérieurs avaient tendance à les ranger toutes dans la même espèce *Pymotes ventricosus* Newport. Le *Pymotes* qui s'attaque aux bruchidés est très probablement l'espèce *Pymotes boylei* (Southgate, 1983).

3.6.3. Extraits de végétaux (huiles essentielles)

Les huiles essentielles sont également très prospectées pour leurs qualités insecticides ou répulsives. Il a été constaté qu'au Togo des huiles essentielles extraites de plantes aromatiques sont utilisées pour la protection des stocks. Comme l'indique l'activité insecticide des huiles essentielles de la famille des Poacées, *Cymbopogon schoenanthus* et *Cymbopogon nardus*, et d'une Lamiaceae, *Ocimum basilicum*, L. explorées sur *Callosobruchus maculatus* et ses hyménoptères parasitoïdes (Ketoh et *al.*, 2002). Par ailleurs, les huiles essentielles feront l'objet d'étude du chapitre suivant.

1. Généralités sur les huiles essentielles

Le terme « huile essentielles » a été inventé au 16eme siècle par le médecin Suisse Parascelsus Von Hohenheim pour désigner le composé actif d'un remède naturel (Burt, 2004). Les huiles essentielles (=essences = huiles volatiles) sont des produits de compositions généralement assez complexes renferment les principes volatils contenus dans les végétaux qui sont plus ou moins modifies au cours de l'extraction vapeur et celui par expression **(**Bruneton, 1999).

Une huile essentielle est une substance liquide, odorante, volatile, de consistance huileuse, offrant une forte concentration en principes actifs Lardry et Haberkorn (2007). Pierron (2014) ajoute que les huiles essentielles sont des produits obtenus à partir d'une matière première d'origine végétale, après séparation de la phase aqueuse par des procédés physiques. Ce sont des substances volatiles fortement concentrées extraites de différentes parties de certaines espèces végétales, chacune ayant des effets thérapeutiques spécifiques et énergiques (Butnariu et Sarac, 2018).

Ces huiles essentielles sont considérées comme faisant partie du système de défense chimique qui permet aux plantes de se défendre contre les prédateurs, les agents pathogènes microbiens et également la survie des plantes dans leur milieu naturel (Haiahem et *al.*, 2019). D'après Belgaid et Rahmani (2018), ces dernières années, elles sont les plus explorées dans la régulation des ravageurs nuisibles, dans l'intérêt de la protection de la qualité et la quantité des denrées stockées.

2. Répartition dans le règne végétal

Selon les botanistes, il existe au monde 800 000 à 1500 000 espèces végétales dont 17500 (10%) seulement sont dites aromatiques. Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, elles appartiennent presque exclusivement à l'embranchement des Spermaphytes. Les genres capables de les élaborer sont répartis dans une cinquantaine de familles appartenant aux ordres des Lamiales, Asterales, Laurales, Rutales et des Magnoliales. (Dorosso Sonate, 2002).

3. Localisation des huiles essentielles dans la plante

selon Bruneton (1999), tous les organes d'une même espèce peuvent renfermer une huile essentielle ; la composition de cette dernière varie selon sa localisation : feuilles, tiges, racines et graines. Il peut exister plusieurs huiles essentielles pour la même plante avec des compositions chimiques et des activités différentes (Pierron, 2014).

Toninolli et Meglioli (2013) ont pu détailler que les huiles essentielles présentes dans différents parties des plantes confèrent des propriétés différentes : dans les fleurs, elles ont un effet sédatif et relaxant ; dans l'écorce, les bois, les résines, les exsudats, elles ont un effet réchauffant ; dans les racines, elles développent des propriétés stabilisantes et dans les fruits, leurs propriétés donnent la bonne humeur (Tableau 6). Les organes de certaines plantes les plus riches en HE sont illustrés dans le tableau 7.

Tableau 6: Localisation des huiles essentielles des quelques végétaux (Pibiri, 2005)

Exemple	Localisation	Exemple	Localisation
Ail	Bulbe	Cèdre	Bois
Gingembre	Rhizome	Cannelle	écorce
Orange	Fruit	Pin	Bourgeon
Anis, muscade	Graines	Rose, Yiyang-yalang	Fleur
Vétiver	Racine	Encens, Myrrhe	Sève

Tableau 7: Organes de certaines plantes riches en huiles essentielles (Garneau, 2005).

Organe	Exemple
Feuilles d'angiospermes	Romarin ,sauge ,menthe
Feuilles de Gymnospermes	Sapin , cèdre
Tiges	Citronnelle ,lemon-grass
Ecorces	Cannelier Angelica ,vétiver
Rhizomes	Acorus, gingembre
Bulbes	Oignon , ail
Bois	Santal
Fruits	Bleuet , citron
Fleurs	Jasmine , rose , Jasmine
Graines	Aneth , carvi

4. Caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles

La nature des composants aromatiques ainsi que leur composition en huile essentielle différent d'une espèce à l'autre (Chemat et *al.*, 2010). Les huiles essentielles sont liquides à température ambiante mais aussi volatiles du fait de leur masse moléculaire relativement faible, ce qui leur confère la propriété olfactive qui les différencie des huiles dites fixes (Bonnafous, 2013). Elles ont une structure chimique très complexe et sont dotées de nombreuses propriétés thérapeutiques et pharmacologiques (Toninolli et Meglioli, 2013). Aussi, les HE sont liposolubles et solubles dans les solvants organiques et les huiles végétales,

entraînables à la vapeur d'eau mais très peu solubles dans l'eau (elles sont hydrophobes) (AFSSAPS, 2008). Elles présentent une densité généralement inférieure à celle de l'eau, et un indice de réfraction élevé (seules les huiles essentielles de Cannelle, Girofle et Sassafras sont plus denses que l'eau).

Odorantes, et pour la plupart colorées, leur couleur varie selon la plante aromatique utilisée (Lakhdar, 2015). Elles sont altérables et sensibles à l'oxydation ; par conséquent, leur conservation nécessite de l'obscurité; de ce fait l'utilisation de flacons en verre opaque est conseillée (Couic-Marinier et Lobstein, 2013). Elles sont inflammables et ne contiennent aucun corps gras (Bonnafous, 2013).

5. Activités des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont de nombreuses activités contre les insectes, telles que les activités toxiques, fumigantes, répulsives, ovicides, larvicides et anti-appétantes. En outre, de nombreux composés volatils dans les huiles essentielles tels que les monoterpènes qui confèrent une activité biocide utile pour le contrôle et la surveillance des ravageurs insectes (Abdel-Taweb, 2016).

6. Les huiles essentielles dans la protection des cultures

Selon Isman (2005), l'utilisation répandue des insecticides synthétiques a mené à beaucoup de conséquences négatives (résistance aux insecticides, toxicité sur la faune auxiliaire, problèmes de résidus, pollution environnementale) ayant pour résultat l'attention croissante aux produits naturels. Les plantes peuvent fournir des solutions de rechange potentielles aux agents actuellement utilisés contre les insectes parce qu'elles constituent une source riche en produits chimiques bioactifs. Beaucoup d'effort a été donc concentré sur les matériaux dérivés de plante pour les produits potentiellement utiles en tant qu'agents commerciaux de lutte contre les insectes (Kim et *al.,* 2003). Shaaya et *al., (*1997) ont montré que les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes.

6.1.Activité acaricide, fongicide et bactéricide

Plusieurs travaux ont été menés sur l'effet toxique de certaines essences et de leurs composant contre *Varroa jacobsoni*, un acarien parasite des colonies d'abeilles (Calderone et *al.*, 1997). Parmi ces composants, c'est le thymol qui a engendré le meilleur résultat ; en plus, il a été

démontré que le traitement répétitif en dehors de la période de miellée n'augmente pas les résidus dans le miel et reste sous le seuil de détection gustative qui se situe entre 1,1 et 1,6 mg/kg. Il a été prouvé aussi qu'un seul traitement à base d'huile essentielle ou d'un composé est généralement suffisant pour maintenir la population du Varroa au dessous du seuil de dégât économique pendant toute la saison (Imdorf et *al.,* 1999).

Contre les champignons, les alcools et les lactones sesquiterpèniques sont d'excellents inhibiteurs, ils peuvent émaner de la cannelle, clou de girofle, eucalyptus citronné, géranium, rosat, niaouli, tagètes, romarin-cinéole et calophyllum. Ainsi, Wilson et *al.* (2007) dévoilèrent l'efficacité de 49 huiles essentielles sur *Botrytis cinerea,* agent de la pourriture grise.

Contre les bactéries, Defoe et *al.* (2003) ont étudié la composition chimique de l'huile essentielle de *Thymus spinulosus* et ont montré que les monoterpènes (thymol) ont une propriété inhibitrice de croissance des souches de bactéries.

6.2.Activité insecticide des huiles essentielles

Isman (1994) a montré que l'effet insecticide des huiles essentielles par contact, ingestion et par fumigation a été bien démontré contre les déprédateurs des denrées entreposées à travers de nombreux travaux portant sur l'amélioration des formes d'utilisation des plantes qui permettent de renforcer et de rentabiliser leur activité insecticide. Certaines observations ont montré que l'extrait brut éthanolique (Tierto-Nieber et *al.* 1992), hexanique (Nuto, 1995) ou à l'éther de pétrole (Gakuru et Foua-bi, 1996) de matériel végétal possède une toxicité effective vis-à-vis des ravageurs de stocks.

D'autres travaux, Glitho et *al. (*1997) et Gakuru et Foua-bi (1995), indiquent que les huiles essentielles extraites de plantes odorantes ont une activité insecticide indéniable vis-à-vis de *Callosobruchus maculatus* F. qui agissent par diffusion, ce qui leur permet d'atteindre toutes les interstices dans la masse de graines stockées. Elles peuvent donc être utilisées en fumigation et leur emploi est facile. Selon Koumaglou (1992), la technologie de leur extraction est simple et accessible à tous les niveaux.

Tapondjou et *al. (*2002) ajoutent que les huiles essentielles des plantes appartenant aux genres *Chenopodium, Eucalyptus,* ont témoigné de leur efficacité insecticide, la poudre de *Chenopodium ambrosioides* testée sur six ravageurs de denrées stockées *Callosobruchus maculatus, C. chinensis, Acanthoscelides obtectus, sitophilus granarius, S. zeamais* et

Prostephanus truncatus à une concentration de 0,4% provoque la mortalité de plus de 60% des bruches après deux jours de traitements.

En effet, les huiles essentielles ont des différents effets sur les insectes :

Effets anti-appètent, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité et le développement des insectes et acariens. Des travaux récents montrent que les mono terpènes inhibent le cholinestérase (Keane & Ryan, 1999 in Bastien, 2008).

Effets sur l'octopamine : L'octopamine est neuromodulateur spécifique des invertébrés. Cette molécule, a un effet régulateur sur les battements de cœur, la motricité, le vol et le métabolisme des invertébrés (Enan, 2000 in Bastien, 2008).

Effets physiques où les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous (Isman, 2000 in Bastien, 2008).

7. Huile essentielle de *L'Eucalyptus globulus*

D'après Tesche et Metternich (2008), l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* est connue pour son efficacité contre les affections respiratoires. Cette essence aromatique possède également d'innombrables vertus et s'avère efficiente dans le maintien de la santé au quotidien.

7.1.Origine

L'Eucalyptus est originaire de l'Australie avec près de 600 espèces connues dans le monde (Foudil-Cherif, 1991). Son introduction en Algérie date de 1863 mais la plantation massive de ces arbres ne s'est fait qu'à partir de 1950 (Foudil Cherif, 1991). Selon Boudy (1955), les eucalyptus occupaient une surface de 5 855 hectares dont plus de la moitié dans la région Oranaise. Actuellement des plantations longent le littoral d'El-Kala et d'Azzefoun et dans la région de la Mitidja et celle de Hadjout (Foudil-Cherif, 1991). Grâce à leur facilité d'adaptation, les espèces *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. gomphocephala*, sont les plus répandues dans la région méditerranéenne.

7.2.Description de L'Eucalyptus

L'eucalyptus globuleux est un arbre de 30 à 35 mètres, au tronc droit, lisse, grisâtre, qui porte des rameaux dressés également (Metro, 1970). Les jeunes feuilles sont bleuâtres, opposées et étroitement attachées sur la tige .les feuilles adultes sont d'un vert sombre, alternées et tombantes (Metro, 1970). Les fleurs sont visibles au printemps, naissent à l'aisselle des feuilles. Le calice à la forme d'une toupie bosselée dont la partie large est couverte par un opercule qui se détache au moment de la floraison laissant apparaître de nombreuses étamines mais sans pétales, ni sépales. Le fruit est la capsule anguleuse du calice, il renferme deux types de graines (Metro, 1970) (Figure 17).

7.3.Classification botanique

Selon Metro (1970), la position systématique de l'eucalyptus globuleux est comme suit :

Règne: Plantae

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe: Dialypétales

Famille: Myrtacées

Genre: *Eucalyptus*

Espèce: *Eucalyptus globulus*

Figure 17. *Eucalyptus globulus* ((**Foudil-Cherif, 1991)**

*7.4.*Composition chimique l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*

Ceux sont des mélanges complexes de composants appartenant principalement à deux groupes, les terpinoïdes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (Bruneton, 1993) (Tableau 8).

Tableau 8: Spécifications physico-chimiques de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* (La norme AFNOR NF T75-225).

Constituants	Huiles essentilles crues		Huiles essentielles rectifiées	
	Broyées en vert	Traditionnelles	70% à 75%	80% à 85%
Minimum % **α-pinène**	10	10	Traces	Traces
Maximum%	20	22	20	12
Minimum% **Limonène**	2	1	2	2
Maximum%	4	8	15	15
Minimum % **Cinéole**	48	58	70	80
Maximum%	/	/	/	/
Minimum% **Para-cymène**	1	1	1	1
Maximum%	3	5	6	10
Minimum % **Trans-penocarvéol**	1	1	Traces	Traces
Maximum%	4	5	10	6
Minimum % **Aromadendrène**	6	1	_	_
Maximum%	10	5	Traces	Traces
Minimum % **Globulol**	0,5	0,5	_	_
Maximum%	2,5	1,5	Traces	Traces

7.5. Utilisations et propriétés de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*

Selon Padrini et Lucheroni (1998), cet arbre a été utilisé par les aborigènes d'Australie sous forme d'infusions de feuilles, pour soigner les fièvres, et en compresse pour guérir les plaies et les blessures. Cette essence est utilisée comme antibiotique naturel sous forme d'inhalation et de vaporisation en cas de rhume, de grippe, de catarrhe et de sinusite, dotée d'un pouvoir antiseptique et contribue à purifier l'air en cas d'épidémie.

D'après Laszlo (1999), le cinéol ou eucalyptol contenue dans son huile essentielle est actif dans l'asthme bronchique, il aide à désobstruer les vois respiratoires des secrétions muqueuses et inhibe le métabolisme de l'acide arachidonique dans les monocytes (globules blancs). Son huile essentielle a une action hypoglycémiante dans le diabète, par stimulation de la sécrétion

d’insuline par le pancréas. Cette huile présente des vertus expectorantes, vermifuges et à l’asepsie locale.

L’odeur balsamique que l’arbre dégage contribue à assainir les régions insalubres où il est planté, d’où son nom d’arbre de fièvre. Il attire également les abeilles (Brousse, 2005).

Ainsi, l’activité insecticide de cette HE à l’égard de la bruche chinoise *C. chinensis* fera l’objet d’étude de notre travail.

