

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE 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



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Sciences Biologiques.
Option : Ecologie et biodiversité animales des écosystèmes continentaux.

Sujet

Action des poudres et des huiles de quelques plantes aromatiques sur les paramètres biologiques de la bruche du Haricot, *Acanthoscelides obtectus* Say. (Coleoptera : Bruchidae)

Présenté par : HAMDANI Djilali

Devant le jury :

KELLOUCHE Abdellah	Professeur	UMMTO	Président
MEDJDOUB Ferroudja	Maître de conférences	UMMT	Rapporteur
AMROUN Mansour	Maître de conférences	UMMTO	Examineur
SADOUDI Djamilia	Maître de conférences	UMMT	Examinatrice
AOUAR Malika	Maître de conférences	UMMTO	Examinatrice

Soutenu le: 21/10/2012

REMERCIEMENT

Je remercie tout d'abord le bon dieu, le tout puissant de m'avoir donné la chance, la patience, le courage pour achever ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus profonds et les plus chaleureux à madame MEDJDOUB-BENSAAD F. Maitre de conférence à l'université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou pour avoir suivi et dirigé ce travail, pour sa disponibilité et tous les précieux conseils qu'elle m'a prodigué tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à monsieur le Professeur KELLOUCHE A. pour ses conseils ainsi que d'avoir accepté de présider ce jury, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Je remercie également Mr AMROUN M., Mme SADOUDI-ALI AHMED D. et Mme AOUAR-SADLI M., maitres de conférences A au département de Biologie à l'Université de Tizi-Ouzou qui ont accepté d'examiner ce travail.

Mes meilleurs, sincères et profonds remerciements s'adressent à M^{me} KHELFAANE-GOUCEM Karima, maitre assistante et chargée de cours à la faculté des sciences Agronomiques et Biologiques pour son aide précieuse.

Je tiens aussi à remercier Samir, Kahina, Nassima, Leila, Messaoud ainsi que toute ma promotion et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

La toxicité des huiles essentielles, ainsi que des poudres de feuilles, extraites de 4 espèces de *Citrus* (*C. sinensis*, *C. paradisi*, *C. limonum*, *C. aurantium*) a été testée vis-à-vis de la bruche *Acanthoscelides obtectus*, afin d'évaluer quelques paramètres biologiques de l'insecte à savoir la longévité, la fécondité, l'éclosion des œufs et l'émergence des adultes. Les essais à savoir le test d'inhalation, le test de répulsion et le test par contact sur des graines d'haricot commun traitées ont été réalisés dans les conditions de laboratoire (30°C et 70% HR).

L'étude réalisée nous permet de conclure que la durée moyenne du cycle biologique de l'insecte, dans les conditions de notre expérimentation est de 30±2 jours. L'incubation dure 6±1 jours tandis que les 4 stades larvaires et la nymphose ont une même durée de développement qui est 12±1 jours.

Les résultats obtenus pour les paramètres étudiés indiquent que les huiles essentielles et les poudres extraites du citronnier, de l'oranger et du pamplemoussier exercent une toxicité plus ou moins importante vis-à-vis d'*A. obtectus* pour l'ensemble des tests effectués, cependant l'huile et la poudre extraite du bigaradier sont les plus efficace contre la bruche du haricot.

Mots – clés : *Acanthoscelides obtectus*, Haricot commun, *Citrus*, toxicité, huiles essentielles, poudres.

Abstract

The toxicity of essential oils and powders of sheets, extracted from 4 species of *Citrus* (*C. sinensis*, *C. paradisi*, *C. limonum*, *C. aurantium*) was tested towards the bean beetle *Acanthoscelides obtectus*, in order to evaluate some biological parameters of the insect which are the longevity, the fertility, the hatching of eggs and the emergence of the adults. The tests (test of inhalation, test of repellent and test by contact on treated seeds of bean) were realized in the conditions of laboratory (30°C and 70 % RH).

The study carried out allows us to conclude that the average duration of the biological cycle of the insect, in the conditions of our experimentation is of 30 ± 2 days. The incubation is of 6 ± 1 days whereas the four embryonic stages and the nymphosis have the same duration of development which is 12 ± 1 days.

The results obtained for the studied parameters indicate that essential oils and powders extracted from the lemon tree, from the orange tree and from the grapefruit tree exercise a more or less important toxicity toward *A. Obtectus* for all the made tests. However the oil and the powder extracted from the bitter orange tree are the most effective against the bean beetle.

Keywords: *Acanthoscelides obtectus* , bean, *Citrus*, toxicity, essential oils, powders.

Sommaire

Pages

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude de la plante hôte	3
Introduction.....	3
I.1. Origine et répartition géographique.....	3
I.2. Position systématique	4
I.3. Ecologie du <i>Phaseolus</i>	4
I.4. Caractères botanique.....	4
I.5. Classification variétale.....	6
I.6. Valeur nutritionnelle.....	7
I.7. Intérêt agronomique.....	8
I.8. Aspect économique.....	9
I.9. Ennemis ravageurs et maladies de <i>Phaseolus vulgaris</i>	10
I.10. Conditions et méthodes de stockage.....	12
I.10.1. Conditions de stockage.....	12
I.10.2. Méthodes de stockage.....	13
Chapitre II : Etude de l'insecte <i>Acanthoscelides obtectus</i>	15
II.1. Généralités sur les insectes phytophages.....	15
II.2. Présentation de la famille des Bruchidae.....	15
II.3. Systématique de la bruche du haricot.....	17
II.4. Origine et répartition géographique.....	17
II.5. Description des différents états et stades de développement.....	17
II.6. Le dimorphisme sexuel.....	20
II.7. Biologie d' <i>Acanthoscelides obtectus</i>	21
II.8. Les ennemis naturels d' <i>Acanthoscelides obtectus</i>	26
II.9. Dégâts causés par la bruche.....	26
Chapitre III : Méthodes de lutte	28
Introduction.....	28
III.1. La lutte préventive.....	28
III.2. La lutte curative.....	29
III.2.1. Lutte physique.....	29
III.2.2. Lutte chimique.....	30
III.3. La lutte biologique.....	31
III.4. La phytothérapie.....	32
III.4.1. Extraits organiques.....	32
III.4.2. Extraits aqueux	32
III.4.3. Poudres des plantes.....	33
III.4.4. Résistance variétale.....	34
III.4.5. Huiles végétales.....	34
III.4.6. Huiles essentielles.....	35
III.4.6.1. Définition.....	35
III.4.6.2. Composition chimique des huiles essentielles.....	35
III.4.6.3. Effets physiques et physiologiques des huiles essentielles.....	36
III.4.6.4. Action des huiles essentielles.....	36
III.4.6.5. Procédés d'extraction des huiles essentielles.....	38

Chapitre IV : Matériel et méthodes	39
IV.1. Matériel.....	39
IV.1.1. Matériel du laboratoire.....	39
IV.1.2. Matériel biologique.....	40
IV.1.2.1. Bruches et les graines du haricot.....	40
IV.1.2.2. Matériel végétal.....	40
1.2.2.1. Généralités sur les <i>Citrus</i> (Agrumes)	40
1.2.2.2. Description de quelques espèces de <i>Citrus</i> utilisées.....	40
1.2.2.3. Huiles essentielles.....	41
1.2.2.4. Poudres végétales.....	45
IV.2. Méthodes.....	46
2.1. Elevage de masse dans une étuve.....	46
2.2. Le cycle biologique.....	47
2.3. Tests biologiques.....	47
IV.2.3.1. Traitement par contact.....	47
IV.2.3.2. Test de répulsion.....	52
IV.2.3.3. Test d'inhalation.....	54
IV.2.3.4. L'analyse statistique.....	55
Chapitre V : Résultats et discussion	56
V.1. Cycle biologique.....	56
V.2. Evaluation de l'efficacité des huiles essentielles et poudres de quatre Citrus sur les adultes d' <i>A. obtectus</i>	59
V.2.1. Test par contact.....	59
2.1.1. Action des huiles sur la longévité des adultes d' <i>A. obtectus</i>	59
2.1.2. Action des poudres sur la longévité des adultes d' <i>A. obtectus</i>	62
2.1.3. Action des huiles sur la fécondité des femelles d' <i>A. obtectus</i>	65
2.1.4. Action des poudres sur la fécondité des femelles d' <i>A. obtectus</i>	67
2.1.5. Action des huiles sur l'éclosion des œufs d' <i>A. obtectus</i>	70
2.1.6. Action des poudres sur l'éclosion des œufs d' <i>A. obtectus</i>	73
2.1.7. Action des huiles sur l'émergence des adultes d' <i>A. obtectus</i>	75
2.1.8. Action des poudres sur l'émergence des adultes d' <i>A. obtectus</i>	77
2.1.9. Action des huiles sur la perte en poids des graines du haricot.....	79
2.1.10. Action des poudres sur la perte en poids des graines du haricot.....	82
2.1.11. Action des huiles sur la faculté germinative des graines du haricot.....	84
2.1.12. Action des poudres sur la faculté germinative des graines du haricot.....	86
V.3. Effet des huiles essentielles par répulsion.....	88
V.4. Effets des huiles par inhalation.....	91
Conclusion	96
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie de <i>Phaseolus vulgaris</i> (Anonyme, 2009).....	6
Figure 2 : Quelques variétés de haricot (PARK, 1996 in BOUCHIKHITANI, 2006).....	7
Figure N°3 : Bruchidae, dessin des genres et de leurs caractères distinctifs (WEIDNER et RACK, 1984).....	16
Figure 4 : Œufs d' <i>A. obtectus</i> (G :2 ×10) (Originale, 2012).....	18
Figure 5 : Différents stades larvaires chez <i>A. obtectus</i> observés avec une loupe binoculaire (G : 2×10) (Originale, 2012).....	19
Figure 6 : Différents stades de nymphose chez <i>A.obtectus</i> (G: 2×10)(Originale, 2012).....	19
Figure 7 : vue dorsale d' <i>A.obtectus</i> (G: 2×10)(Originale, 2012).....	20
Figure 8 : Dimorphisme sexuel chez <i>A. obtectus</i> (G : 2×10) (Originale, 2012).....	21
Figure 9 : Méthode d'accouplement chez <i>A. obtectus</i> (G : ×10) (Originale, 2012).....	22
Figure 10 : Position de ponte de la femelle d' <i>A. obtectus</i> (G :2 ×10) (Originale, 2012).....	23
Figure 11 : Graines d'haricot endommagés par <i>A. obtectus</i> (Originale, 2012).....	27
Figure 12 : Matériel utilisé au laboratoire (Original, 2012).....	39
Figure 13 : Elevage de masse de la bruche du haricot dans des bocaux en verres (Original, 2012).....	46
Figure 14 : Dispositif expérimental du test par contact pour les différentes huiles essentielles de quatre <i>Citrus</i> et leurs témoins (Originale, 2012).....	48
Figure 15 : Dispositif expérimental du test par contact pour les différentes poudres de quatre <i>Citrus</i> et leurs témoins (Originale, 2012).....	50
Figure 16 : Dispositif expérimental du test de germination des graines traitées avec les huiles et les poudres des quatre <i>Citrus</i> (Originale, 2012).....	51
Figure 17 : Dispositif expérimental du test de répulsion des huiles essentielles de citrus (Originale, 2012).....	53
Figure 18 : Dispositif expérimental du test d'inhalation à l'égard des adultes d' <i>A.obtectus</i> (Originale, 2012).....	54
Figure 19 : Cycle de vie d' <i>Acanthoscelides</i> sur les graines du haricot dans les conditions de laboratoire (Originale, 2012).....	57
Figure 20 : Longévité moyenne des adultes d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.....	59
Figure 21 : Longévité moyenne des adultes d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.....	62

Figure 22 : Fécondité moyenne des femelles d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.....	65
Figure 23 : Fécondité moyenne des femelles d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.....	68
Figure 24 : Nombre moyen d'œufs éclos d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.....	70
Figure 25 : Nombre moyen d'œufs éclos d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.....	73
Figure 26 : Nombre moyen d'émergence des adultes d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.....	76
Figure 27 : Nombre moyen d'émergence des adultes d' <i>A. obtectus</i> selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.....	78
Figure 28 : Pertes en poids (g) des graines du haricot en fonction des doses et de type d'huile utilisé.....	80
Figure 29 : Pertes en poids (g) des graines du haricot en fonction des doses et de type de poudre utilisé.....	82
Figure 30 : Taux de germination des graines du haricot en fonction des doses et de type d'huile utilisé.....	84
Figure 31 : Taux de germination des graines du haricot en fonction des doses et de type d'huile utilisé.....	87
Figure 32 : Taux moyen de répulsion des adultes d' <i>A.obtectus</i> en fonction des huiles essentielles utilisées.....	89
Figure 33 : Mortalité (%) des adultes d' <i>A. obtectus</i> traités par les huiles de <i>Citrus</i> en fonction des doses et la durée de traitement.....	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle moyenne de 100g et valeur énergétique (Kcal/100g) de <i>P. vulgaris</i> (ANONYME, 1995).....	8
Tableau 2 : Superficies et productions du haricot sec en Algérie (MADR).....	9
Tableau 3 : Les principaux ravageurs qui attaquent le haricot (CHAUX et FOURY, 1994).	10
Tableau 4 : Les maladies du haricot et moyens de lutte (NYABYENDA, 2005	11
Tableau 5 : Teneur en humidité de différents types de produit favorable au stockage (HAYMA, 2004)	13
Tableau 6 : Quelques extraits aqueux utilisés dans la protection des denrées stockées (GWINNER et <i>al.</i> , 1996).....	33
Tableau 7 : Quelques poudres extraites des végétaux et leurs effets sur les ravageurs (GWINNER et <i>al.</i> , 1996).....	33
Tableau 8 : Quelques huiles essentielles, organe d'extraction et leurs effets insecticides (SINGH et TAYLOR, 1978; DON-PEDRO, 1985).....	37
Tableau 9 : Activités de quelques monoterpènes des huiles essentielles sur <i>Acanthoscelides obtectus</i> (REGNAULT- ROGER et <i>al.</i> , 2002).....	37
Tableau 10 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du citron.....	42
Tableau 11 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite de l'orange douce	43
Tableau 12 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du pamplemousse.....	44
Tableau 13 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du Petit Grain Bigarade.....	45
Tableau 14 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc DONALD et <i>al.</i> (1970).....	52
Tableau 15 : Durée des différentes phases du cycle de vie d' <i>A. obtectus</i> dans les graines du haricot.....	58