Cette étude fait partie des travaux de recherche de Dr Khelfane-Goucem et s'inscrit dans le cadre de l'étude de la biologie de la bruche chinoise et de la recherche d'alternative de lutte contre ce ravageur. Dans ce chapitre seront présentés le matériel et les différentes méthodes utilisées pour réaliser nos expériences en conditions de laboratoire. Il s'agit de tester les effets insecticides par contact, inhalation et répulsion de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* sur la bruche chinoise *(Callosobruchus chinensis* L.*).*

Matériel et méthodes

1. Matériel

1.1 Matériel de laboratoire

Au cours de nos expériences nous avons utilisé le matériel suivant (Figure ?):

- Une balance de précision pour peser les graines de pois chiche (30g) pour le test de contact ;
- Une micropipette (0,5-10µl de volume) pour le prélèvement des huiles essentielles ;
- Papier filtre (disque de 2cm de diamètre pour le test d'inhalation et de 8,5cm de diamètre pour le test de répulsion) ;
- Des boites de pétri en plastique de 8.5cm de diamètre ;
- Une loupe binoculaire pour l'observation des différents stades de développement de l'insecte et le comptage des œufs ;
- Des bocaux en verre (125 ml) pour le test d'inhalation ;
- Des boites en plastiques (1-2L de volume) pour les élevages de masse ;
- L'acétone pour la dilution des huiles essentielles ;
- Une pipette graduée ;
- Une étuve réglée à une température de 28°C et à une humidité relative de 70±5% ;
- Autres accessoires : pinceaux, ciseaux, rouleau adhésif, fil, scotch, règle,.....etc.

Etuve

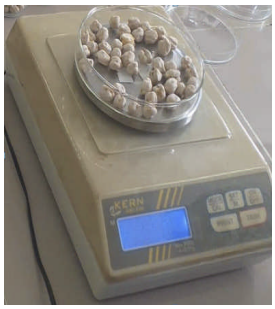
Loupe binoculaire

Micropipette

Ciseaux

Papier filtre

Boites de Pétri



Balance

Pipette graduée

Boite en plastique

Acétone

Bocaux en verre

Figure 18. Matériel utilisé au laboratoire (Originale, 2022)

1.2. Matériel biologique

1.2.1. Graines de pois chiche

Les graines de pois chiche utilisées pour l'élevage sont des graines saines, lavées et séchées avant l'utilisation (Figure 19). Elles sont par la suite, traitées à la chaleur à 60 ±1°C et une humidité relative de 50± 5 % pour éliminer toute infestation possible par des insectes.

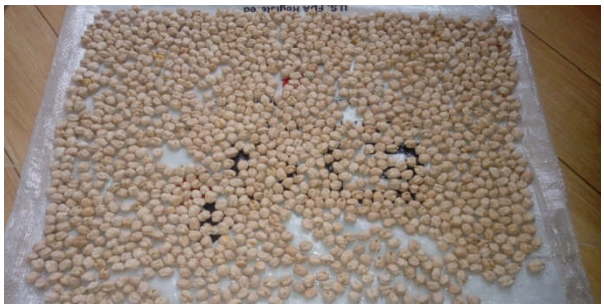


Figure 19. Les graines de pois chiche lavées et séchées à l'air libre

1.2.2. Bruches

Les adultes de *C. chinensis* proviennent des élevages de masse réalisés régulièrement au laboratoire de recherche « Ecologie des invertébrés terrestres » à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Les bruches soumises aux différents tests sont au stade adulte âgé de 0 à 24h.

1.2.3. Huiles essentielles utilisées

L'huile essentielle testée durant cette étude est celle de l'*Eucalyptus globulus ;* elle provient du marché local et elle est extraite par hydrodistillation à partir des feuilles récoltées en Algérie.

2. Méthodes

2.1. Elevage de masse

Les élevages de masse de *C. chinensis* sont réalisés dans des boites en plastique dans lesquelles nous exposons des graines saines de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) à des adultes mâles et femelles de *C. chinensis* maintenus à une température ambiante de 28 ±2°C et une humidité relative de 70±5% pour une durée de 30 jours (Figure 20).

Après une durée de 30 jours environ, des individus adultes de 0 à 24h sont récupérés dès leur émergence pour être utilisés par la suite durant nos expériences.

Figure 20. Elevage de masse de la bruche chinoise (Originale, 2022).

2.2. Effet insecticide de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* sur *C. chinensis*

Pour tester l'activité insecticide de l'huile essentielle de l'eucalyptus globuleux sur la bruche chinoise, nous avons réalisé trois tests de toxicité différents à savoir par inhalation, par répulsion et par contact.

2.2.1. Test par inhalation

Ce test consiste à évaluer l'effet insecticide de l'huile essentielle de l'eucalyptus par inhalation en utilisant différentes doses sur les adultes de *C. chinensis* âgés de 0 à 24h.

Des disques de papier filtre de 2cm de diamètre sont suspendus à la face interne du couvercle des bocaux en verre de 125ml de volume. Les disques sont imprégnés avec une dose d'acétone (0,1ml) suivie d'une dose d'huile essentielle soit 0.5µl, 1µl, 1.5µl, 2µl, 2.5µl et 3µl. L'acétone est laissé s'évaporer pendant dix minutes avant d'introduire ces disques dans les bocaux. Dans chaque bocal, dix (10) adultes de *C. chinensis* sont introduits. Parallèlement un témoin (non traité) n'ayant reçu qu'une dose d'acétone (0,1ml) sur le disque est réalisé. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque dose et pour le témoin (Figure 21).

Nous avons procédé au comptage des insectes morts soumis à l'expérimentation et cela après 4 temps d'exposition différents (24h, 48h, 72h et 96h).

Figure 21. Test par inhalation sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de l'eucalyptus (Originale, 2022).

2.2.2. Test par répulsion

Ce test permet de savoir si l'huile essentielle est répulsive ou attractive pour les adultes de *C. chinensis* en utilisant la méthode de la zone préférentielle.

La technique consiste à découper en deux moitiés égales des disques de papier filtre ayant un diamètre égal au diamètre de la boite de Pétri ; une moitié reçoit uniquement 0,25ml d'acétone (témoin) et l'autre moitié reçoit au même temps 0,25ml d'acétone additionné d'une des doses de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* soient 0.5µl, 1µl, 1.5µl ,2µl ,2.5µl et 3µl (Figure 22).

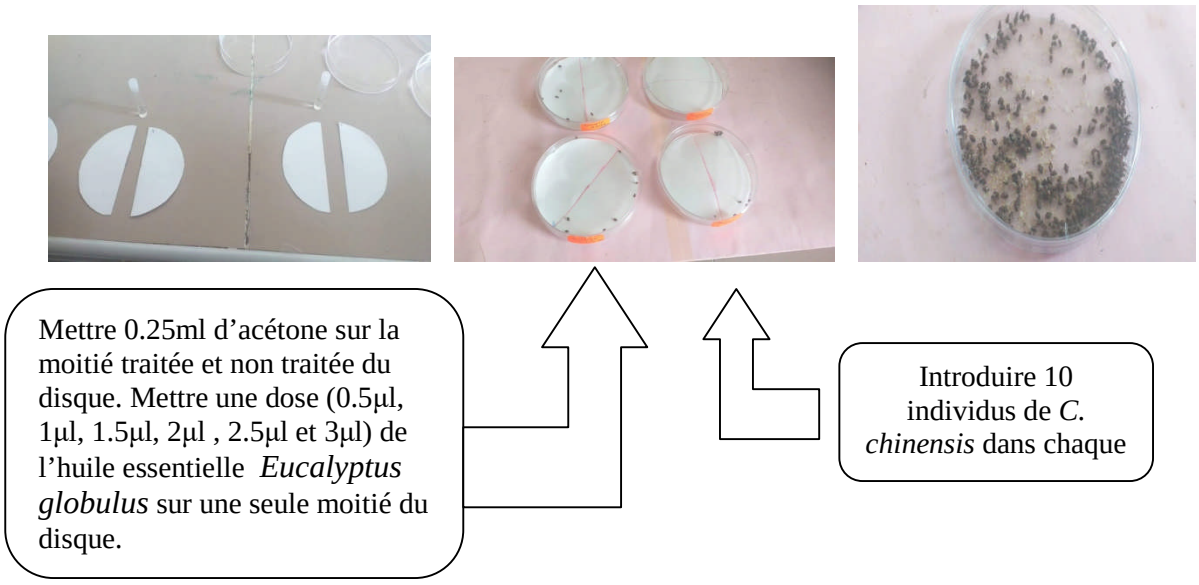


Figure 22. Dispositif expérimental du test de répulsion sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de *Eucalyptus globulus* (Originale, 2022).

Après évaporation de l'acétone (après 10 à 15 minutes), les disques sont reconstitués à l'aide d'une bande adhésive puis placés dans des boites de Pétri en verre.

Un total de 10 adultes de *C. chinensis*, âgés de 0 à 24h est introduit au centre de la boite de Pétri refermée aussitôt. Quatre répétitions sont réalisées pour chaque dose.

Après 30 minutes de traitement, nous procédons au dénombrement des individus dans chacune des parties traitées et non traitées par l'huile essentielle. Le pourcentage de répulsion est ainsi calculé selon la règle suivante : PR%= ((NC – NT) / (NC + NT)) X 100. Où :

NC : le nombre d'insectes présents sur la partie de disque traité uniquement avec de l'acétone.

NT : représente le nombre d'insectes présents sur la partie de disque traité avec la solution (huile essentielle- acétone)

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

Tableau 9: Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald et *al*. (1970).

Classe	Intérvalle de répulsion	Propriété de la substance traitée
Classe 0	PR ≤ 0,1 %	Non répulsive
Classe I	0,1< PR ≤ 20 %	Trés faiblement répulsive
Classe II	20 < PR ≤ 40 %	Faiblement répulsive
Classe III	40 < PR ≤ 60 %	Modérément répulsive
Classe *IV*	60 < PR ≤ 80 %	Répulsive
Classe V	80 < PR ≤ 100 %	Trés répulsive

2.2.3. Test par contact

Le test par contact est réalisé dans des boites de Pétri en verre de 9cm de diamètre ; chaque boite porte 30g de graines saines de pois chiche, traitées avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* à différentes doses: 0.5µl, 1µl, 1.5µl , 2µl, 2.5µl et 3µl prélevées à l'aide d'une micropipette.

Cinq couples de *C. chinensis* âgés de 0 à 24h sont introduits dans chaque boite de Pétri. Parallèlement, un témoin non traité avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* est réalisé. Quatre répétitions sont effectuées pour chaque dose et pour le témoin.

L'ensemble des boites de Pétri sont maintenues dans des conditions de température de 27ºC à 28ºC et une humidité relative d'environ 70% (Figure 23).

Figure 23. Test de contact sur les adultes de *C. chinensis* traités à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* (Originale, 2022).

2.2.3.1. Paramètres étudiés

Plusieurs paramètres liés à la biologie de la bruche chinoise sont évalués ; il s'agit de:

- **Longévité des adultes**

Elle consiste à dénombrer tous les adultes morts après le lancement des tests pour toutes les doses jusqu' à la mort totale des individus.

- **Fécondité des femelles**

Elle est déterminée après dénombrement de tous les œufs pondus sur les graines et sur les boites de Pétri (éclos et non éclos), à l'aide d'une loupe binoculaire, après 5 à 7 jours de traitement.

- **Taux d'éclosion des œufs**

Après comptage des œufs pondus (éclos et non éclos), le taux d'éclosion des œufs est calculé par la formule suivante :

Taux d'éclosion des œufs %= (nombre d'œufs éclos /nombre d'œufs pondus) x100

- **Taux d'émergence**

L'émergence des individus de *C. chinensis* débutent 35 jours après le lancement des tests. Les observations quotidiennes sont réalisées afin de dénombrer tous les individus émergés dans chaque boite jusqu'aux dernières émergences. Ainsi le taux de viabilité qui est le rapport entre le nombre d'adultes émergés et le nombre d'œufs pondus, est calculé par la formule suivante

Taux de viabilité(%) = (nombre d'adulte émergés / nombre d'œufs pondus) x100.

3. Analyse des données ou statistiques

Les résultats obtenus pour les différents paramètres étudiés pour l'activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* sont soumis à une analyse de la variance ANOVA à un ou plusieurs critères de classification en utilisant le logiciel STAT BOX, version 6.4. Si cette analyse révèle des différences significatives, elle est complétée par le test de Newman et Keuls au seuil de 5% (Dagnelie, 1975) pour la comparaison multiple des moyennes.

Si la probabilité (P) est :

$P > 0.05$, il n'ya pas de différence significative.

$0.01 < P \leq 0.05$, il ya une différence significative.

$0.001 < P \leq 0.01$, il ya une différence hautement significative.

$P \leq 0.001$**,** il ya une différence très hautement significative.

1. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par inhalation

1.1.Résultats

Les résultats de l'activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes de *C. chinensis* sont représentés dans la figure suivante.

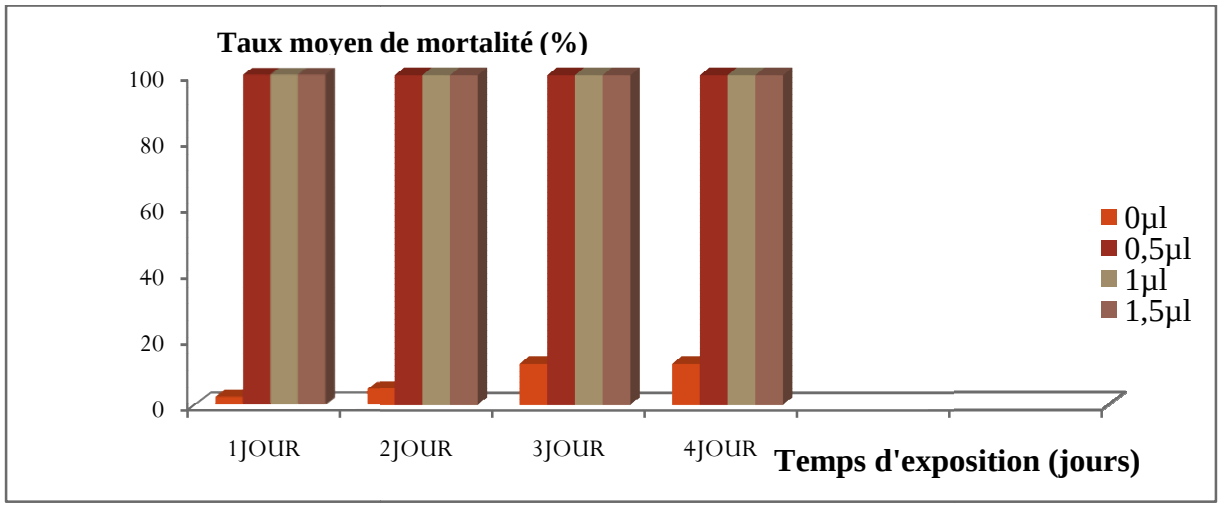


Figure 24. Taux moyens de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec différentes doses de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* en fonction des doses et de la durée de traitement par inhalation.

D'après ces résultats, nous observons que, dés la plus faible dose testée (0,5µl) de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus*, nous enregistrons une mortalité totale (100%) chez les adultes de *C. chinensis* juste après 24h d'exposition.

Cependant, le taux de mortalité enregistré après 24h d'exposition dans les lots témoins (0µl) est très faible (2,5%).

Donc l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* a un effet insecticide très important par inhalation sur la bruche chinoise *C. chinensis*.

D'ailleurs, l'analyse de la variance à deux critères de classifications, révèle qu'il y a des différences très hautement significatives pour le facteur dose (P=0) et des différences non significatives pour le facteur temps (P=0,41672) (Tableau 10).

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification pour le paramètre de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par inhalation.