Tableau 16 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur la longévité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	60
Tableau 17 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose d'huile, sur la longévité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	60
Tableau 18 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur la longévité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	63
Tableau 19 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de poudre, sur la longévité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	63
Tableau 20 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur la fécondité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	66
Tableau 21 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose d'huile, sur la fécondité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	66
Tableau 22 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur la fécondité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	68
Tableau 23 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de poudre, sur la fécondité des adultes d' <i>A.obtectus</i>	69
Tableau 24 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur l'éclosion d'œufs d' <i>A.obtectus</i>	71
Tableau 25 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de l'huile, sur l'éclosion d'œufs d' <i>A.obtectus</i>	71
Tableau 26 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur l'éclosion d'œufs d' <i>A.obtectus</i>	74
Tableau 27 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de la poudre, sur l'éclosion d'œufs d' <i>A.obtectus</i>	74
Tableau 28 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de l'huile sur l'émergence des adultes d' <i>A.obtectus</i>	76
Tableau 29 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur l'émergence des adultes d' <i>A.obtectus</i>	78

Tableau 30 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de la poudre sur l'émergence des adultes d' <i>A.obtectus</i>	79
Tableau 31 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur la perte en poids des graines du haricot.....	80
Tableau 32 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de l'huile sur la perte en poids des graines.....	81
Tableau 33 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur la perte en poids des graines du haricot.....	83
Tableau 34 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de la poudre sur la perte en poids des graines.....	83
Tableau 35 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur la germination des graines du haricot.....	85
Tableau 36 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de l'huile sur la germination des graines.....	85
Tableau 37 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur poudre, sur la germination des graines du haricot.....	87
Tableau 38 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur dose de la poudre sur la germination des graines du haricot.....	88
Tableau 39 : Nombre moyen de bruches recensés dans le papier filtre à différentes doses pour les huiles utilisées.	89
Tableau 40 : Classement des huiles essentielles selon leurs propriétés répulsives.....	90
Tableau 41 : Taux moyen de mortalité (%) des adultes d' <i>A.obtectus</i> testés avec les huiles de Citrus en fonction des doses et la durée du traitement.....	91
Tableau 42 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de facteur huile, sur la mortalité des individus d' <i>A.obtectus</i> testés par inhalation.....	93
Tableau 43 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de l'huile sur la mortalité des adultes d' <i>A.obtectus</i> testés par inhalation.....	93
Tableau 44 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de la durée de traitement sur la mortalité des adultes d' <i>A.obtectus</i> testés par inhalation.....	94

Les Légumineuses font partie de l'alimentation traditionnelle et constituent la principale source de protéines disponibles localement dans les pays en voie de développement. Elles présentent une grande importance alimentaire, économique et agronomique. Parmi ces Légumineuses figurent les haricots, les pois, les pois chiches, les fèves (dont les fêveroles) et les lentilles.

Elles sont présentes dans le régime alimentaire de plusieurs millions de personnes dans le monde entier. Elles sont riches en protéines (teneur deux à trois fois plus élevée que la plupart des céréales), constituent une bonne source d'énergie et fournissent de nombreux éléments minéraux essentiels comme le fer et le calcium. Dans la plupart des pays à faibles revenus, près de 10% de la consommation journalière de protéines et près de 5% de l'apport énergétique proviennent de Légumineuses (ANONYME, 2002).

En Algérie, la culture des Légumineuses a un intérêt national, car elle doit permettre de satisfaire les besoins alimentaires, réduire les importations et limiter la dépendance économique vis-à-vis de l'étranger (ZAGHOUANE, 1997).

Malheureusement ces plantes se caractérisent très souvent par des rendements faibles et instables. Cela s'explique, en particulier, par leur sensibilité aux contraintes biotique et abiotiques (GEERTS et *al.*, 2011). En effet, les cultures de haricots sont sujettes à de nombreuses attaques de ravageurs et maladies qui peuvent entraîner d'importants dégâts en l'absence de moyens de lutte appropriés (SILUE et *al.*, 2010).

Parmi les insectes ravageurs, la bruche du haricot, *Acanthoscelides obtectus* Say, est un insecte cosmopolite potentiellement ubiquitaire, pouvant infester sa plante hôte *Phaseolus vulgaris* à la fois au champ et au stock. Elle infeste même d'autres Légumineuses originalement non-hôtes telles que le niébé (*Vigna unguiculata*), la fève (*Vicia faba*) et le pois chiche (*Cicer arietinum*) qui sont également des plantes vivrières d'importance économique pour les pays en développement (REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI, 1997).

Il est donc nécessaire de rechercher des méthodes de contrôle efficaces des populations d'insectes ravageurs afin de limiter les pertes, dues aux Coléoptères Bruchidae, qui sont parmi les principaux ravageurs des graines.

Les produits stockés sont généralement protégés par l'application d'insecticides ou des fumigants mais la présence, dans les denrées, de résidus toxiques et l'apparition de souches d'insectes résistants à ces insecticides deviennent de plus en plus fréquents.

Dans la recherche de méthodes alternatives de lutte, le règne végétal offre beaucoup de possibilités. De nombreuses études se développent actuellement pour isoler ou identifier des substances secondaires extraites de plantes qui ont une activité insecticides, répulsive ou antiappétante vis-à-vis des insectes (LICHTENSTEIN, 1996).

Certaines plantes, grâce à leurs effet insecticides vis-à-vis des Bruchidae, ont fait l'objet de nombreuses études afin de pouvoir réduire les pertes occasionnées par les insectes ravageurs sur les graines stockées (RAJAPAKSE, 1996 ; TUNC *et al.*, 2000 ; KEITA *et al.*, 2001). Les fruits des agrumes (citron, orange, petit grain bigarade, pamplemousse,...) possèdent une grande résistance aux attaques d'insectes et pourraient contenir des substances efficaces contre ces ravageurs (HAUBRUGE *et al.*, 1989).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, nous nous sommes proposés d'étudier dans un premier temps le cycle biologique d'*Acanthoscelides obtectus* et dans un deuxième temps d'évaluer la toxicité des poudres et des huiles essentielles extraites de 04 espèces de *Citrus* (*C. limonum*, *C. sinensis*, *C. paradisi* et *C. aurantium amara*) sur quelques paramètres biologiques d'*A. obtectus* notamment la longévité des adultes, la fécondité des femelles, l'éclosion des œufs, l'émergence des adultes ainsi que certains paramètres agronomiques en relation avec la plante hôte tels que la faculté germinative et la perte en poids des graines. L'activité de ces produits a été évaluée par différents essais tel que le test par contact, test d'inhalation et test de répulsion. Ces tests ont été réalisés dans les conditions de laboratoire à une température de 30°C et une humidité relative de 70 %.

Après cette introduction générale, plusieurs parties sont à distinguer dans notre travail : les chapitres I, II et III présentent respectivement la plante hôte (*Phaseolus vulgaris*), l'insecte ravageur (*Acanthoscelides obtectus*) et les méthodes de lutte. Le chapitre IV présente le matériel utilisé dans nos expérimentations ainsi que les méthodes adoptées. Les résultats obtenus sont présentés et discutés dans le chapitre V qui se termine par une conclusion générale.

Introduction

L'haricot est l'une des Légumineuses alimentaires qui a suscité un débat controversé sur son éthologie et son origine dans l'histoire (CHAUX et FOURY, 1994). Le terme *Phaseolus* était utilisé par les anciens grecs puis, dans les langues romaines cette plante fut appelée fasiolo, fugol, fugol, fesol, fasole (GIBAULT, 1896).

I.1. Origine et répartition géographique

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* L., a été domestiqué en Amérique centrale et en Amérique du Sud il y a plus de 9 700 ans. Des graines sèches furent introduites et semées au XVI^e siècle en Europe puis, sa culture s'est rapidement diffusée dans les zones méditerranéennes et subtropicales (PERON, 2006).

L'haricot commun est produit principalement en Amérique latine et en Afrique ; il est répandu surtout dans la zone Amazonienne du Brésil, dans les Cordillères des Andes et en Amérique centrale, tandis qu'en Afrique, il est produit principalement en Afrique centrale et Orientale (NYABYENDA, 2005).

La domestication s'est produite indépendamment au Mexique et au Guatemala d'une part, et au Pérou et dans les pays voisins d'autre part. Des écotypes à petites graines sont présents à l'état sauvage au nord de l'Argentine et en Amérique centrale (GENTRY, 1969).

D'après PERON (2006), des graines sèches furent introduites et semées au XVI^e siècle en Espagne et *P. vulgaris* se diffusa ensuite en France. Les gousses immatures ne tardèrent pas à devenir un légume apprécié en Europe. La consommation des gousses vertes a été rendue possible grâce à une réduction considérable du parchemin, tissu constitué de fibres entrecroisées dans la paroi du fruit.

Ce caractère à hérédité polygénique fut amélioré par sélection en Europe aux XVIII^e et XIX^e siècles. Les fibres dures qui se trouvent sur les deux sutures (les fils) furent tout d'abord éliminées grâce à une mutation dominante apparue spontanément au XIX^e siècle. Mais plusieurs gènes influent sur la présence de fils et ce caractère est plus ou moins lié à la rectitude de la gousse ; ce n'est que récemment que des haricots verts à gousses longues, droites et régulièrement sans fils ont pu être sélectionnés avec succès (FOUILLOUX et BANNEROT, 1992).

Aujourd'hui produit dans le monde entier, le haricot se trouve dans tous les pays d'Afrique tropicale. Il est davantage apprécié dans les pays francophones qu'anglophones, davantage dans les zones urbaines que rurales, plutôt dans les hautes terres que dans les basses terres et en saison fraîche plutôt qu'en saison chaude (GENTRY, 1969).

I.2. Position systématique

Le haricot, *P. vulgaris* L., appartient à la tribu des *Phaseolus* dont le nombre chromosomique est $2n = 22$ (CHAUX et FOURY, 1994).

Selon GUIGNARD (1998), la position systématique du haricot est la suivante :

- Règne :..... Végétal.
- Embranchement :..... Spermaphytes.
- Sous embranchement :..... Angiospermes.
- Classe :.....Dicotylédones.
- Ordre :.....Fabales.
- Famille :..... Fabacées.
- Genre :.....*Phaseolus*.
- Espèce :.....*Phaseolus vulgaris* L.

I.3. Ecologie du *Phaseolus*

Phaseolus vulgaris est bien adapté aux altitudes de 1500–2000 m. Il peut toutefois se cultiver à basse altitude, à condition que les températures journalières maximales ne dépassent pas 30°C, comme c'est le cas au Sahel pendant la saison sèche d'hiver. La plupart des cultivars de haricot vert sont sensibles à l'acidité du sol et à la toxicité due à l'aluminium, le pH optimal est de 6,1–7,6 (MESSIAEN, 1992).

Dans les régions africaines où la culture de l'haricot est une tradition, il se peut que la fixation d'azote par *Rhizobium* sp ne réussisse pas à garantir une croissance normale, car les cultivars modernes sont sélectionnés sur des sols européens très riches en nitrates. Le haricot est sensible à la salinité et à un excès de bore dans le sol. Sur les sols argileux lourds, il peut y avoir des problèmes de germination si on arrose entre le semis et la levée (GENTRY, 1969).

I.4. Caractères botaniques

L'espèce *P. vulgaris* est une plante annuelle à végétation rapide, son cycle est de 90 à 120 jours (PERON, 2006).

C'est une plante constituée par l'assemblage de trois organes fondamentaux : la tige, les feuilles et les racines, formant ensemble l'appareil végétatif tandis que les deux organes qui sont le fruit et la fleur forment ensemble l'appareil reproducteur.

I.4.1. Feuille

Les feuilles de *Phaseolus* sont entières, légèrement pubescentes à trois nervures qui partent de la base. Cette plante possède deux types de feuilles. Elle forme sur le deuxième nœud deux premières feuilles appelées feuilles primaires. C'est à partir du troisième nœud qu'elle développe les feuilles typiques du haricot.

D'après GALLAIS et BENNFORT (1992), les deux premières feuilles sont simples et s'attachent face à face sur la tige alors que toutes celles qui suivent sont trifoliolées disposées d'une façon alterne, habituellement ovales et mesurent entre 7,5 et 14 cm de long sur 5,5 à 10 cm de large, les folioles latérales sont asymétriques, la centrale est symétrique.

I.4.2. Racine

Selon CHAUX et FOURY (1994), la racine d'haricot se forme progressivement après le stade de germination, elle est formée par une racine principale et des radicelles de plus en plus fines, l'ensemble fixe la plante au substrat édaphique. Elle est pivotante et capable d'aller chercher l'eau profondément dans le sol.

La racine principale n'est pas longtemps dominante et sa croissance peut être facilement stoppée par les obstacles du sol. Toutefois les racines latérales ont un développement qui peut évoluer pour dépasser celui de la racine principale.

Les racines présentent des renflements ou nodosités. Elles sont le siège de phénomènes de nodulation par symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium* qui peut fixer l'azote atmosphérique et fournir de l'ammonium (GUIGNARD, 1998).

I.4.3. Fleur

Les fleurs d'haricot présentent l'architecture propre à la famille des Fabacées. Elles sont portées sur des grappes axillaires courtes, de 4 à 10 fleurs. La corolle papilionacée, présente un étendard verdâtre à carmin, deux ailes blanches à lilas et une carène de même couleur.

Chez le haricot, la fleur reste naturellement fermée. Exceptionnellement, certains hyménoptères (bourdons) parviennent à forcer l'obstacle de la corolle, permettant ainsi l'introduction d'un pollen étranger dans la fleur (figure 1) (CHAUX et FOURY, 1994).

I.4.4. Gousses

Selon GUIGNARD (1998), les gousses sont allongées, leur couleur varie selon les cultivars, du vert pâle ou du jaune au vert foncé. Elles sont parfois tachées de couleurs diverses à maturité et peuvent être renforcées par des fibres ligneuses formant un parchemin sur les côtés.

La longueur des gousses varie en fonction de la variété et en fonction du nombre et de l'espacement entre les graines. Chaque gousse renferme deux à douze graines (CHAUX et FOURY, 1994).

I.4.5. Graines

Elles sont réniformes, arrondies à ovales plus ou moins allongées. Le tégument peut être noir, blanc ou revêtis de différentes nuances de jaune, brun, rouge, ou rose selon les variétés (CHAUX et FOURY, 1994).