	S.C.E	**DDL**	**C.M**	**TEST F**	**PROBA**	**E.T.**	**C.V.**
Var. Totale	29020,32	17	1074,827				
Var. Facteur1 Dose	28940,63	6	4823,438	1271,17	0		
Var. Facteur 2 Temps	11,387	3	3,796	1	0,41672		
Var. Résiduelle	68,301	18	3,794			1,948	2,24%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans 2 groupes homogènes A et B où les différentes doses de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* (0,5µl, 1µl, 1,5µl) qui ont induit les taux de mortalité les plus élevées sont classées dans le groupe A et le témoin est placé dans le groupe B (Tableau 11).

Tableau 11 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5% pour l'effet du facteur dose sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par inhalation.

F1	**Libelles**	**Moyennes**	**Groupes homogènes**	
6.0	D5 (2,5µl)	100	A	
7.0	D6 (3µl)	100	A	
4.0	D3 (1,5µl)	100	A	
5.0	D4 (2µl)	100	A	
2.0	D1 (0,5µl)	100	A	
3.0	D2 (1µl)	100	A	
1.0	D0 (0µl)	8,125		B

1.2. Discussion

Nos résultats montrent que l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* a un effet insecticide important par inhalation sur *C. chinensis* ; en effet, elle réduit la durée de vie des adultes d'une manière très hautement significative ; dès la plus faible dose (0,5µl), l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* provoque une mortalité totale des adultes de *C. chinensis* après 24h d'exposition.

Nos résultats s'accordent avec ceux obtenus par d'autres auteurs qui ont étudié l'effet des huiles essentielles sur les adultes de la bruche chinoise ou d'autres ravageur des stocks.

En effet, Aliane et Imarazene (2020) ont montré un résultat similaire avec l'huile essentielle de *Mentha pulegium* qui, elle aussi, engendre une mortalité totale des adultes de *C. chinensis* après 24h d'exposition avec la plus faible dose testée de l'HE (0,5µl).

Aussi, Acheraoui et Kaced (2019) ont constaté dans leur étude sur l'effet insecticide des huiles essentielles de *M. piperita* et *S. officinalis* par inhalation sur les adultes de *C. chinensis* qui augmente en fonction des doses et de la durée d'exposition ; ces auteurs ont constaté que l'huile essentielle de *M. piperita* est la plus toxique par inhalation, comparée à celle de *S. officinalis* qui agit plus lentement et exerce un effet faible vis-à-vis des adultes de la bruche chinoise.

En effet, elles ont noté que c'est à partir de la dose 6µl qu'elles ont observé un taux de mortalité moyen de 2,5% provoqué par l'activité insecticide de l'HE de la menthe poivrée ; celui-ci augmente progressivement pour atteindre la valeur de 77,5% à la plus forte dose testée (8µl) après 24h d'exposition. Ensuite, une mortalité maximale (95%) des individus soumis au traitement de ces deux HE est enregistrée après 96h d'exposition. Cependant, les résultats de notre traitement par inhalation avec l'HE de *l'Eucalyptus globulus* sur la même bruche ont prouvé la grande efficacité et rapidité de l'activité insecticide de cette HE sur les adultes de *C. chinensis* par inhalation puisque nous avons enregistré un taux de mortalité moyen de 100% à la plus faible dose testée (0,5µl).

La différence de toxicité de ces huiles essentielles sur les adultes de *C. chinensis* peut être induite par l'action de leurs composants majoritaires. En effet, selon Abadlia et Chebbour (2014), l'huile essentielle de la menthe poivrée est majoritairement composée de menthol (38,51%) et de menthone (23,01%) et du 1,8 cinéole (3,65%) qui pourraient être à l'origine de l'effet létal élevé qu'exerce cette huile sur la bruche chinoise. Pour notre cas, l'HE de *l'Eucalyptus globulus* présente un pourcentage plus élevé (70-80%) de 1,8 cinéole ou eucalyptol et de limonène (8,47%) (Bruneton, 1993) qui pourrait expliquer cet effet insecticide rapide et plus élevé.

Aussi, Saeidi et Pezhman (2018) ont montré que l'huile essentielle de la menthe poivrée a provoqué une mortalité de 100% des adultes d'une autre bruche voisine *C. maculatus* après 72h d'exposition à une dose de 14µl/ l air.

Pour sa part, Hedjal-Chebheb (2014) a comparé l'effet insecticide de plusieurs huiles essentielles de Myrtacées faisant ressortir l'huile essentielle d'*Eucalyptus cinerea* comme la

plus efficace en enregistrant une mortalité de 100% des adultes de *C. maculatus* après traitement avec une dose de 25,5µl /L par fumigation.

Par ailleurs, Righi (2010) a montré que l'huile essentielle du Thym provoque une mortalité de 100% des adultes de *C. chinensis* après une heure d'exposition uniquement à une dose de 10µl. Par comparaison à nos résultats, il ressort que l'huile essentielle de Thym est moins toxique que l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* que nous avons appliqué sur la même espèce.

Goucem-Khelfane (2014), dans son étude sur l'évaluation de l'effet bioinsecticide de plusieurs huiles essentielles par inhalation sur les adultes d'*A. obtectus* en fonction des doses et de la durée d'exposition, a montré que les HE testées aux doses de 0 ; 10 ; 30; 60 et 80µl / 1litre de volume d'air ont induit des taux de mortalité les plus élevés pour la menthe poivrée et la lavande (Lamiacées) ainsi que pour l'eucalyptus (Myrtacées) ; une mortalité moyenne de 100% est enregistrée dès la plus faible dose (10µl) après une durée d'exposition de 72 heures.

De plus, Taleb-Toudert (2015) a enregistré 100% de mortalité des adultes de *C. maculatus* après 96h d'exposition dans les lots traités avec les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et *Eucalyptus radiata* à la dose de 4µl.

Ayant évalué l'effet par fumigation d'une Rutacée, Adi et Lhadj (2005), ont montré que l'huile essentielle d'orange a un effet inhalatoire très toxique sur *C. maculatus* enregistrant une mortalité de 100% après 48H à la dose de 0,5 ml/l d'air.

Belgaid et Rahmani (2018), ont signalé que les deux méthodes d'administration de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* chez les adultes de *Callosobruchus maculatus* par saturation du milieu et par contact, restent efficaces où la mortalité des adultes augmente proportionnellement avec la concentration. Ils ont enregistré un taux de mortalité moyen de 50% au bout de 24h à la faible dose utilisée correspondant à 2µl/ml.

Tapondjou et *al*. (2002) qui ont montré qu'un matériel végétal broyé de *Chenopodium ambrosioides* et son huile essentielle ont réduit de 80 à 100% les densités des populations de *C. chinensis,* d'*Acanthoscelides obtectus,* de *Sitophilus granarius* et de *Prostephanus truncatus* de certaines denrées stockées (Mais, blé, petit pois, haricot blanc et haricot mungo), 24 heures après application d'une dose de 0,2 µl/cm2.

2. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par répulsion

2.1.Résultats

Les résultats de l'effet répulsif de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* évalué sur les adultes de *C. chinensis* après 30 minutes d'exposition aux différentes doses (0.5µl, 0.75µl, 1µl, et 1.5µl) sont représentés dans la figure 25.

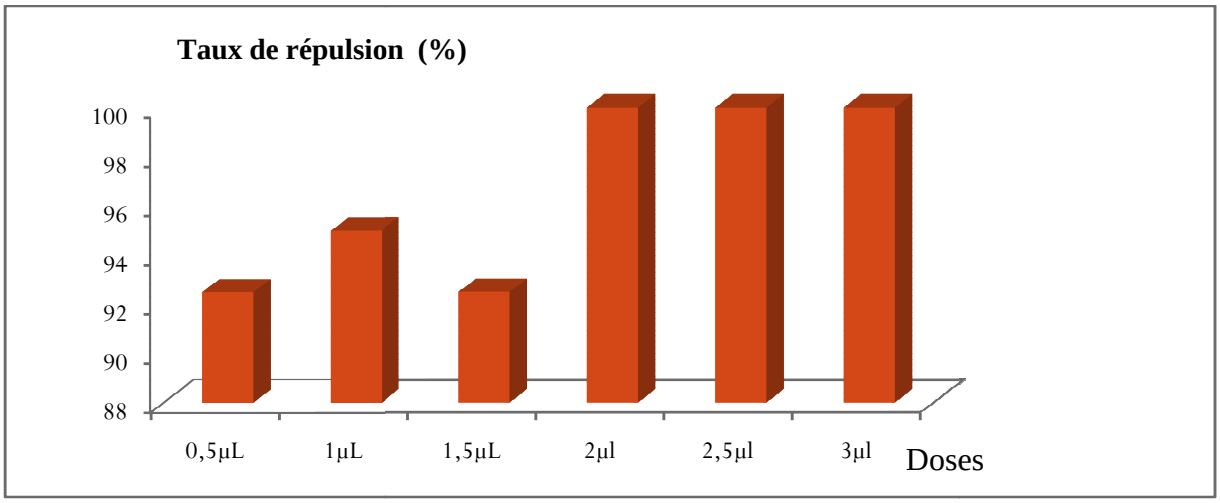


Figure 25. Taux moyens de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes *C. chinensis* après 30 minutes d'exposition aux différentes doses.

D'après ces résultats, l'HE s'est montrée répulsive à l'égard des adultes de *C. chinensis* même à la plus faible dose 0,5µl ; celle-ci a induit un taux moyen de répulsion 92,5%. L'effet répulsif augmente graduellement au fur et à mesure que la concentration de l'HE augmente pour atteindre une valeur maximale de 100% à la dose 2µl.

Donc, l'activité répulsive de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*, après une durée d'exposition de 30 minutes, est dépendante de la dose.

Bien que nous avons observé des différences entre les trois premières doses et les trois dernières doses, l'analyse de la variance à un seul critère de classification n'a pas révélé des différences significatives entre les différentes doses de l'huile essentielle utilisée (P= 0,21849) (Tableau 12).

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur de classification au seuil de 5% pour le paramètre de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* à l'égard des adultes de *C. chinensis*.

	S.C.E	DDL	C.M	TEST F	PROBA	E.T	C.V
Var. Totale	933, 333	23					
Var. Facteur 1 (dose)	283,333	5	56,667	1,569	0,21849		
Var. Résiduelle	650	18	36,111			6,009	6,22%

Selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970), le taux moyen de répulsion de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* est de 96,67% ce qui nous permet de constater qu'elle appartient à la classe V ; par conséquent, son effet est très répulsif (Tableau 13).

Tableau 13 : Nombre d'individus de *C. chinensis* présents dans la partie traitée et non traitée et le pourcentage de répulsion de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus.*

Huile essentielle	**Doses (µl)**	**Nombre d'individus présents dans la**		**Pourcentage de répulsion**
		Partie non traitée	**Partie traitée**	
	0,5µl	37	3	92,5%
	1µl	38	2	95%
	1,5µl	37	3	92,5%
	2µl	10	0	100%
	2,5µl	10	0	100%
	3µl	10	0	100%
Taux moyen de répulsion	**96,67%**			
Classe	**Classe V**			
Effet	**Très répulsif**			

2.2.Discussion

Les récents développements scientifiques ont montré que les huiles essentielles présentent plusieurs propriétés intrinsèques qui leur permettent de s'inscrire dans des stratégies alternatives visant à limiter l'emploi des pesticides organiques de synthèse contre les insectes ravageurs des denrées stockées.

Selon Brown et Herbert (1997), les plantes aromatiques et leurs HE (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. Ainsi, le mécanisme d'absorption des constituants chimiques a été analysé par Huignard et *al.* (2002) qui ont révélé que les composés terpéniques pénètrent moins que les composés soufrés et que pour une même huile essentielle certains composés pénètrent mieux que d'autres.

Notre présente étude a mis en évidence que l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* présente un effet répulsif remarquable dans la protection des grains de pois chiches contre les attaques de *C. chinensis* avec un potentiel répulsif vraiment significatif et élevé de l'ordre de 96,67% (classe V : très répulsive).

En premier lieu, ce résultat s'accorde avec ceux obtenus sur la même bruche par Kumar et *al.* (2009) qui ont montré que le taux de répulsion de l'huile essentielle de *Mentha longifolia* (Lamiacées) est de 85% contre les adultes de *C. chinensis* et que cette HE utilisée est très répulsive selon tableau de Mc Donald et *al*. (1970).

En second lieu, Kumar (2014) a testé l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*Allium sativum* aux doses de 0.056, 0.085, 0.113 et 0.169µl/cm-3 sur les adultes de *C. chinensis*, et a constaté que le taux de répulsion est de 31.84%, 42.5%, 52.23% et 70.74% respectivement.

D'autre part, Tapondjou et *al.* (2003) sur une bruche polyvoltine voisine (*C. maculatus*) ont également mis en évidence les propriétés répulsives élevées sur les adultes de l'HE des feuilles de *C. ambrosioides* L. (Chenopodiacées) (PR=89%) par comparaison à celle des feuilles d'*Eucalyptus saligna* Smith (Myrtacées) (PR=71%).

De leur part, Aggarwal et *al.* (2001) ont observé l'effet répulsif du composé majoritaire de la menthe poivrée, le menthol qui est de 100% sur des adultes de *C. maculatus* à la dose de 20µg par 1ml d'acétone sur papier filtre.

Aussi, Kishan et *al.* (2001) ont montré que l'huile essentielle d'*Artemisia annua* est modérément répulsive vis à vis de trois coléoptères des denrées stockées, *Callosobruchus maculatus*, *Rhyzoperta dominica* et *Sitophilus orizae*, avec une répulsion moyenne variant de 65 à 74% à la plus forte dose testée soit 4µl/ml pendant 1 heure.

En outre, Hamai et *al.* (2006) ont conclu que les huiles essentielles de citronnier et de lavande ont un effet répulsif sur les adultes de *C. maculatus* avec un taux de répulsion de 63,75% et de 69,77% respectivement.

Par ailleurs, Acheraoui et Kaced. (2019) ont révélé que l'activité répulsive des deux huiles essentielles testées à l'égard des adultes de *C. chinensis* augmente au fur et à mesure que les concentrations de l'huile essentielle augmentent variant de 45% à 80% pour l'huile essentielle de la menthe poivrée dont le taux moyen de répulsion est de 65%, et de 10% à 75% pour l'huile essentielle de la sauge officinale avec un taux moyen de répulsion de 42,5%. Par comparaison à nos résultats, nous constatons que l'HE de l'*Eucalyptus globulus* présente un effet répulsif supérieur (96,67%) à celui des deux huiles essentielles de la sauge et de la menthe poivrée.

L'effet répulsif de notre huile essentielle reste également supérieur à celui obtenu par Aliane et Imarazene (2020) pour l'huile essentielle de *M. pulegium* qui est modérément répulsive (56,25%) vis-à-vis de *C. chinensis.* Cette différence serait due à la présence de molécules répulsives particulières à chaque huile essentielle et aussi à une différence dans leurs pourcentages. Les deux composés majoritaires de l'HE de l'*Eucalyptus globulus* sont le 1,8-cinéole (82,42%) et le limonène (8,47%). Ces derniers ont fait l'objet de nombreuses études qui ont mis en évidence leurs effets répulsifs sur divers ravageurs des denrées stockées.

De plus, d'après Kheloul et *al*. (2019), l'huile essentielle de *L. spica* et son principal composant, le linalol, ont des effets répulsifs sur les adultes de *Tribolium confusum* ; même des doses fortement diluées d'huile essentielle de *L. spica* étaient fortement répulsives pour *T. confusum*.

Dans le même contexte, Papachristos et Stamopoulos (2002) rapportent que les huiles essentielles de *L. nobilis* présentent une action répulsive contre une autre bruche des denrées stockées voisine à savoir *A. obtectus*. La composition de l'huile essentielle des feuilles de laurier noble récoltés dans la région de Tizi-Ouzou déterminée par l'analyse GC/MS a montré que les composés majoritaires de cette huile est le 1,8-cinéole avec un pourcentage important (34,62%), le linalool (12,57%), camphène (8,91%) et l'isovaleraldéhyde (8,82%) (Mediouni Ben Jemâa et *al.*, 2012).

Des études similaires, réalisées par Goucem-Khelfane (2014) qui a testé l'effet répulsif des huiles essentielles de neuf plantes aromatiques contre *A. obtectus*, ont révélé que les huiles essentielles de *M. piperita*, *Laurus nobilis*, *Lavandula angustifolia*, *Citrus reticulata* et *Citrus aurantium ssp. bergamia* sont répulsives avec des taux de 73.75%, 71.25%, 63.75%, 63.75% et 61.78% respectivement et les huiles essentielles de *Thymus saturioides*, *Eucalyptus*

globulus et *Citrus limonum* sont moyennement répulsives avec des taux respectifs de 53.75%, 51.25% et 43.75%.

En effet, la différence entre nos résultats et ceux obtenus par Goucem-Khelfane (2014) peut-être due à la forte résistance d'*Acanthoscelides obtectus* à l'HE de l'*Eucalyptus globulus* (51.25%) par rapport à celle de *C. chinensis* (96,67%) surtout qu'ils ont utilisé des doses d'huiles essentielles beaucoup plus élevées (la faible dose testée est de 10µl) que celles que nous avons utilisées.

D'après tous ces résultats, nous constatons que l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* extraite de la plante aromatique Eucalyptus (Myrtacées), présente des molécules insecticides répulsives qui exercent un effet létal sur les adultes des insectes ravageurs des denrées stockées. Ainsi, la toxicité de cette HE dépend de la dose utilisée en cette dernière et la durée d'exposition, elle serait probablement due, en partie, à ses composés majoritaires le 1,8-cinéole et le limonène.

3. Activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par contact

3.1.Action sur la mortalité des adultes de *C. chinensis*

3.1.1. Résultats

Les résultats obtenus pour l'action de l'huile essentielle sur la mortalité des adultes de *C. chinensis*, sont présentés dans la figure 26.

Les résultats obtenus montrent que le taux de mortalité augmente globalement au fur à mesure que les doses de l'huile essentielle utilisée augmentent. À la plus faible dose (0,5µl), le taux de mortalité obtenu est de 17, 5 % et dépasse 50 % d'individus morts, à la deuxième dose testée (1µl), après 2jours d'exposition. Celui-ci augmente graduellement pour atteindre une valeur maximale de 82,5% à la dose (2,5µl) après 6jours d'exposition.

La mortalité des adultes de *C. chinensis* évolue proportionnellement avec les doses de l'huile essentielle utilisée en fonction de la durée d'exposition. En d'autres termes, le paramètre de

mortalité est dépendant de la dose de l'HE testée et le temps d'exposition.

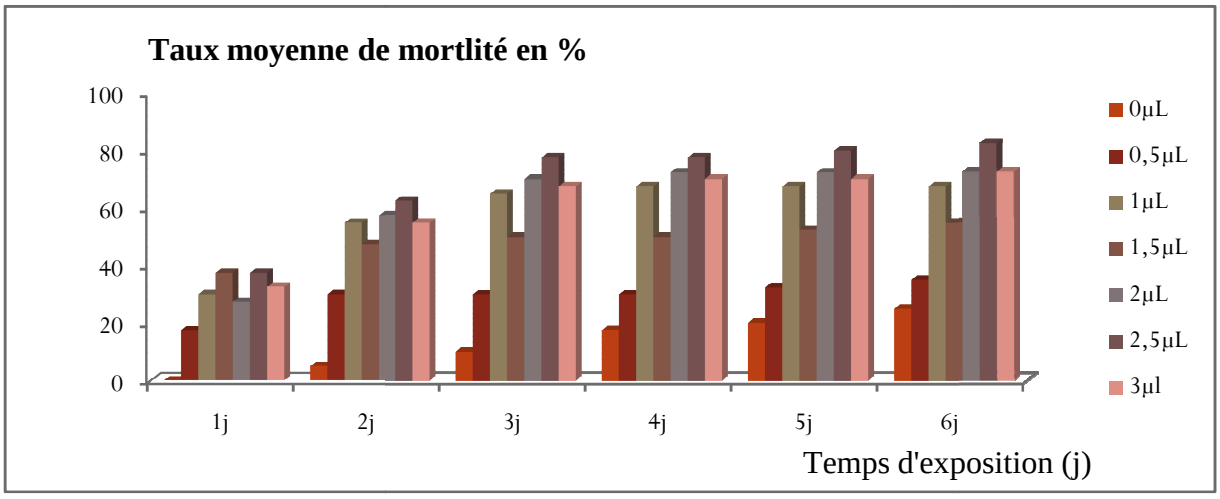


Figure 26. Mortalité moyenne des adultes de la bruche du pois chiche *C. chinensis* après traitement par contact à l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* en fonction de temps (j).

En effet, l'analyse de la variance à deux critères de classifications, révèle qu'il y a des différences très hautement significatives pour le facteur dose (P=0) et pour le facteur temps (P=0) (Tableau 14).

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de la variance à deux facteurs de classification pour le paramètre de mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par contact

	S.C.E	**DDL**	**C.M.**	**TEST F**	**PROBA**	**E.T.**	**C.V.**
Var. Totale	21414,29	41	522,3				
Var. Facteur 1 (dose)	15212,2	6	2535,367	75,633	0		
Var. Facteur 2 Temps	5196,428	5	1039,286	31,003	0		
Var. Résiduelle	1005,656	30	33,522			5,79	11,83%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe le facteur dose dans 5 groupes homogènes A, B, C, D et E (Tableau 15)

- La dose 2,5µl est classée dans le groupe A,
- Les trois différentes doses 1µl, 2µl et 3µl sont classées dans le groupe B

- La dose 1,5µl est placée dans le groupe C
- La dose 0,5 est classée dans le groupe D
- La dose 0µl est classée dans Le groupe E

Ainsi, ce test classe le facteur temps dans 3 groupes homogènes A, B et C (Tableau 16)

- Les temps J3, J4, J5 et J6 sont classés dans les groupe A
- Le temps J2 est classé dans le groupe B
- Le temps J1 est placé dans le groupe C

Tableau 15 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5% pour l'effet du facteur dose sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* par contact

F1	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes				
6.0	D5 (2,5µl)	69,583	A				
5.0	D4 (2µl)	62,083		B			
7.0	D6 (3µl)	61,25		B			
3.0	D2 (1µl)	58,75		B			
4.0	D3 (1,5)	48,75			C		
2.0	D1 (0,5µl)	29,167				D	
1.0	D0 (0µl)	12,917					E

Tableau 16 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5% pour l'effet du facteur temps sur la mortalité des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* par contact

F2	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes		
6.0	J6	58,571	A		
5.0	J5	56,429	A		
4.0	J4	55	A		
3.0	J3	52,857	A		
2.0	J2	44,643		B	
1.0	J1	26,071			C

3.1.2. Discussion

De nombreux travaux ont mis en évidence l'action des huiles essentielles sur la longévité des adultes d'espèces différentes de ravageurs des grains stockés. A cause de leur volatilité importante, les HE et leurs constituants, essentiellement des monoterpènes, exercent des effets insecticides et réduisent ou perturbent la croissance de l'insecte à différents stades de leur vie (Weaver et *al.*, 1991 ; Konstantopoulou et *al.*, 1992 ; Regnault-Roger et Hamraoui, 1994).

Leurs efficacités varient en fonction du profil phytochimique des extraits des plantes et de la cible entomologique (Regnault-Roger et *al.*, 2012).

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par plusieurs auteurs ; citons Righi-Assia (2010) qui a constaté que l'HE de thym (*T. vulgaris*) provoque une mortalité des adultes de *C. chinensis* après une heure d'exposition à une dose de 10µl.

Ainsi, Singh et Agarwal (1988) et Raguraman et Singh (1997) ont noté que l'HE de *Cedrus deodora* a montré une activité insecticide contre d'autres insectes tels que les charançons du haricot (*Callosobruchus analis*), le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*), la mouche domestique (*Musca domestica*) et la bruche chinoise (*C. chinensis*).

Puis, Aliane et Imarazene (2019) ont montré que l'huile essentielle de la menthe pouliot présente un effet adulticide affectant ainsi la longévité de *C. chinensis*

En suite, Righi (2010) a testé les poudres des feuilles et des fleurs de pois chiche (*C. arietinum*) sur *C. chinensis* et a montré qu'elles ont un rôle bioinsecticide notable avec un effet supérieur des poudres de feuilles par rapport aux poudres de fleurs. Elles diminuent la longévité de l'insecte.

En outre, Goucem-Khelfane (2014) a montré que les huiles essentielles des plantes aromatiques comme le laurier noble, le mandarinier et la lavande ont un effet sur la longévité des adultes *d'A. obtectus* en réduisant leur durée de vie à 0,19±0,011 ; 1±0 et 1,75±0,95 jours respectivement à la plus forte dose (8µl). Les huiles essentielles d'Eucalyptus, cèdre et citronnier réduisent aussi la longévité des adultes mais avec un effet moindre ; elle est respectivement de 2±0,81 ; 5,75±0,5 et 2,07±0,35 jours à la même dose. La faible efficacité de ces derniers serait liée à leur composition chimique. En effet, selon Lambert et *al*. (1985), l'activité insecticide des espèces végétales varie en fonction des écotypes utilisés. Cette observation est confirmée par les travaux réalisés en Côte d'Ivoire par Séri-Kouassi (2004) qui pense que le degré d'intoxication des insectes est fonction de la composition des huiles testées, une composition qui dépend elle–même de la zone de récolte des plantes et de l'organe du végétal utilisé.

De plus, les travaux de Righi et *al.* (2010) ont évalué l'efficacité des poudres de thym, santoline et l'anagyre, riches en huiles essentielles, sur la longévité des adultes de la bruche chinoise *C. chinensis*, et les résultats ont montré que la poudre de thym a une grande efficacité dans la réduction de la longévité des adultes *C. chinensis*, comparée à la poudre de santoline

qui marque une efficacité moins importante. Alors que la poudre de l'anagyre n'a aucun effet sur cet insecte.

Nos résultats concordent avec ceux de Hedjal-Chebheb (2014) qui a constaté que l'application de 25µl d'huiles essentielles d'*Eucalyptus lehmani, E. astringens*, *E. maidinii* et *E. cinerea* par 50g de graines de niébé a donné 100% de mortalité des adultes de *C. maculatus* en moins de 24h avec des taux de survie embryonnaires et post-embryonnaires nuls et cela sans affecter la faculté germinative des graines traitées.

Par ailleurs, selon Kellouche (2004), l'eugénol (principal composé de l'huile essentielle des clous de girofle) est très toxique vis-à-vis de la bruche du pois-chiche *Callosobruchus maculatus*, à la dose de 5 µl/ 50 g de graines, il réduit fortement la longévité des adultes (1,0 ± 0,0 jours) comparativement au témoin (7,00 ± 0,8 jours).

En fin, Taleb-Toudert (2015) a montré qu'à la dose de 8µl de l'huile essentielle *d'Ocimum basilicum*, les adultes de *C. maculatus* vivent en moyenne 5h, au-delà de cette dose (12 et 16µl), tous les individus adultes meurent en moins d'une heure.

3.2.Action sur la fécondité

3.2.1. Résultats

Les résultats obtenus pour l'action de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* sur la fécondité des adultes de *C. chinensis*, sont illustrés dans la figure 27.

La ponte des œufs chez *C. chinensis* se fait dans les 24 heures qui suivent l'accouplement. Le nombre d'œufs pondus varie en fonction de la dose testée de l'HE. La fécondité moyenne dans les lots témoins est de 226 œufs/5femelles. Elle diminue nettement en présence de l'HE et de façon progressive avec l'augmentation de la dose (Figure 27)

En effet, le taux de fécondité le plus faible est enregistré à la dose 3µl avec une valeur de 1,25 œufs/5 femelles.

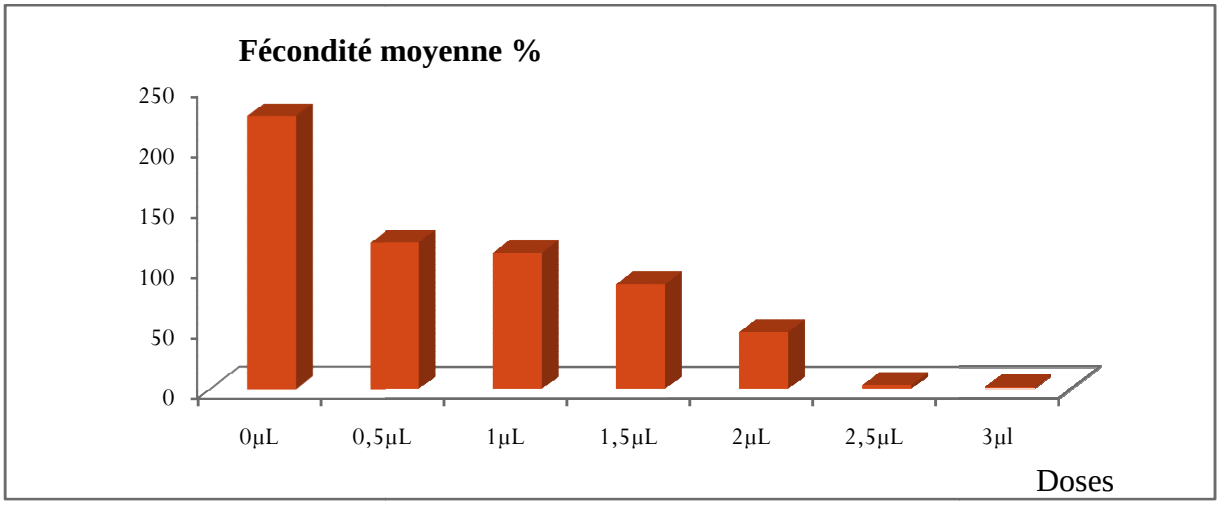


Figure 27. Fécondité moyenne des femelles de *C. chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact

D'ailleurs, l'analyse de la variance à un seul critère de classification, montre qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur dose (P = 0,00167) (Tableau 17)

Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre fécondité des femelles de *C. chinensis* après traitement avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*.

	S.C.E	**DDL**	**C.M.**	**TEST F**	**PROBA**	**E.T.**	**C.V.**
Var. Totale	244556,4	27	9057,646				
Var. Facteur 1 (dose)	148528,4	6	24754,74	5,414	0,00167		
Var. Résiduelle	96028	21	4572,762			67,622	78,96%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, à réparti les différentes doses dans trois groupes homogènes A, AB et B (Tableau 18), comme suit :

- La dose 0µl est classée dans le groupe A
- Les doses 0,5µl et 1µl sont classées dans le groupe AB
- Les doses 1,5µl, 2µl, 2,5µl et 3µl sont placées dans le groupe B

Tableau 18 : Résultats du test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5% concernant l'effet du facteur dose de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* après traitement par contact sur la fécondité des femelles de *C. chinensis*.

F1	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes	
1.0	D0	226,25	A	
2.0	D1	121,25	A	B
3.0	D2	113	A	B
4.0	D3	87		B
5.0	D4	47,25		B
6.0	D5	3,5		B
7.0	D6	1,25		B

3.2.2. Discussion

L'huile essentielle que nous avons testée semble avoir un effet insecticide sur la fécondité des adultes de *C. chinensis*.