Les feuilles



La fleur



Les gousses



Les graines

Figure 1 : Morphologie de *Phaseolus vulgaris* (ANONYME, 2009)

I.5. Classification variétale

Les travaux d'amélioration et de création variétale exploitent la variabilité intra et interspécifique (CHAUX et FOURY, 1994).

A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se révèle par l'autogamie. Elle caractérise le port des plantes, la forme, les couleurs des fleurs, des graines, des gousses et bien d'autres traits morphologiques ou physiologiques (figure 2).

Les croisements interspécifiques avec les autres espèces sont difficiles à réaliser et n'ont été que peu utilisés en sélection (GALLAIS et BENNFORT, 1992).

Selon CHAUX et FOURY (1994), la classification variétale des haricots cultivés pour le genre *Phaseolus* a été vue et classée par plusieurs botanistes, elle repose essentiellement sur :

- Le mode de croissance : indéterminée ou apparemment déterminée.
- La structure de la graine et de la gousse qui détermine la nature de l'organe consommé.

Les travaux de sélection ont donné naissance à un grand nombre de nouveaux cultivars, mieux adaptés aux exigences de la production moderne.



Figure 2: Quelques variétés de haricot (PARK, 1996 in BOUCHIKHI TANI, 2006).

I.6. Valeur nutritionnelle

L'alimentation quotidienne de chaque individu doit lui apporter une quantité suffisante des différents macronutriments (protéine, lipide et glucide) et micronutriments (vitamines, sels minéraux...) pour assurer la couverture de l'ensemble de ses besoins. La valeur alimentaire des graines de Légumineuses dépend de leur composition chimique et principalement de la teneur et de la qualité de leur protéine brute (DEMOL, 2002).

Etant riche en protéines, l'haricot joue un grand rôle dans la couverture des besoins alimentaires en protéines pour les populations des pays en voie de développement et compense le manque de source de protéines animales pour une grande partie de la population (NYABYENDA, 2005).

La teneur en protéine de la plupart des graines des Légumineuses est de 20 à 25% du poids sec, celles du haricot est estimée à 22%, en outre elles possèdent des minéraux importants comme le fer, le calcium et des vitamines. Leurs teneurs élevées en amidon leur donne une valeur énergétique nette et élevée, proche de celle de blé (HUIGNARD *et al.*, 2011). Le tableau 1 présente les valeurs nutritionnelles et énergétiques du haricot.

Tableau 1 : Valeur nutritionnelle moyenne de 100g et valeur énergétique (Kcal/100g) de *P. vulgaris* (ANONYME, 1995).

	Haricot blanc sec	Haricot blanc cuit	Haricot blanc appertisé
Énergie	265 kcal	102 kcal	94 kcal
Protéines	21,1 g	7 g	6,7 g
Glucides	41,4 g	16,9 g	15,7 g
Lipides	1,2 g	0,5 g	0,3 g
Fibres	18,1 g	8 g	4,4 g
Sodium	15 mg	5 mg	4 mg
Potassium	1 450 mg	460 mg	362 mg
Phosphore	350 mg	140 mg	84 mg
Calcium	165 mg	60 mg	71 mg
Magnésium	180 mg	50 mg	39 mg
Fer	7 mg	2,6 mg	2,8 mg
Vitamine B1	0,5 mg	0,13 mg	0,1 mg
Vitamine B9	300 µg	80 µg	60 µg
Vitamine B5	0.8 mg	0.24 mg	0.17 mg
Vitamine B6	0.5 mg	0.13 mg	0.07 mg

I.7. Intérêt agronomique

La fertilisation, fondée sur le principe « nourrir le sol pour nourrir la plante », repose sur la fumure organique en utilisant le fumier, les déchets organiques divers le plus souvent compostés et les engrais verts (plantes cultivées puis enfouies dans le sol).

Les cultures de Légumineuses (plantes capables de fixer l'azote de l'air) permettent d'enrichir le sol en azote. L'haricot fait partie du groupe des cultures capables de fixer et d'utiliser l'azote atmosphérique grâce au *Rhizobium* situé dans les nodosités (BALON et KIMON, 1985 ; DOUCET, 1992 et ROLAND, 2002).

Les éléments nutritifs sont rendus disponibles pour les plantes par la minéralisation des matières organiques dans le sol, ce qui explique l'importance accordée par les cultures de Légumineuses à la vie biologique dans les sols (micro-organismes, vers de terre, racines).

Dans les sols très pauvres en azote, telles que les zones tropicale, les Légumineuses peuvent être efficaces comme alternative à la fertilisation notamment dans les pays en voie de développement (ROLAND, 2002).

I.8. Aspect économique

P. vulgaris est une Légumineuse alimentaire fondamentale dans de nombreux pays d'Afrique. Il s'agit, pour les familles de cette région, d'une source importante de protéines, de fer, de zinc et de fibres. En tant que Légumineuse, sa culture améliore la fertilité des sols, ainsi que l'approvisionnement alimentaire et les revenus des ménages. Les agriculteurs l'apprécient particulièrement car elle pousse vite et peut facilement s'associer à d'autres cultures.

Le haricot représente une source de revenus importante pour des millions de personnes notamment dans les milieux ruraux. Il constitue la principale Légumineuse alimentaire de plus de 300 millions de personnes en Amérique latine, en Afrique centrale et en Afrique de l'Est (SILUE *et al.*, 2010).

Durant la période allant de 1994 à 2004 la production mondiale de haricot sec a connu des fluctuations mais la tendance est légèrement à la hausse. Pendant cette période, la production a varié d'un plancher de 15,5 millions de tonnes à un sommet de 18,9 millions de tonnes (FAO, 2004 in KASSEMI, 2006).

D'après le ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR), l'Algérie a mis en œuvre, un plan d'action visant l'augmentation de la production agricole et ceci par l'intensification de la culture des céréales et des Légumineuses. La production moyenne pour l'Algérie a été estimée à 0,72 t/ha avec une surface totale d'environ 1616 hectares en 2009 (tableau.2).

Tableau 2 : Superficies et productions du haricot sec en Algérie (MADR).

Années	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie (hectares)	1206	1596	1394	1040	1616
Production (quintaux)	6660	9145	9170	5441	11588

I.9. Ennemis ravageurs et maladies de *Phaseolus vulgaris*

Au cours du temps, les cultivateurs de l'haricot ont développé de nombreuses pratiques pour limiter l'expansion et les dégâts des différentes espèces d'organismes appelés «ravageurs» ou «bioagresseurs». Le tableau 3 récapitule les méthodes de lutttes vis-à-vis de différents ravageurs de *Phaseolus vulgaris*.

A l'instar de toutes les espèces de Légumineuses, *P. vulgaris*, est sensible à de nombreuses maladies fongiques, virales et bactériennes. L'impact de ces maladies est très variable selon la gravité des symptômes provoqués sur la plante hôte. Il est dû en grande partie à l'absence de moyens de lutte curatifs, ce qui explique l'essor de la prévention par différentes méthodes pragmatiques (tableau 3).

Tableau 3 : les principaux ravageurs qui attaquent le haricot (CHAUX et FOURY, 1994).