En effet, la réduction de la ponte, observée chez la bruche chinoise en présence de l'HE, est probablement liée à la mort précoce de certaines femelles ou à l'état de morbidité observée chez les adultes. Des observations similaires ont été faites par Koumaglo et *al.* (1996) et Glitho et *al.* (1997) avec l'effet des huiles essentielles de *Lippia multiflora* et de *Cymbopogon schoenanthus* et par Séri-Kouassi (2004) avec l'effet de *Cymbopogon giganteus, Cymbopogon citratus, Ageratum conyzoides, Melaleuca quinquenervia* et *Mentha piperita* sur *C. maculatus*. Ces travaux confirment également ceux de Schmidt et *al*. (1991) et Mazibur et Gerhard (1999) qui ont étudié l'effet de l'huile d'*Acorus calamus* (Asteraceae) respectivement sur *Callosobruchus chinensis* et *Callosobruchus phaseoli*.

Ainsi, l'inhibition de la ponte des femelles de *C. chinensis* serait aussi liée à une perturbation de l'oviposition due aux vapeurs *d'Eucalyptus globulus*. En effet, Seth Wolali Nyamador (2009), a noté que l'observation de l'appareil reproducteur de certaines femelles de *Callosobruchus subinnotatus* traitées aux doses inférieures ou égales à 20 µL/L avec l'huile essentielle de *Cymbopogon giganteus*, montre dans les ovarioles des ovocytes dont certains arrivés à maturité sont en rétention dans les oviductes et dans la bourse copulatrice. Ceci suggère que l'HE provoquerait la rétention des œufs par incapacité physique d'oviposition chez les femelles de la bruche chinoise. De plus, les vapeurs d'HE agiraient sur le système

nerveux de l'insecte entraînant le déclenchement rapide d'un mécanisme de feed-back négatif. Selon Saxena et Rohdendorf (1974) et Schmidt et *al.* (1991), les vapeurs d'HE d'*Acorus calamus* entraînent des changements ovariens semblables à ceux causés par les chémostérilisants ou les composés à base d'hormone juvénile. Ceci serait à l'origine du blocage de l'émission des œufs par les femelles de *C. chinensis*.

La perturbation physiologique induite par les huiles essentielles chez les insectes a été aussi évoquée par Séri-Kouassi (2004), Ketoh (1998) et El Nahal et *al.* (1994). Il en est de même des travaux de Javaid et Poswal (1995) sur l'effet de la poudre du clou de girofle sur les adultes de *C. maculatus*. Selon, les travaux de sur *Calliphora erythrocephala* (Diptère), *Schistocerca gregaria* (Orthoptère) et sur *Locusta migratoria* (Orthoptère), les interventions directes sur la *pars intercerebralis* perturbent fortement le fonctionnement ovarien et induisent une accumulation du neurosécrétat. Ce blocage provoquerait chez la femelle de bruche la non contraction des sphincters susceptibles de pousser les œufs de la bourse copulatrice vers l'orifice génital pour leur émission. Plusieurs travaux confirment cette hypothèse. Par ailleurs, selon Cassier et *al.* (1997), la non sécrétion des neurohormones par les *corpora allata* stimulatrices de la ponte empêcherait les contractions spontanées des oviductes latéraux et l'activation du dernier ganglion abdominal réglant par voie humorale l'émission finale des œufs.

Des études similaires ont été faites par Séri-Kouassi (2004) pour expliquer l'inhibition de l'oviposition par les huiles essentielles chez les femelles de *C. maculatus*. Selon cet auteur et bien d'autres auteurs tels que Cassier et *al*. (1997), Bilal (1987),, la présence d'ovocytes mûrs dans les oviductes et dans la bourse copulatrice inhiberait le contrôle du système gonadotrope sur la libération de l'hormone de ponte. La rétention d'œufs induirait donc une inhibition de l'activité ovarienne.

Les travaux de Goucem-Khelfane (2014) ont montré que les huiles essentielles d'eucalyptus et de mandarinier annulent la ponte des femelles d'*A. obtectus* à la plus forte dose (8ul) et celles de citronnier et de laurier affectent notablement la fécondité qui est réduite à 1,25±2,5 et 1,6±1,91 œufs /5femelles.

En suite, Righi. (2010) a testé les poudres des feuilles et des fleurs de pois chiche (*C. arietinum*) sur *C. chinensis* et a montré qu'elles ont un effet insecticide élevé en réduisant la fécondité des femelles à 65,33 œufs/femelle à la plus forte dose (un gramme) des poudres des feuilles contre 112,33 œufs/femelle enregistrés dans le lot témoin.

En outre, Kellouche et Soltani (2004) et Kellouche (2005) montent que les poudres des feuilles de figuier *Ficus carica* (Moracées), *Eucalyptus globulus* (Myrtacées), d'olivier *Olea europaea* (Oleacées) et du *Citrus limon* (Rutacées) affectent faiblement la fécondité des femelles d'une bruche voisine des denrées stockées *C. maculatus*. Cependant, la poudre de giroflier *Syzygium aromaticum* (Myrtacées) inhibe la fécondité des femelles de la bruche du niébé dés la plus faible dose (0,20%). Donc la poudre de *Syzygium aromaticum* (Myrtacées) s'est montrée plus efficace qu'*Eucalyptus globulus* (Myrtacées) sur la fécondité de *C. maculatus* et cette différence enregistrée par ces deux HE qui appartiennent à la même famille botanique peut être due à la forte action des composants majoritaires de *Syzygium aromaticum*.

Par ailleurs, selon Kellouche et Soltani (2003), la réduction de la fécondité des femelles de *Callosobruchus maculatus* traitées par l'huile essentielle de *Syzygiumaro maticum* (Myrtacées) n'est pas seulement liée à la diminution de la période de ponte ou la survie des femelles mais elle est également le résultat de processus de vitellogenèse.

Aliane et Imarazene (2019) ont enregistré une fécondité moyenne dans les lots témoins qui est de 112±44,279 œufs /5femelles de *C. chinensis* et une fécondité complètement inhibée dans les lots traitées avec l'huile essentielle de la menthe pouliot et cela quel que soit la dose utilisée.

3.3. Action sur l'éclosion des œufs

3.3.1. Résultats

Les résultats présentés dans la figure 28 montrent que le taux moyen d'œufs éclos diminue au fur et à mesure que la dose d'huile essentielle utilisée augmente.

L'effet insecticide de l'HE d'*Eucalyptus globulus* s'est avéré important induisant la diminution des taux d'éclosion des œufs. Elle réduit considérablement le taux d'éclosion des œufs à 5% à la plus forte dose testée 3µl.

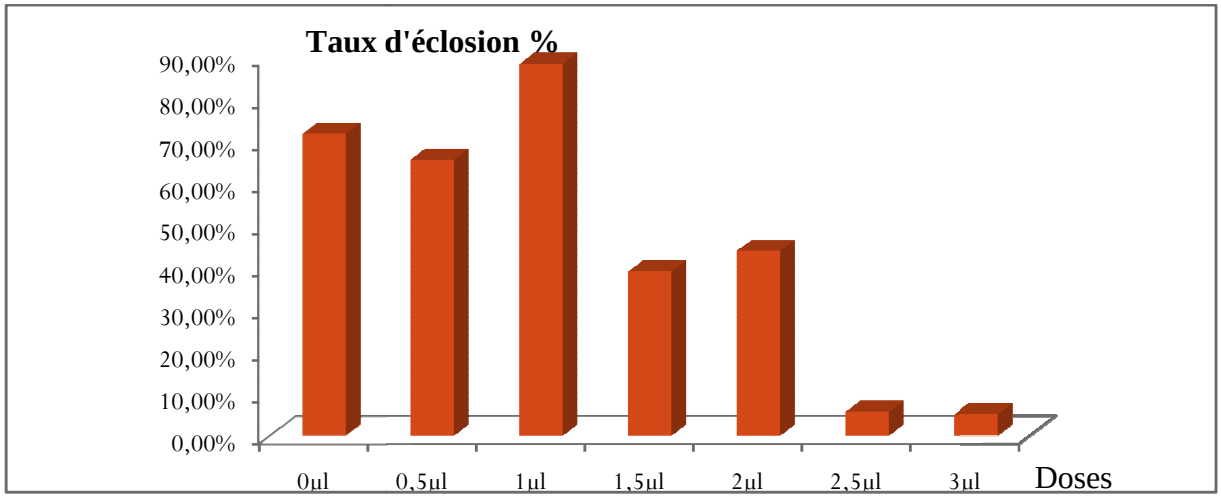


Figure 28. Taux moyen d'éclosion des œufs de *Callosobruchus chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact.

D'ailleurs, l'analyse de la variance à un seul critère de classification, montre qu'il y a une différence hautement significative pour le facteur dose (P = 0,00767) (Tableau 19).

Tableau 19 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre éclosion des femelles de *C. chinensis* après traitement avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*

	S.C.E	**DDL**	**C.M.**	**TEST F**	**PROBA**	**E.T.**	**C.V.**
Var. Totale	46299,94	27	1714,813				
Var. Facteur 1 (dose)	24805,58	6	4134,264	4,039	0,00767		
Var. Résiduelle	21494,36	21	1023,541			31,993	70,06%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification 5%, classe les 7 doses dans 3 groupes homogènes A, AB et B, plaçant la dose 1µl dans le groupe A, les doses 0µl, 0,5µl, 1,5µl et 2µl dans le groupe AB et les deux dernières doses 2,5µl et 3µl dans le groupe B (Tableau 20).

Tableau 20 : Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre éclosion des œufs de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus*.

F1	Libelles	Moyennes	Groupes homogènes	
3.0	D2	88,395	A	
1.0	D0	71,808	A	B
2.0	D1	65,643	A	B
5.0	D4	65,643	A	B
4.0	D3	39,082	A	B
6.0	D5	5,75		B
7.0	D6	5		B

3.3.2. Discussion

Selon Don Pedro (1989), l'activité ovicide des huiles essentielles serait due à la toxicité directe de leurs composés qui inhibent l'activité métabolique des œufs par pénétration par le tube respiratoire. Donc l'effet ovicide de l'huile essentielle testée est probablement dû à la pénétration des vapeurs d'huiles dans les œufs de la bruche bloquant ainsi l'embryogenèse.

Nos résultats concordent avec les travaux de nombreux chercheurs qui ont mis en évidence l'action des huiles essentielles sur l'éclosion des ravageurs des denrées stockées.

Aliane et Imarazene (2019) ont constaté que le taux d'éclosion des œufs de *C. chinensis* est de 21% dans les lots témoin, alors qu'il s'annule aux doses de 0.5µl, 0.75µl, 1µl, et 1.5µl (0%) pour l'huile essentielle de la menthe pouliot puisque la ponte s'annule déjà à partir de la plus faible dose (0.5µl). L'huile essentielle de la menthe pouliot a un effet notoire sur l'éclosion des œufs de *C. chinensis*.

Aussi, Taleb-Toudert (2015) a montré que les huiles essentielles d'*E. radiata* et *E. globulus* inhibent l'éclosion des œufs de *C. maculatus* pondus sur les graines traitées à la dose de 4ul.

En suite, Goucem-Khelfane (2014) a noté que les huiles de *C. limonum* et de *C. reticulata* et de l'*E. globulus* annulent complètement le taux de fertilité d'*A. obtectus* à la dose de 8µl

De plus, nos résultats sont en accord avec les données de la littérature. Une nette sensibilité aux huiles essentielles des œufs par rapport aux adultes a été signalée sur *Callosobruchus maculatus* (Glitho et *al.,* 1998) et sur *Callosobruchus chinensis* (Schmidt et *al.,* 1991).

Kumar et *al.* (2017) ont appliqué 2,5 ml/ kg des huiles essentielles de Neem et Lavande sur les adultes de *C. chinensis* et ont enregistré des taux d'éclosion faibles de 2,95 adultes /100 grains et 3,85 adultes / 100grains respectivement.

3.4. Action sur l'émergence des adultes

3.4.1. Résultats

Les résultats de l'action de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* sur l'émergence des adultes de *C. chinensis* sont illustrés dans la figure 29.

Cette HE montre un effet insecticide relativement fort sur la viabilité des œufs. Elle réduit nettement le taux d'émergence des adultes de *C. chinensis* qui s'annule complètement à la dose 2µl.

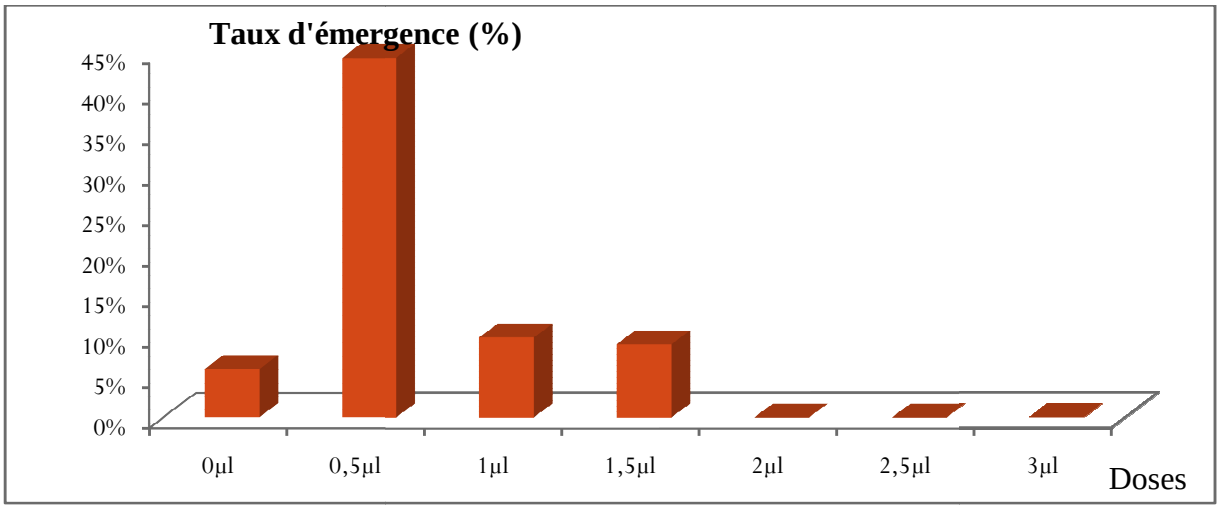


Figure 29. Taux moyen d'émergence des adultes de *Callosobruchus chinensis* selon les différentes doses de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* utilisées par contact.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification montre une différence hautement significative pour le facteur dose (P = 0,00575) (Tableau 21).

Tableau 21: Résultats de l'analyse de la variance au seuil de 5% pour le paramètre émergence des adultes de *C. chinensis* traités avec l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* par contact.

	S.C.E	**DDL**	**C.M.**	**TEST F**	**PROBA**	**E.T.**	**C.V.**
Var. Totale	10877,04	27	402,853				
Var. Facteur 1 (dose)	5986,408	6	997,735	4,284	0,00575		
Var. Résiduelle	4890,629	21	232,887			15,261	153,19%

Le test de Newman et Keuls, au seuil de signification de 5%, classe les 5 doses utilisées (D0, D1, D2, D3, D4, D5 et D6) pour le paramètre émergence des adultes de *C. chinensis* dans 2 groupes homogènes A et B, plaçant la dose 0,5µl dans le groupe A et les autres doses 0µl, 1µl, 2µl, 2,5µl et 3µl dans le groupe B (Tableau 22).

Tableau 22 : Résultats de test de Newman et Keuls concernant l'effet du facteur dose de l'huile essentielle de *l'Eucalyptus globulus* sur l'émergence des adultes de *C. chinensis* traités par contact.

F1	**Libelles**	**Moyennes**	**Groupes homogènes**	
2.0	D1	44,38	A	
3.0	D2	9,84		B
4.0	D3	9,265		B
1.0	D0	6,25		B
7.0	D6	0		B
6.0	D5	0		B
5.0	D4	0		B

3.4.2. Discussion

L'HE de l'*Eucalyptus globulus* s'est révélée efficace inhibant l'émergence de *C. chinensis*. De nombreux auteurs ont noté des résultats similaires dans leurs études et ont mis en évidence l'action des HE sur l'émergence des bruches des stocks.

C'est notamment les travaux de Aliane et Imarazene (2019) qui ont montré que l'huile essentielle de la menthe pouliot exerce un effet insecticide très important sur le taux de viabilité des adultes de *C. chinensis.*

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

Nos résultats s'accordent aussi avec ceux obtenus par Taleb-Toudert (2015) qui a noté que le taux de viabilité des œufs pondus par *C. maculatus* est supérieur à 94 % chez les témoins mais aucune progéniture n'a été observée dans lots traités avec les huiles essentielles *d'E. globulus*, *E. radiata*, *L. nobilis* et *S. officinalis*, dés la plus faible dose testée 4 µl/50 g.

De même, Hadjal-Chehhab (2014), a constaté que l'application de 25µl d'huiles essentielles *d'Eucalyptus lehmani*, *E. astringens*, *E. maidinii* et *E. cinerea* par 50g de graines de niébé a donné 100% de mortalité des adultes de *C. maculatus* en moins de 24h avec des taux de survie embryonnaires et post-embryonnaires nuls et cela sans affecter la faculté germinative des graines traitées.

La diminution d'émergence dans notre cas pourrait être engendrée par la réduction de taux d'éclosion des œufs pondus. Ainsi, Certains auteurs ont trouvé une forte activité des huiles essentielles sur les larves plus jeunes que les œufs frais (Séri–Kouassi, 2004 ; Papachristos et Stomopoulos, 2004 et 2002b). Cela pourrait être expliqué par le fait que certaines huiles essentielles agiraient lorsque le système nerveux se met en place et commence par se développer chez l'embryon (Smith et Salked, 1966 ; Michaelides et Wright, 1997). De même, des changements dans la perméabilité du chorion et/ou de la membrane vitelline peuvent selon Gurusubramanian et Krishna (1996) alternativement se produire au cours de l'embryogenèse et faciliter la diffusion des vapeurs d'huiles dans les œufs plus âgés affectant ainsi les processus vitaux sur les plans physiologique et biochimique.

Au stade de nos connaissances actuelles, le développement de bio-insecticides extraits des plantes s'inscrit dans le cadre de l'agriculture et du développement durable, en proposant des solutions alternatives ou complémentaires à l'utilisation des pesticides organiques de synthèse pour la protection des cultures. Alors notre travail de recherche a permis d'apporter un ensemble d'éléments qui pourraient servir d'appui pour trouver ces alternatives qui réduisent l'application des produits chimiques contre le ravageur potentiel des grains de pois chiche dans les stocks.

L'étude présentée dans ce mémoire vise à l'évaluation in vitro, de l'activité insecticide de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* à l'égard de la bruche chinoise *C. chinensis*, à travers trois tests différents, réalisés par inhalation, répulsion et contact.

Il ressort des résultats obtenus que l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus* a une toxicité importante vis-à-vis des adultes de *C. chinensis*.

En premier lieu, cet HE présente un effet insecticide important par inhalation sur les adultes de *C. chinensis* en fonction de la dose testée et de la durée d'exposition, elle réduit la durée de vie des adultes d'une manière très hautement significative ; dès la plus faible dose (0,5µl), une mortalité de 100% est enregistrée après 24h d'exposition.

Aussi, selon le classement de Mc Donald et *al.* (1970), l'*Eucalyptus globulus* s'est avérée très répulsive à l'égard des adultes de *C. chinensis* avec un taux moyen de répulsion de 96,67%.

De même, Elle montre un effet insecticide important par contact qui se manifeste à travers différents paramètres biologiques de *C. chinensis* à savoir la mortalité des adultes, la fécondité des femelles, le taux d'éclosion et l'émergence des adultes.

En effet, il ressort de nos résultats que le paramètre de mortalité est dépendant de la dose de l'HE testée et le temps d'exposition. La mortalité des adultes de *C. chinensis* augmente proportionnellement avec l'augmentation des doses de l'HE testée, pour atteindre une valeur maximale de 82,5% à la dose (2,5µl) après 6jours d'exposition.

Par ailleurs, la fécondité des femelles de *C.chinensis* diminue nettement en présence de l'HE et de façon progressive avec l'augmentation de la dose. Le taux de fécondité le plus faible est enregistré à la dose 3µl avec une valeur de 1,25œufs.

En outre, le taux d'éclosion des œufs s'est réduit à 5% à la plus forte dose de l'HE et l'émergence s'annule complètement à la dose 2µl.

L’ensemble des résultats constatés lors de ce travail constituent une approche qui peut être exploitée dans le domaine de la protection des végétaux visant à limiter l’emploi des pesticides organiques de synthèse dans la protection des grains stockés de pois chiche. En effet, ces résultats obtenus in vitro ne constituent qu’une première étape dans la recherche de substances d'origine naturelle biologiquement active, une étude in vivo est souhaitable, pour obtenir une vue plus approfondie sur les activités biocides des extraits de ces plantes puisque l’Algérie recèle une flore abondante et diversifiée susceptible de fournir de nouvelles sources de composés d’origine végétale à propriétés phytopharmaceutiques.

De nombreuses perspectives de recherche peuvent être dégagées de cette étude. D’une part, il serait intéressant d’étudier l’effet insecticide des huiles essentielles extraites à partir de plantes aromatiques locales sur *C. chinensis* et sur d’autres ravageurs qui se trouvent dans les lieux de stockage de pois chiche et leurs effets synergiques ou antagonistes. D’autre part, il serait intéressant d'étendre l'éventail des tests insecticides ainsi que l’isolement et la caractérisation des composés actifs des différents extraits des plantes aromatiques, en vue d’identifier les différentes molécules responsables des différentes activités biocides de ces plantes. Par ailleurs, le développement des bio-insecticides d’origine végétale devrait respecter les critères du développement durable qui sont définis dans le rapport Brundtland (1987), à savoir : écologiquement sain, économiquement viable et socialement équitable.

1. **Abadlia , Chebbour 2014.** Etude des huiles essentielles de la plante Mentha.
2. **Abdel Tawab H.M. 2016.** Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. *Journal of Environmental Science and Technology*,9:P.354-378.
3. **Abdelguerfi A., Laouar M., Hamdi N., Bouzid H., Zidouni F., Laib M., Bouzid, L., Zine F., 2001**. Les légumineuses alimentaires en Algérie : situation, état des ressources phytogénétiques et cas du pois chiche à Béjaia. 3èmes journées Scientifiques de l'INRAA, Béjaia :11-13.
4. **Acheraiou L., Kaced S. 2018.** Activité insecticide des huiles essentielles de la menthe poivrée et de la sauge officinale sur la bruche chinoise (*Callosobruchus chinensis* L.) (Coleoptera : Chrysomelidae). Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri UMMTO.Tizi-Ouzou , P16-17-39
5. **ADI .S., LHADJ T. 2005**. Action de quelques extrais végétaux sur la bruche du niébé : C.maculatus F. (coleoptira :Bruchidae).mémoire d'ingben biologie U.M.M.T.O,P56.
6. **AFNOR. Norme AFNOR NF T75-225** [en ligne]. [Consulté le 31 octobre 2014].
7. **Aggarwal, K.K., Tripathi, A.K., Ahmad, A., Prajapati, V., Verma, N., Kumar, S., 2001.** Toxicity of menthol and its derivatives against four storage insects. Insect Sci. Appl. 21: 229-236
8. **Ahmed S., Khan M.A., Ahmad N., 2002**. Determination of susceptibility level of phosphine in various strains of Callosobruchus maculatus. International Journal of Agriculture and Biology, 4 : 329-331.
9. **Alajaji S.A., El-Adawy T.A., 2006**. Nutritional composition of chickpea (Cicer arietinum L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. J Food Composition Analysis 19: 806 – 812.
10. **Aliane ,Imarazene (2020).** Etude de l'activité insecticide de l'huile essentielle de la menthe pouliot (Mentha pulegium L.) sur la bruche chinoise Callosobruchus chinensis L. (Coleoptera : Chrysomelidae). Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri UMMTO. Tizi-Ouzou, 48p.
11. **Anonyme 1, 2016. Anonyme 3, 2016**. Pois chiche. Encyclopédie des aliments
12. Anonyme b, 2004. Information about the family leguminosea. International legume database & information service. Mémoire de magister. Université Mentouri. Constantine. 16p. http://www.ildis.uk/
13. **Appert J., 1985**. Le stockage des produits vivriers et semenciers. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, 113.p.

14. **Av1dov .Z., Applebayns .S.W. and Berl1nges .M. J., 1965** -Physiological aspects of hot specificity in the Bruchidae on positional preference and behaviour of *Callosobruchus chinensis* L. Ent Exp And appl. pp: 96-106.
15. **Ayadi., 1986**. Analyse agronomique des différents types de pois chiche : influence de la date de semis. Mémoire d'agronomie approfondie (ENSAM, Montpellier), pp61-70
16. **Balaschowsky A.S., 1962.** Entomologie appliquée l'agriculture .Ed . Masson, Paris, p448 – 449.
17. **Baumgartner A. 1998.** Le pois chiche : la viande des pauvres. Tabula, 3: 16–19.
18. **Belgaid A ; Rahmani A. 2018**. Activité insecticide du thym (*Thymus vulgaris*L*)* sur un insecte des stocks *Callosobruchusmaculatus*F (ColeopteraBruchidae). Master en science biologique. Université Akli Mouhand Oulhadj-Bouira. P.55-77.
19. **Bellemou D., Laouar M., Abdelguerfi A. (2016).** Genetic erosion of Algerian chickpea. ICARDA. International conference on PULSES for Health, Nutrition and Sustainable Agriculture in Drylands- Marrakech, Morocco 18-20 April 2016.
20. **Benazzeddine S . 2010**. **Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de** *Sitophilus oryzae* **(Coleoptera ; Curculionidae) et** *Tribolium confusum* **(Coleoptera ; Tenebrionidae).** Mémoire de Master. Ecole nationale supérieure agronomique El Harrach Algérie,p16-17-34-35 .
21. **Benmbarek K., 2011**. Comportement du pois chiche (Cicer arietinum) du type « Kabuli » vis-à-vis du stress hydrique et identification des génotypes tolérants la sécheresse; Th. Doct., institut supérieur agronomique de Chott Meriem –Tunisie.
22. **Bilal H. 1987.** Biologie de la reproduction chez C. maculatus F. Formes voilières et non voilières, applicaton à la protection des stocks. Thèse de Doctorat Univ. Tours, 178 p.
23. **BOCK B., 2009.** Cicer arietinum L. Tela botanica, Base de données Nomenclaturale de la flore de France. BDNFFV4.02.http://www.tela-b0tanica.org
24. **Bonnemaison L. 1962.** Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. *Tome 2*:129-132.
25. **Boumlik M., 1995**. Systématiques des spermaphytes; Office Publications Universitaires.
26. **Brown M., Herbert A.A. 1997**. Insect repellents: an overview. J. Am. Acad. Dermatol. 36: 243-249.
27. **Bruneton J. 1999.** Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales. 3èmeEd Tec&Doc. Paris
28. **BRUNETON J., 1993** - Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Paris, Lavoisier, P623- 916

29. **Buctuanon .EM., Morallo-Rajesus .B. 1997.** Influence de la taille des échantillons d'insectes et de graines et de traitement thermique sur l'infestation de *Callosobruchus chinensis* (L.) sur le haricot mungo, *Vigna radiata* (L.) Wilczek. BIOTROPIA, n° 10: 14-28 ; 14 réf

30. **Bui Cong Hien, Sidik .M. (ed.), Rejesus .BM. (ed.), Garcia .RP. (ed.), Champ BR (ed.), Bengston .M. (ed.), Dharmaputa OS (ed.) and Halid .H. 1997**. Effet du rayonnement gamma et des matériaux d'emballage des sacs sur le développement de Callosobruchus chinensis (L.) (Coleoptera : Bruchidae) en grammes (Vigna radiata (L.) Wilczek). Actes du symposium sur la lutte antiparasitaire pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux stockés, tenu à Bogor, Indonésie, 5-7 septembre 1995. BIOTROP-Special-Publication. 59:225-230
31. **Burt S. 2004.** Essential oils, their antibacterial properties and potential application in foods. Areeiew intern: J.*Food.Microbiol*. 94. P.223-253.
32. **Butnariu Met Sarac L. 2018.** Huiles essentielles de plantes. *ISSN NO*: 2576-6694.vol-1. N°4 P.35-43.
33. **Cassier P., Lafont R., Deschamps M., Porchet M., Soyez D. 1997**. La reproduction des Invertébrés : Stratégies, modalités et régulation ; Intérêt fondamental et appliqué. Ed. Masson, 354 p.
34. **Champ B.R., Dyte C.E., 1978**. Rapport de l'enquête mondiale de la F.A.O., sur les insectes des céréales entreposées et leur sensibilités aux insecticides. Ed. F.A.O., Rome. 374p
35. **Chauhan Y.S., Ghaffar M.A., 2002**. Solar heating of seeds – a low cost method to control bruchid (Callosobruchus spp.) attack during storage of pigeonpea. Journal of Stored Products Research, 38: 87-91.
36. **Chavan .PD., Yeshbir Singh, Singh .SP. 1997.** Croissance et développement de Callosobruchus chinensis sur des lignées de niébé. Journal indien d'entomologie, 59(3):304-310 ; 8 réf
37. **Crujeiras A.B, Parra D., Abete I. et al., 2007**. A hypocaloric diet enriched in legumes specifically mitigates lipid peroxidation in obese subjects. Free Radical Research 41: 498-506
38. **Delobel A. Tran M., 1993** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. Faune tropicale XXXII. Edition ORSTOM. Paris publication: 157-159.

39. **Delobel A.,Tran M. 1993.** Les Coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes.Ed Orstom /CTA, Paris, 424p. Disponible à l'adresse : http://sagaweb.afnor.org.bases-doc.univ-lorraine.fr/fr FR/sw/Consultation/Xml/1245815/?lng=FR&supNumDos=FA026535.
40. **Don Pedro K. N. 1989.** Mode of action of fixed oils against eggs of Callosobruchus maculatus Fab. Pestic. Sc., 26 :107 – 116.
41. **Ducomp P. Bourge S., 1987.** Determination of phosphine concentrations with an electro protect. Tel. AVIV. Israël Ed. Donhaye E et Navarro S, pp 630 - 635.
42. **Duke J.A., 1981**. Handbook of legumes of world economic importance. Ed. Plenum press, New-York and London, 345 pp.
43. **El Aoufir A., 2001**. Étude du flétrissement vasculaire du pois chiche (Cicer arietinum L.) causé par le Fusariuin oxysporum f sp. Ciceri. Evaluation de la fiabilité de l'analyse isoenzymatique et de la compatibilité végétative pour la caractérisation des races physiologiques. Thèse de Doctorat, Université Laval. Canada;161p.
44. **El-Miziani I., Lhaloui S., El Bouhssini M., Dahanr ., Lamiri A., Gaboun F.,Abbad Amdaloussi F. 2016.** Etude des dégâts qualitatifs et quantitatifs dus aux Bruches sur leslégumineuses au Maroc. *Revue Marocaine de protection des plantes N° 9*: 83-99.
45. **El-nahal A. K. M., Schmidt G. H. and Risha E. M. 1994**. Influence of vapours of Acorus calamus L oil on the reproductivity of some stored-product Coleoptera. Pakinstan J. Entomol. Karachi 9: 21-27
46. **ERROUX J., 1975.** Agronomie méditerranéenne. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures Verviers en Algérie, Tome I.
47. **FAOSTAT.2014.** Food and agriculture organization: http://faostat.fao.org/site/339/default.aspxou: http://faostat3.fao.org/faostatgateway/go/to/browse/G1/*/E
48. **FAOSTAT.2017.** Food and agriculture organization: http://www.fao.org/faostat/en/#home.
49. **Fleurat P, Lessard. F., 1982.** Enquête sur l'état sanitaire des stocks de graines en France, conservation et stockage. Les graines et graines production dérivée, ed Lavoisier, paris, Tome II : p 396 – 406.
50. **Fleurat-Lessard. F. 2001**. Devenir des résidus d'insecticides au cours du stockage et à la transformation : des risques à gérer avec précision. Industries des Céréales, 121 : 5-17.