Ravageurs	Principales méthodes de lutte
MYRIAPODES (Iules, Scutigérelles)	-L'enrobage des graines contre la mouche des semis permet de lutter contre les myriapodes.
ACARIEN JAUNE <i>Tetranychus urticae</i>	-Intérêt de l'irrigation par aspersion. Sur l'attaque déclarée : traitement par acaricide actif sous formes mobiles et œufs et à faibles doses : bifenthrine, dicofol, fenbutatin oxyde, hexythiazox.
PUCERON NOIR DE LA FEVE <i>Aphis fabae</i>	-Traitement aphicide précoce en combinant ou alternant les familles chimiques a fin d'éviter l'apparition de phénomènes de résistance.
PUCERON DES RACINES <i>Trifidaphis phaseoli</i>	-Si l'attaque est très importante, on recommande la lutte par incorporation au sol de produits organophosphorés.
MOUCHE DES SEMIS <i>Delia platura</i>	-Lutttes est indispensable sur les semis précoces. -Enrobage des semences. -Traitement du sol avec micro-granulés.
PYRALE DU MAIS <i>Ostrinia nubilalis</i>	-En situations à risques, traiter à partir du grossissement des gousses avec un <i>pyréthrin</i> de synthèse a faibles doses
BRUCHE DU HARICOT <i>Acanthoscelides obtectus</i>	-En entrepôt : désinsectisation par fumigation sous vide. Dans les régions exposées, en culture pour le grain sec, demi sec ou la semence : traiter à titre préventif, en fin de grossissement des gousses, avec <i>deltaméthrine</i> ou <i>lambda-cyhalothrine</i> .

Tableau 4 : Les maladies du haricot et moyens de lutte (NYABYENDA, 2005).

Type de maladie	Maladie et agent causal	symptômes	Moyens de lutte
Maladie fongique	maladie des taches anguleuses <i>Phaeoisariopsis griseola</i>	Tache anguleuse sur les feuilles délimitées par les nervures et taches arrondies rougeâtres sur les gousses.	<ul style="list-style-type: none"> - Composter les fanes, éliminer les plantules issues de graines germées hors saison et respecter la rotation. -Utilisation des variétés résistantes ou tolérantes. -Pulvérisation sur le feuillage du benomyl, du thiophanate-methyl...
	L'anthracnose <i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	Taches arrondies, déprimées, grisâtres à contours rougeâtres sur les tiges, les feuilles et les gousses.	
	L'ascochytose <i>Ascochyta phaseolarum</i>	Grandes taches brunâtres sur les feuilles et les gousses.	
	La rouille du haricot <i>Uromyces appendiculatus</i>	Petites pustules arrondies, avec des spores au centre et entourées d'un halo chlorotique circulaire	
	La maladie des taches farineuses <i>Mycovellosiella phaseoli</i>	Taches de couleur jaune diffuse qui évoluent en nécroses brunâtres irrégulières, par un aspect farineux de la face inférieure de la feuille et une défoliation prématurée de la plante	
	Maladies radicaire <i>Fusarium solani sp.phaseoli</i> ; <i>Rhizoctonia solani</i> ; <i>Phythium ssp.</i> ; <i>Thielaviopsis basicola</i>	Lésions nécrotiques avec une légère décoloration ; les tissus de l'hypocotyle des racines sont couverts de lésions ; détérioration du système radicaire.	
Maladie virale	La mosaïque commune du haricot. virus(BCMV)	<ul style="list-style-type: none"> -Les plantes ont des dimensions réduites. -Feuilles déformées, recroquevillées vers le bas, cloquées ou plissées. -Les gousses sont déformées et rugueuses au toucher. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation des semences saines et arrachage des plantes malades. -Contrôle des pucerons. -Utilisation des variétés résistantes ou tolérantes.
Maladie bactérienne	La bactériose à halo . <i>Pseudomonas syringae pv. Phaseolicola</i> et <i>Pseudomonas syringae pv.syringae</i>	Petits points nécrotiques sur les feuilles entourées d'un halo chlorotique circulaire.	<ul style="list-style-type: none"> -Utiliser des semences saines et arracher les plantes malades. -Utilisation des variétés résistantes ou tolérantes. -Trempage des semences dans le sulfate de Streptomycine avant le semis.
	La bactériose commune <i>Xanthomonas campestris</i>	Sur les feuilles des lésions brunâtres à brun clair, irrégulières, limitées par une bordure jaune. Sur les gousses, des taches de couleur vert foncé, graisseuses circulaires s'étendent le long des sutures.	

I.10. Conditions et méthodes de stockage

Le stockage est dit réussi si à son terme la denrée mise en réserve ne présente pas de déprédation ni dans sa qualité ni dans sa quantité. Les dépréciations observées chez les Légumineuses sont en général la résultante de l'activité des ravageurs, de l'inadéquation du module de stockage ou du type de denrée qui peut être un cultivar très réceptif aux facteurs de pertes. Or une étape préliminaire importante pour réussir la protection du stock est la connaissance du ravageur.

Dans les entrepôts de *P. vulgaris*, les larves d'*Acanthoscelides obtectus* peuvent détruire 70 à 80 % des récoltes après quelques mois de conservation (CHAUX et FOURY, 1994).

I.10.1. Conditions de stockage

Afin d'être conservées dans de bonnes conditions et pour des périodes d'un an ou plus, les céréales et les Légumineuses doivent être bien séchées (teneurs en humidité faible, comprise entre 13% et 15%), aussi le niveau d'humidité ne doit pas augmenter pendant la durée du stockage (HAYMA, 2004).

En ce qui concerne les Légumineuses, le stockage a pratiquement évolué à partir du moment où il est admis qu'il faut récolter le plus rapidement possible des graines en vrac dont on améliore ultérieurement la propreté si c'est nécessaire. C'est l'organisation rationnelle du chantier qui maintenant importe le plus, ainsi que la coordination entre la récolte proprement dite et le pré-stockage.

Plus précisément, la récolte du haricot (*P. vulgaris*) est rigoureusement liée aux conditions de séchage des graines. L'évolution technique de la récolte a certainement influencé les grosses exploitations à s'équiper en installations de conservation (séchoirs à air chaud) et en cellules de stockage. Mais, grâce à l'accroissement des équipements collectifs de collecte des graines, le séchage à la ferme est désormais fréquent et une part importante des récoltes est directement livrée à l'organisme stockeur.

Des précautions doivent être prises sachant que les insectes continuent à se développer à une humidité relative de 35% et des températures de 15°C (HAYMA, 2004).

Le tableau suivant montre la teneur en humidité optimale, suivant le type de graine, pour un stockage de longue durée.

Tableau 5 : Teneur en humidité de différents types de produits favorable au stockage (HAYMA, 2004).

Produit	teneur en humidité (%)
Céréales	12-14%
Haricot	13-15%
Graines oléagineuses	6-8%
Plantes sarclées et tubercules	Non fixe

I.10.2. Méthodes de stockage:

Les graines constituent depuis toujours la principale ressource alimentaire de l'homme et des animaux domestiques, c'est pour quoi la connaissance des phénomènes régissant leurs conservation et la maîtrise des techniques de leurs stockages sont déterminant pour la survie de million de personnes (MULTON, 1982).