51. **Fleurat-Lessard. F., Wilbert. T and Vidal M.L. 2002.** Models linking insecticidal efficacy decline and residues concentration decrease with time, temperature and Aw in CPM treated wheat. In : Proceedings of the VIIIth International Working Conference on Stored Product Protection (P. Credland, D.M. Armitage, C.H. Bell, P.M. Cogan, éds), Cabi Publications, 639-645.
52. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fao. (2019).** Crop statistics. FAOSTAT. Consulté le 30 mars 2019, à l'adresse http://www.fao.org/faostat/fr/
53. **Foudi C Y.1991** - Etude comparative des huiles essentielles algériennes d'Eucalyptus globuluslabill. etcamaldulensis.These magister. U.S.T.H.B., Alger,p159.
54. **Gaur, P.M., A.K. Jukanti, R.K. Varshney. (2012).** Impact of genomic technologies on chickpea breeding strategies. Agron. J. 2:199–221. doi:10.3390/agronomy2030199.
55. **Glitho A.I., Nuto Y., Attoh A. Sabena B. & Konou K., 1998.** Ecologie et biologie de la reproduction et du développement des Bruchidae parasites des légumineuses alimentaires cultivées au Togo et au Bénin. Rapport "ABN", 63 p.
56. **Glitho I. A., Ketoh K. G. et Koumaglo H. K. 1997**. Effets de quelques huiles essentielles sur l'activité reproductrice de Callosobruchus maculatus F. « Annales de l'Université de Ouagadougou » Série B, 5: 174–185.
57. **Guillon F., Champ M.M., 2002**. Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. Br J Nutr 88, Suppl. 3 : 293-306.
58. **HaiahemL ; Tebbani I et Bencheghieb B. 2018.** Activité bio-insecticide des huiles essentielles de l'Ortie (*Urtica dioica* L). Sur, un ravageur des denrées stockées *Ephestia Kuehniella* (Zeller). Master académique en science biologique. Université 8 mai 1945.Guelma. P45.
59. **Hamai K., Harma K., Kacimi F. 2006.** Effet de cinq huiles végétales sur l'activité biologique du bruche de niébé Callosobrucus maculatus F. (Coleoptera : Bruchidae) Mémoire d'Ing. En Biologie U.M.M. .O: 67p
60. **Hedjal-Chebheb M. 2014.** Identification des principes actifs des huiles essentielles de quelques résineux et plantes aromatiques de provenance Algérienne et Tunisienne. Etude de leurs activités biologiques à l'égard d'un insecte ravageur des graines stockées, Callosobruchus maculatus F. 1775 (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques. Univ. de Tizi-Ouzou, 99 p.
61. **Hoffmann A., Labeyrie V. 1962**. Les Bruchidae. In : Entomologie appliquée à l'agriculture (A.S. Balachowsky, éd.), Masson, 434-48

62. **Hoffmann. A. 1945 :** Bruchides (Faune de France, T.44,)
63. **Howe .RW., Currie .JE. 1964.** Quelques observations de laboratoire sur les taux de développement, de mortalité et de ponte de plusieurs espèces de Bruchidés se reproduisant dans les légumineuses stockées. Bulletin de recherche entomologique, 55(3):437-477
64. **Huignard J., Dugravot S., Ketoh K. G., Thibout E. et Glitho I. A. 2002.** Utilisation des composés secondaires des végétaux pour la protection des graines d'une légumineuse, le niébé. Conséquence sur les insectes ravageurs et leurs parasitoïdes. In « Biopesticides d'origine végétale », 1ère Ed., 133–149.
65. **ICRISAT, 2008.** Chickpea kabuli variety ICCV6. Plant material description. Icrisat Bull, 12.
66. **ICRlSAT, 1990**. Chickpea in The nineties proceeding of the 2nd International workschop on chickpea improvement, 4-8 dec 1989, ICRISAT Center, India, Patancheru,AP 502, 324, India.
67. **Institut Technique Des Grandes Cultures., 2011**.La culture du pois chiche en Algérie.
68. **Ishimoto M., Sato T., Chrispeels M.J., Kitamura K., 1996.** Bruchid resistance of transgenic azuki bean expressing seed α-amylase inhibitor of common bean. Entomologia Experimentalis et Applicata, 79 : 309-315.
69. **Islam.W.1997.** Sélection du stade hôte et préférence pour la ponte de parasitoïde *Dinarmus basalis* Rond. (Hymenoptera : Pteromalidae) sur *Callosobruchus chinensis* (L.). Entomon, 22 (2) : 95-100 ; 17 réf
70. **ISMAN, M.B., 2005** - *Botanical insecticides, deterrents and repellents in modem agriculture and an increasingly regulated world. Annu. Rev. Entomol., N° 51, pp: 45 66.*
71. **J. Huignard, I. A. Glitho, J.-P. Monge, C. Regnault-Roger, coord; 2011**. Insectes ravageurs des graines de légumineuses .Ed .Quae ,versailles cedex , france .154 p
72. **Javaid I. and Poswal M. A. T. 1995.** Evaluation of certain spices for the control of Callosobruchus maculatus (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae) in cowpea seeds. African Entomol., 3: 87-89. 22. Joly (1968).
73. **Journal of Stored Products Research 38**: 365-373.
74. **Jukanti A. K., Gaur P. M., Gowda C.L.L., Chibbar R.N., 2012.** Nutritional quality and health benefits of chickpea (Cicer arietinum L.): a review. British J Nutrition 108: 11-26.

75. **Kellouche A. 2005.** Etude de la bruche du pois chiche, Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchdae) : Biologie, physiologie, reproduction et lutte. Thèse. Doc d'état. Univ. Tizi-Ouzou, Algérie. 154p.
76. **Kellouche A., Soltani N. 2004.** Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huileessentielle d'une d'entre elles à l'égard de *Callosobruchus maculatus*. *International journal oftropical insect science 24 (1)*: 184-191.
77. **Ketoh G.K. 1998.** Utilisation des huiles essentielles des quelques plantes du Togo comme biopesticides dans la gestion des stades de développement de Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat. Univ. Lomé, Bénin, 141p.
78. **Ketoh G.K., Glitho A.I., Huignard J., 2002.** Susceptibility of the bruchid Callosobruchus maculatus and its parasitoid Dinarmus basalis to three essential oils. Journal of Economic Entomology, 95 :174-182.
79. **Khelfane-Goucem 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 – Université Mouloud Maameri, TiziOuzou. 144p.
80. **KIM, S., J. ROH, D. KIM, H. LEE ET Y. AHN.2003**. Insecticidal activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Sitophilus oryzae* and *Callosobruchus chinensis*. J. Stored Prod. Res. P3**9**
81. **Kishan Kumar Aggarwal, Arun Kumar Tripathi, Veena Prajapati and Sushil Kumar, 2001.** Toxicity of 1,8-Cineole Towards Three Species of Stored Product Coleopterans. Insect Sci. Applic. Vol. 21, No. 2, pp:155-160
82. **KonstantopoulouL. VassilopoulouP. Mavragani-TsipidouZ. G**. Scouras Insecticidal effects of essential oils. A study of the effects of essential oils extracted from eleven Greek aromatic plants on Drosophila auraria June 1992, Volume 48, Issue 6, pp: 616–619
83. **Koumaglo H.K., Akpangana K., Glitho A.I., Garneau F.X., Gagnon H., Jean F.I., Moudachirou M. & Addae-Mensah I., 1996.** Geranial and neral, major components of Lippia multiflora Moldenke leaf oil. J. Essent. Oil Res., 8: 237-240.
84. **Kudapa, H., Garg, V., Chitikineni, A., & Varshney, R. K. (2018).** The RNA-Seq-based high resolution gene expression atlas of chickpea (Cicer arietinum L.)

reveals dynamic spatio-temporal changes associated with growth and development. Plant, cell & environment 41 : 2209-2225.

85. **Kumar P., Shukla R., Singh P., Singh A.K., Dubey N.K. 2009.** Use of essential oil from Mentha arvensis L. to control storage moulds and insects in stored chickpea. J. Sci. Food Agric. 89: 2643-2649.
86. **Kumar P., Shukla R., Singh P., Singh A.K., Dubey N.K. 2009.** Use of essential oil from*Mentha arvensis* L. to control storage moulds and insects in stored chickpea. *J. Sci. FoodAgric. 89*: 2643-2649.
87. **Kuroda .M., Ishimoto .M., Suzuki .K., Kondo .H., Abe .K., Kitamura .K. and Arai.S. 1996.** Les oryzacystatines présentent des effets inhibiteurs de croissance et létaux sur différentes espèces ravageurs du haricot, *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera) et *Riptus clavatus* (Hemiptera). Bioscience, biotechnologie et biochimie, 60 (2) : 209-212 ; 36 réf
88. **Labdi M., 1990. Chickpea in Algeria. In: Saxena N.P., Saxena M.C., Jouhansen C., Virmani S.M. et Harris H.** Adaptation of chickpea in West Asia and North Africa region. ICARDAICRISAT: 137-140.
89. **Ladizinsky G., Abbo S., 2015.**The Search for Wild Relatives of Cool Season Legumes. Plant Science, DOI 10.1007/978-3-319-14505-1_2.
90. **Lambert J. D. H., Gale J., Anarson J. T. and Philogène B. J. 1985.** Bruchid control with traditionally used insecticidal plants Hyptis spicigera and Cassia nigricans. Insect set. Applic. 6 : 167–170.
91. **Lardry J.-M , Haberkorn V. (2007).** L'aromathérapie et les huiles essentielles (Kinesither Rev ed.). : P293-303.
92. **Laumont P., Chevassus A., 1956.** Note sur l'amélioration du pois chiche en Algérie. Institut Agricole d'Algérie. Maison-carrée, Alger ; 24 p.
93. **Lawrence J.F., 1982**. Coleoptera. In : Synopsis and Classification of Living Organism, vol. 2 (S.P. Parker, éd.), MacGraw-Hill Publications, 482-553.
94. **Liu .XM., Jin .DS., Cheng .XZ., Wu .XF and Wang .SH. 1998.** Évaluation préliminaire de leur résistance à *Callosobruchus chinensis* L. dans le matériel génétique du haricot mungo. Ressources génétiques des cultures, 2:35-37
95. **Mahiout, 2017.** Contribution à la caractérisation de Ascochyta rabiei (Pass.) Labr., agent causal de l'anthracnose du pois chiche (Cicer arietinum L.) et étude de son interaction avec Medicago truncatula Gaertn. Thèse de doctorat en sciences agronomiques- Université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem ; 182p.

96. **Mazibur M. R. & Gerhard H. S. 1999.** Effect of Acorus calamus (L.) (Araceae) essential oil vapours from various origins on Callosobruchus phaseoli (Gyllenhal) (Coleoptera: Bruchidae). J. Stored Prod. Res., 35 : 285 – 295.
97. **Mc Donald L.L., Guy R.H., Speirs R.D. 1970**. Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insects. Marketing Research Report. n° 882. Washington: Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture. 183 p.
98. **MEBARKIA L., MOUSAOUI Z.2019**. Etude de l'effet toxique des huiles essentielles *d'Artemisia herba alba* et d'*Eucalyptus globulus* sur deux ravageurs des jardins . Mémoire de Master. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.P13-14-15.
99. **Mediouni Ben Jemâa J., Tersim N., TalebToudert K., Larbi Khouja M. 2012.** Insecticidal activities of essential oils from leaves of Laurus nobilis L. from Tunisia, Algeria and Morocco, and comparative chemical composition. Journal of Stored Products Research 48: 97-104.
100. **Michaelides P .K.,Wright D.J.1997 .** Activity of soil insecticides on eggs of Diabrotica undecimpunctata howardi: effects on embryological development and influence of egg age . Pestic . Sc ., 49 : 1-8
101. **Miura .K., Ishimoto .M., Yamanaka .N., Miyazaki .S., Hiramatsu .M., Nakajima .Y., Hirano .K., Kitamura .K and Miyazaki .S. 1996.** Effets de la farine de haricot mungo résistant aux bruches sur la croissance et les valeurs biochimiques sanguines chez la souris. Revue JIRCAS, 3 (3) : 23-31
102. **Moser J.C. 1975.** Biosystematics of the straw itch mite with special reference to nomenclature and dermatology. Trans.Roy.Ent. Soc. London. 127: 185–191.
103. **Moser J.C., 1975.** Biosystematics of the straw itch mite with special reference to nomenclature and dermatology. Trans.Roy.Ent. Soc. London. 127: pp185–191
104. **Mourad .AK., Zaghloul .OA. 1997**. Effet de certains facteurs environnementaux sur *Callosobruchus chinensis* (L.) (Coleoptera : Bruchidae) infestant le haricot mungo en Égypte. Actes du 49e symposium international sur la protection des cultures, Gand, Belgique. Partie II. Université de Gand, 62(2b):623-631
105. **Muehlbauer F. J. et Rajesh P. N., 2008.** Chickpea, a Common source of protein and starch in the semi-arid tropics. PH. Moore, R Ming (eds.) Genomics of tropical Crop plants. Ocimum canum Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by Ostrobothnia. Oulu University Press, Finland, 52 p.

106. **Nene Y.L., Reddy M.V., Haware M.P., Ghanekar A.M., et al., 2012.** Field Diagnosis of Chickpea Diseases and their Control. Information Bulletin No. 28 (révisé). Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 60 p

107. **Nene Y.L., Sheila V.K., Sharma S.B., 1996**. A world list of chickpea and pigeonpea pathogens. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics.

108. **Nerio L.S., Olivero-Verbel J., Stashenko E. 2009.** Repellency activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against Motschulsky (Coleoptera). Journal of stored Products Research 45: 212-214.

109. **Nishimura .K., Jahn .GC. 1996.** Répartition sexuelles de trois espèces de guêpes ectoparasites solitaires sur des larves de charançon du haricot : changement du rapport des sexes avec la qualité de l'hôte et la compétition locale avec les partenaires. Journal of Ethology, 14 (1) : 27-33 ; 29 réf

110. **OBATON M., 1992.** Facteur pédoclimatiques limitant la fixation biologique de l'azote chez les légumineuses. In MULONGOY K., GUEYE M., SPENCER D.S.C., (ed): biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture. oils to the immature stages of Acanthoscelides obtectus (Say) (Coleoptera: Bruchidae.

111. **Odeyemi O.O., Gbaye O.A., Akeju O., 2006**. Resistance of Callosobruchus maculatus (Fab.) to pirimiphos methyl in three zones in Nigeria. In : Proceedings of IXth International Working Conference on Stored Product Protection (I. Lorini et al., éds), 324-329.

112. **Olubayo .FM., Port .GR. 1997.** L'efficacité de la modification du moment de la culture intercalaire comme méthodes de réduction de l'infestation des champs de niébé par les bruches de stockage de Kenya. Journal de recherche sur les produits stockés. 33 (4), 271-276. DOI : 10. 1016/S0022-474X(97)00024-6

113. **PACUCCI G., TROCCOLI C., LEONI B., 2006.** Supplementary Irrigation on Yield of Chickpea Genotypes in a Mediterranean Climate. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript LW 04 005. Vol. VIII. May, 2006

114. **Papachristos D.P., Stamopoulos D.C. 2002 .** Toxicity of vapours of the essential

115. **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.