1. Stockage traditionnel

En dehors de la conservation connue actuellement, persistent des méthodes bien plus anciennes qui consistent à stocker les graines à une certaine profondeur sous le sol comme l'usage de cavités sous terraines plus ou moins aménagées, de puits, de greniers et de pots en terre.

Sur les hauts plateaux, les agriculteurs algériens conservent leurs récolte dans des enceintes creusées dans un sol argileux généralement à endroit surélevé qu'on appelle « Elmatmora » (DOUMANDJI, 1982 *in* RIGHI, 2010).

L'inconvénient majeur de cette méthode de stockage est la très forte humidité et l'infiltration des eaux qui favorisent le développement des moisissures et les phénomènes de fermentation bactérienne (HAYMA, 2004).

2. Stockage en vrac

Les grains en tas sont laissés à l'air libre sous des hangars ouverts à charpente métallique. Malheureusement les contaminations sont possibles d'autant plus que dans ce type de construction il demeure toujours des espaces entre les murs et les toits ce qui permet le passage d'éventuels insectes ravageurs (DOUMANDJI, 1977).

Cette méthode est peu répandue dans les pays en développement alors qu'elle est généralisée dans les pays développés, elle est partagée en deux types de cellules : Cellules grillagées et cellules simples en panneaux (RIGHI, 2010).

3. Stockage en silos

Les silos sont des enceintes cylindriques en métal ou en maçonnerie couverte sur les parois internes d'une couche d'aluminium pour éviter les phénomènes de condensation. C'est une nouvelle méthode pour le stockage des grains ; elle est efficace, diminue les dégâts et limite l'attaque des ravageurs (JARD, 1995 *in* KASSEMI, 2006).

Bien connaître et savoir combattre l'ennemi le plus redoutable de la production agricole, l'insecte qui sous ses formes innombrables représente pour l'homme une perpétuelle menace, est pour tous une question dont l'intérêt primordiale s'impose. Pour être en mesure d'apporter une réponse aux lourds dégâts causés par ces insectes, il est absolument indispensable de passer en revue la taxonomie, la biologie et l'écologie de ces ravageurs (DJOSSOU, 2006).

II.1. Généralités sur les insectes phytophages

Les Phytophaga, un sous ordre des Coléoptères, comprennent en effet plus de 100 000 espèces phytophages (FARRELL, 1998 *in* KERGOAT, 2004). Ils représentent à eux seuls près de 25% de la biodiversité terrestre (KERGOAT, 2004). Certains de ces insectes sont capables de parasiter et de se développer aux dépens de graines. Parmi celles-ci, 1700 appartiennent à la famille des Bruchidae (ALVAREZ, 2004).

Les dégâts causés par les Coléoptères des denrées sont forts variables. La plupart du temps, c'est dans les denrées entreposées pendant une longue période sans surveillance ni manipulation que l'on enregistre de grandes infestations (LEPESME, 1944).

II.2. Présentation de la famille des Bruchidae

La famille des Bruchidae est répartie en une soixantaine de genres (BOROWIE, 1987).

Les adultes mesurent 1,5 à 5 mm, le corps est large pubescent, la tête est bien dégagée et le menton pédonculé. Les antennes insérées près des yeux ne sont pas filiformes, les élytres recouvrent incomplètement l'abdomen (HOFFMAN, 1945). Les pattes postérieures sont toujours plus développées que les autres pattes avec des fémurs fréquemment dilatés ou renflés.

Les ailes sont fonctionnelles chez presque toutes les espèces de cette famille (LABEYRIE, 1962). Les larves ont un régime cléthrophage car elles vivent exclusivement dans les graines de leur plante hôte (AVIDOU *et al.*, 1965).

Le premier stade peut être apode ou bien pourvu de pattes et de soies l'aidant dans le déplacement, c'est par exemple le cas de la bruche du haricot (*Acanthoscelides obtectus*), dont les larves sont mobiles ce qui leur permet, après l'éclosion, de se diriger à la recherche d'une graine adéquate pour s'y installer (BOUGHADAD *et al.*, 1986). Selon DELOBEL et TRAN (1993), la famille des Bruchidae comprend deux groupes, 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 du pois), *Bruchus rufimanus* (la Bruche de la fève) ou *Bruchus lentis* (la Bruche des lentilles).

Le deuxième groupe renferme les Bruches qui se multiplient à l'intérieur des entrepôts, dans les graines sèches. Elles ont plusieurs générations annuelles (espèce polyvoltine) et c'est le cas de *Callosobruchus maculatus* (la Bruche du niébé), *Callosobruchus chinensis* « la Bruche chinoises », *Acanthoscelides obtectus* (la Bruche du haricot), *Caryedon serratus* (la Bruche de l'arachide) et *Bruchidus atrolineatus* (La Bruche africaine du niébé) (Figure 3).

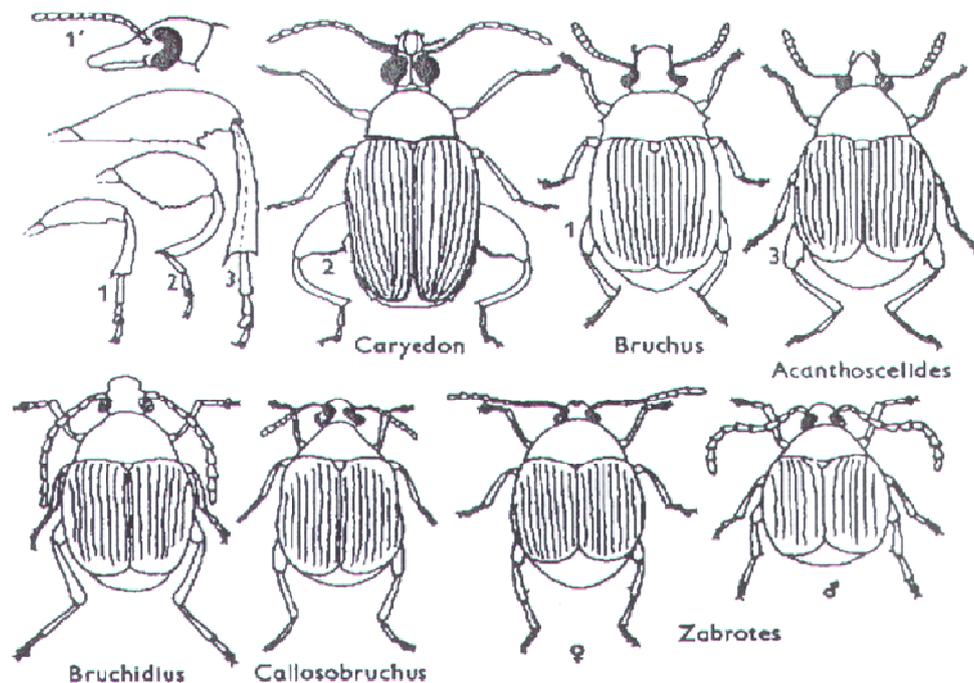


Figure 3 : Bruchidae, dessin des genres et de leurs caractères distinctifs (WEIDNER et RACK, 1984)

II.3. Systématique de la Bruche du haricot

Selon BALACHOWSKY (1962), la bruche du haricot occupe la position systématique suivante :

- Règne :..... Animal.
- Embranchement :.....Arthropodes.
- Sous embranchement :.....Antennates.
- Classe :.....Insectes.
- Sous classe :.....Ptérygotes.
- Ordre :.....Coléoptères.
- famille :..... Chrysomelidae
- Genre :.....*Acanthoscelides*.
- Espèce :..... *Acanthoscelides obtectus* (Say).