116. **Parr M.J., Tran B.M.D., Simmonds M.S.J., Credland P.F., 1998.** Duration of behaviour patterns during oviposition by the bruchid beetle Callosobruchus maculatus. Physiological Entomology, 23 : 150-157.

117. **Parr .M.J., Tran .BMD., Simmonds .MSJ., Credland .PF. 1996.** Comportement de ponte du coléoptère du niébé, *Callosobruchus maculatus.* Entomologie physiologique, 21 (2) : 107-117 ; 30 réf

118. **Pierron S. 2014.** Les essentielles et leurs expérimentation dans les services hospitaliers de France : exemples d'applications en gériatrie gérontologie et soins palliatifs. Diplôme d'état de docteur en pharmacie. Université de lorraine. France. P.256.

119. **Raguraman S., Singh D. 1997**. Biopentential of Azadirachta indica and Cedrus deodora oils on Callosobruchus chinensis. Intenational Journal of Phamacognosy 35: 344-348.

120. **Rathore .YS. 1996.** Evaluation *d'Atylosia spp.* Pour la résistance contre *Callosobruchus chinensis* (L.). Indian journal of Pulses Research, 9 (1) : 96-98 ; 5 réf

121. **Redy M, YLnene, Hawar M .P., Ghanekan A.M ., and Amin K. S., 1991**. Field diagnostic of chickpea diseases and their control: pp1-4.

122. **Regnault-Roger C., Hamraoui A. 1994**. Inhibition of reproduction of Acanthoscelides obtectus Say (Coleoptera) a kidney bean (Phaseolus vulgaris L.) bruchid, by aromatic essential oils. Crop Protection 13: 624-628.

123. **Regnault-Roger C., Vincent C., Arnason J.T. 2012**. Essential oils in insect control: low- risk products in a high-stakes world. Annual Review of Entomology 57: 405-424.

124. **Righi-Assia A.F. 2010.** Etude de la relation plante-insecte chez les Bruchidées : cas de la bruche du pois chiche Callosobruchus chinenensis L. Thèse. Doc en Sciences en Biologie Animale. Univ. Mascara, Algérie. 133p.

125. **Righi-Assia A.F., Khelil M.A., Medjdoub-Bensaad F., Righi K. 2010.** Efficacy of oil powders of some medicinal plants in biological control of the pea weevil (Callosobruchus chinensis L.). African Journal of Agricultural Research Vol.5(12) : 1474- 1481.

126. **Saeidi K., Pezhman H. 2018.** Insecticidal Activity of Four Plant Essential Oils against Two Stored Product Beetles. Iran. Entomol Ornithol Hepetol Current Research. Vol (7): 1-5.

127. **Sarmah B., Moore A., Tate W., Molvig L., Morton R.L, Rees D.P., Chiaiese P., Maarten J.C., Tabe L.M., Higgins T.J.V., 2004.** Transgenic chickpea seeds expressing high levels of a bean α-amylase inhibitor. Molecular Breeding, 14: 73-82.

128. **Saxena B. P. and Rohdendorf E. B. 1974**. Morphological changes in Thermobia domestica under influence of Acorus calamus oil vapours. Experimentia, 30 : 1298–1300.

129. **Saxena M. C., Singh K. B., 1984.** Ascochyta blight and winter sowing of chickpeas. Proceeding of the workshop on Ascochyta blight and winter sowing of chickpeas, ICARDA, Alep, Syrie.

130. **Schmidt G. H., Risha E. M. and El-Nahal A. K. W. 1991.** Reduction of progeny of some stored product Coleoptera by vapours of Acorus calamus. J. Stored Prod. Res: 27: 121– 127.

131. **Schwinghamer M.W., Larsen R.C., 2011.** Viruses reported to infect chickpea and/or lentil naturally. In: Chen W, Sharma HC, Muehlbauer FJ (eds) Compendium of chickpea and lentil diseases and pests. APS Press, St. Paul, MN, USA, pp 73–76.

132. **Scotti G. 1978**. Les insectes et les acariens des céréales stockées. Coed. Ed. AFNOR- ITCF AFNOR , 238p

133. **Séri – Kouassi B. P. 2004**. Entomofaune du niébé (Vigna unguiculata L. Walp.) en culture, bio-écologie et gestion des populations de Callosobruchus maculatus Fab. (Coleoptera : Bruchidae) à l'aide d'huiles essentielles comme bio-pesticides dans les stocks de cette denrée en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Univ. Cocody, Côte d'Ivoire, 197 p.

134. **Seth Wolali Nyamador (2009).** Influence des traitements à base d'huiles essentielles sur les capacités de reproduction de Callosobruchus subinnotatus Pic. et de Callosobruchus maculatus F. (Coleoptera : Bruchidae) : mécanisme d'action de l'huile essentielle de Cymbopogon giganteus Chiov. Thèse de doctorat en sciences de la vie. Université de Lomé, Togo. 177p.

135. **Sharvale .TG., Borikar .PS. 1996.** Développement de Callosobruchus chinensis (Linnaeus) sur différentes variétés de pois chiche. Journal des universités agricoles du Maharashtra, 21(3):475-476 ; 7 réf

136. **Shimada .M., Godfray .HCJ. (éd.). 1999**. Fluctuation des populations et persistance des systèmes à un hôte-deux parasitoïdes en fonction de la distribution des ressources : du comportement parasitaire à la dynamique des populations. Probleme special. Parasitoïdes : un système modèle pour répondre aux questions d'écologie comportementale, évolutive et des populations. Recherches sur l'écologie des populations, 41(1):69-79

137. **Shinoda K., Yoshida T., 1990.** Life history of the azuki bean weevil Callosobruchus chinensis in the field. In : Bruchids and Legumes: Economics, Ecology and Coevolution (K. Fuji, A.M.R. Gathehouse, C.D. Johnson, R. Mitchell, T.

Yoshida, éds), Kluwer Publications, 149-159.

138. **Shroeder B.K., 2011**. Diseases caused by bacteria and phytoplasma. In: Chen W, Sharma HC, Muehlbauer FJ (eds). Compendium of chickpea and lentil diseases and pests. APS Press, St. Paul, MN, USA, pp 92-94.

139. **Sinaha S. K., and Watters. EL., 1985.** Insectes des minoteries des silos élévateurs, 311 p.

140. **Singh ., Agarwal. (1988).** Himachalol and himachalène: insecticidal principles of Himalayan cedar wood oil. Journal of Chemical Ecology 14: 1145-1151.

141. **Singh .S. 1997.** Comportement de ponte et développement de trois espèces de bruches dans des conditions de terrain. Annals of Plant Protection Sciences, 5(2):214-215

142. **Singh F., Diwakar B., 1995.** Chickpea Botany and Production Practices. Manual. Skill development series no. 16. International Crops Research Institute for the Semi- Arid Tropics Patancheru, Andhra Pradesh, India.

143. **Singh K.B. (1987).** In: The chickpea, pp 127-162 (eds. M.C. Saxena and K.B. Singh) Wallingford, Oxon.

144. **Singh K.B., 1997.** Field crops research, 53:161-170

145. **Singh K.B., Reddy M.V., 1991.** Advances in disease resistance breeding in chickpea. Advanced Agronomy 45: 191–222.

146. **Singh, A. K., Singh, S. S., Prakash, V., Kumar, S. and Dwivedi, S. K. 2015**. Pulses Production in India: Present Status, Bottleneck and Way Forward. J. of Agrisearch. 2(2): 75-83.

147. **Sinha R.H., Watters F.L. 1985.** Insectes des minoteries, des silos élévateurs, 311p.

148. **Slama F., 1998.** 2T 0T2TLes cultures industrielles et les légumineuses à graines0T. Tunis: Ed. CUD.

149. **Smith E .H., Salkeld H.E ., 1966 .** The use and action of ovicides .Annual Rev .Entomol : 11-331-368

150. **Southgate B.J., 1983.** Observation on the larval emergence in species of the genus *Callosobruchus* (Coleoptera: Bruchidae). Entom.Gen, 8(3/4).

151. **Southgate .B.J. 1979.** Biology of the Bruchidae. Annual Review of Entomology, 24 : 449-473.

152. **Summerfield R.J., Roberts E.H., 1985.** Grain Legume Crops. London,

Collins, UK. Pp. 859.

153. **Taleb-Toudert K. 2015.** Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leurs effets sur la bruche de niébé Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae). Thèse doctorat. TiziOuzou. UMMTO, 160p.

154. **Tapondjou L.A., Adler C., Bouda H., Fontem D.A., 2002**. Efficacy of powder and essential oil from Chenopodium ambrosioides leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. Journal of Stored Products Research, 38: 395-402.

155. **Tapondjou L.A., Adler C., Bouda H., Fontem D.A., 2003.** Bioefficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de Chenopodium ambrosioides et Eucalyptus saligna à l'égard de la bruche du niébé, Callosobruchus maculatus Fab. (Coleoptera, Bruchidae). Cahiers Agricultures 12 (6) : 401-417.

156. **Thavarajah D., Ball A.R., Schoenau J.J., 2005.** Nitrogen Fixation, Amino Acid, and Ureide Associations in Chickpea.Crop Science 45:2497-2502, Wageningen, Netherland

157. **Tillard. P ., Drevon. J (1988).**Modulation and introgenase activity of chick pea cultivar INRA, France pp378-39

158. **Toker C., Uzun B., Ceylan F.O., Ikten C., 2014.** Chickpea. In: Alien Gene Transfer in Crop Plants, A. Pratap and J. Kumar Eds., Volume 2, Springer, Dordrecht, pp:121-151.

159. **Toninolli F et Meglioli V. 2013.** Huiles essentielles l'encyclopédie. France. 13: P.531-342.

160. **Van Der Maesen L.J.G., 1972**. Cicer L., A Monograph of The Genus, With Special Reference to the Chickpea (Cicer arietinum L.), Its Ecology and Cultivation. Meded. Landbouwhogesch. Wageningen 72(10): 342p. 18Thttp://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/195431

161. **Van Der-Maessen L. J. G.1984.** "Taxonomy, distribution and evolution of the chickpea and its wild relatives". In "genetic resources and their exploitation, chickpea, faba beans and lentils". pp: 95-104. J. R.WITCOMBE and W.ERCHINE Eds, martinusnighoff Neder lands; for ICARDA, 1984.

162. **Van Der-Maessen L. J. G.1987**. Origin, history and taxonomy of chickpea. In: SAXENA M.C., SINGH K.B., Ed .The Chickpea. pp: 11-37.

163. **Vincent C, Weintraub P., Hallman G.J., Fleurat-Lessard F., 2009**. Insect

management with physical methods in pre- and post-harvest situations. In Integrated Pest Management (E.B. Radcliffe, W.D. Hutchison, R.E. Cancelado, éds), 309-323.

164. **Wackers .FL., Schmale .K., Cardona .CM. and Dorn .S. 1998.** L'effet des compléments alimentaires sur la longévité des parasitoïdes du charançon du haricot *Anisopteromalus calandrae* et *Heterospilus prosopidis.* Dans : Adler C et Schoeller M, Protection intégrée des produits stockés, Zurich, Bulletin OILB-SROP, 21(3):75-82

165. **Wackers .FL., Sommeijer .MJ. (éd.), Francke .PJ. 1998.** Compléments alimentaires pour améliorer la lutte biologique dans les systèmes de stockage : effets des hôtes et du miel sur la longévité des parasitoïdes bruches *Anisopteromalus calandrae* et *Heterospilus prosopidis*. Actes de la 9e réunion des entomologistes expérimentaux et appliqués, Leiden, Pays-Bas. Actes de la section d'entomologie expérimentale et appliquée de la société d'entomologie néerlandaise, 9: 47-52

166. **Wangxi .D., Shicheng .Y. and Ruhai .L. 1998.** Bionomie de *Lariophagus distinguendus* (Foerster) (Hymenoptera : Pteromalidae) parasitant *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera : Bruchidae). [Actes de la 7e Conférence internationale de travail sur la protection des produits stockés], II 1240-1242.

167. **Weaver D.K., Dunkel F.V., Ntezurubanza L., Jackson L.L., Stock D.T. 1991.** The efficacy of linalool, a major component of freshly milled Ocimum canum Sinus (Lamicaeae) for protection against post harvest damage by certain stored product Coleoptera. J. Stored Product. Res.27 (4): 213-220.

168. **Wery J ; Slim S.N ; Kinght E.J ; Malhotra R.S. and Cousin R. 1994**. Screening techniques and sources of tolerance to extremes of moisture and air temperature in cool season food legumes. Euphytica, 73 : 73-83.

169. **Wood J.A, Grusak M.A., 2007.** Nutritional value of chickpea. In Chickpea breeding and management. pp. 101-142 [SS Yadav, R Redden, W Chen and B Sharma, editors]. Wallingford, UK: CAB International.

Résumé

La présente étude a pour objet d'évaluer la toxicité et l'effet de l'huile essentielle extraite de la plante aromatique *Eucalyptus globulus* sur la bruche chinoise *Callosobruchus chinensis* L. âgées de 0 à 24h, par inhalation, répulsion et contact. Les résultats obtenus pour les paramètres étudiés indiquent que l'huile essentielle de l'*Eucaluptus globulus* exerce une toxicité importante vis-à-vis de bruche *C. chinensis*. En effet, le traitement par inhalation s'est avéré efficace, dès la plus faible dose (0.5µl) une mortalité de 100% est enregistrée après 24h d'exposition. Par ailleurs, cette huile présente une activité insecticide très répulsive (96,67%). Le traitement par contact a montré que la mortalité des adultes de *C. chinensis* augmente avec l'augmentation des doses de l'huile *Eucalyptus globulus.* La fécondité des femelles de *C. chinensis* est réduite à 1,25% à la plus forte dose (3µl) de l'huile essentielle de l'*Eucalyptus globulus.* Aussi, le taux d'éclosion des œufs est réduit à 5% à la plus forte dose testée (3µl) de l'HE tout en inhibant le taux d'émergence des adultes de la bruche chinoise.

Mots-clés : *Callosobruchus chinensis*, *Eucalyptus globulus*, *Cicer arietinum*, huiles essentielles, toxicité.

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the toxicity and the effect of the essential oil extracted from the aromatic plant *Eucalyptus globulus* upon the pulse beetle *Callosobruchus chinensis* L. of 0 to 24 hours old, by inhalation, repulsion and contact. The results obtained for the parameters studied indicate that *Eucalyptus globulus* essential oil has a significant toxicity against the weevil *C. chinensis*. Inhalation treatment was more effective since the lowest dose (0.5µl) recording a mortality of 100% after 24 hours of exposure. This essential oil showed a very repellent insecticidal activity (96,67%). Contact treatment showed that adult mortality of *C. chinensis* increased with increasing doses of *Eucalyptus globulus* essential oil. The fertility of *C. chinensis* females was reduced to 1.25% at the highest dose (3µl) of *Eucalyptus globulus* essential oil as well as, the hatching rate of the eggs which was reduced to 5% inhibiting the emergence rate of *C. chinensis* adults.

Keywords: *Callosobruchus chinensis*, *Eucalyptus globulus*, *Cicer arietinum*, essential oils, toxicity.

Introduction

Chapitre I: Présentation de la plante hôte *Cicer arietinum* L

Chapitre II: Présentation de l’insecte *Callosobruchus chinensis*

Chapitre III: Huiles essentielles

Chapitre IV: Matériel et méthodes

Conclusion

Références bibliographiques

Résultats et discussions