II.4. Origine et Répartition géographique

Acanthoscelides obtectus est un ravageur des zones tropicales et subtropicales qui a suivi l'importation récente du haricot de l'Amérique Centrale vers l'Europe. Son aire d'expansion s'est développée de l'Espagne à l'Ukraine, au milieu du XIX^e siècle jusqu'au début du XX^{ème} siècle (SERPEILLE, 1991).

L'introduction d'*A. obtectus* en Europe aurait suivi de peu celle du haricot. PERRIS (1874) la signale pour la première fois dans les cultures aux environs de Toulon (France), et CHITTENDEN (1892) note sa présence dans toute la région méditerranéenne et même en Iran (LABEYRIE, 1962).

De nos jours, le haricot est cultivé dans le monde entier, la répartition de l'insecte est cosmopolite avec un grand pouvoir migratoire en raison de son cycle de vie polyvoltin. Cette particularité en fait un ravageur dont la dispersion est très liée aux sociétés humaines et dont l'expansion est, de ce fait, potentiellement illimitée (HOSSAERT-McKey et ALVAREZ, 2003).

II.5. Description des différents états et stades de développement

S'agissant de l'étude du développement d'*A.obtectus*, comme de toute espèce vivante sous le régime de la reproduction sexuée, il est commode d'en subdiviser le déroulement en phase chronologiquement successives sans nette similitude entre elles. C'est ainsi, que l'étude de cette bruche montre quatre stades biologiques durant son cycle de développement.

II.5.1. L'œuf

Dans la nature, la bruche du haricot pond ses œufs dans les gousses de haricot parvenues à un degré de maturité convenable (LABEYRYE et MAISON, 1954 in POUZAT, 1983). Ils mesurent 0,75 mm de long, étroits, avec un pôle antérieur légèrement plus large que le postérieur, blancs et lisses (BALACHOWSKY, 1962).

La figure suivante illustre l'aspect des œufs d'*A. obtectus*.

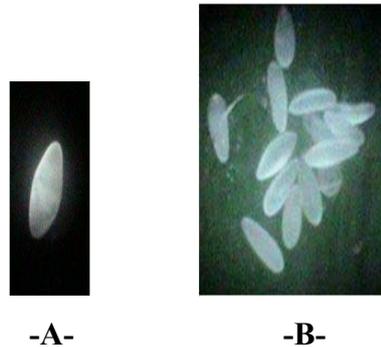


Figure 4 : Œufs d' *A. obtectus* (G : 2 ×10) (Originale, 2012)

-A : Œuf

-B : Amas d'œufs

II.5.2 La larve

Comme pour la plupart des Bruchidae, le développement larvaire d'*A. obtectus* se fait en quatre stades.

La larve néonée L_1 du type chrysomélien est blanchâtre et mesure 0,6 mm de long sur 0,2 mm de large. Elle est pourvue de pattes fines et de plaques prothoraciques et anales caractéristiques (BALACHOWSKY, 1962).

Cette larve pénètre dans la graine de *P. vulgaris* et consomme les réserves contenues dans les cotylédons (STAMOPOULOS et HUIGNARD, 1980). Peu après son entrée dans la graine, la larve mue pour la première fois et passe au second stade L_2 apode du type rhynchophorien (BALACHOWSKY, 1962).

Elle subira encore deux autres mues L_3 et L_4 pour achever son stade larvaire (KHELLIL, 1977). Par ailleurs, selon LABEYRIE (1981), la durée de développement larvaire est très variable (figure 5).

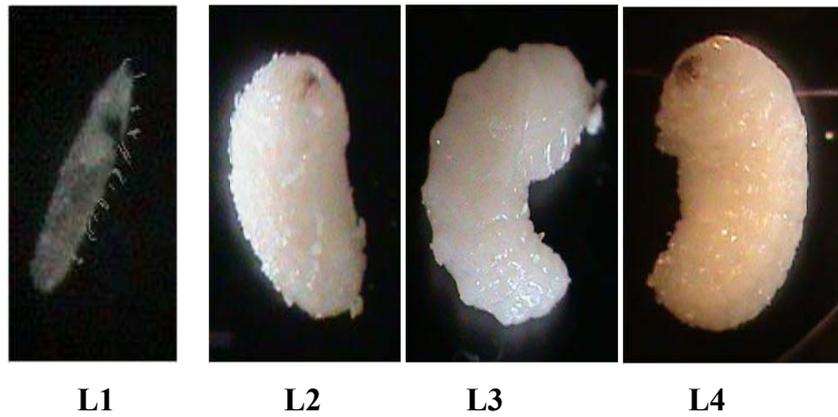


Figure 5: Différents stades larvaires chez *A. obtectus* observés avec une loupe binoculaire (G : 2×10) (Originale, 2012)

II.5.3 La nymphe

C'est la dernière forme prise par la larve d'*A. obtectus* avant son émergence sous la forme d'adulte. La larve L₄ s'infiltré dans sa chambre nymphale et cesse de se mouvoir.

Dans ce stade d'immobilité, la larve se transforme en un jeune imago qui subit encore des phénomènes de sclérotinisation et de pigmentation (figure 6). Le temps nécessaire à la nymphose est de quinze à dix huit-jours (GOIX, 1986).

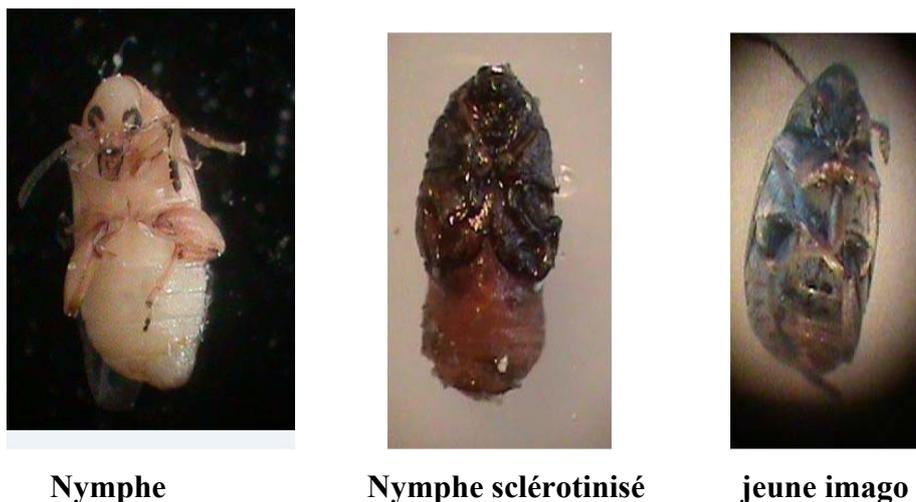


Figure 6: Différents stades de nymphose chez *A.obtectus* (G: 2×10)(Originale, 2012).

II.5.4 L'adulte

L'adulte d'*A. obtectus* mesure 2,5 à 3 mm de long sur 1,7 à 1,9 mm de large, mais il arrive que dans les cas de fortes surpopulations, sa taille soit plus réduite (BALACHOWSKY, 1962). Le corps de couleur générale brun ferrugineux, est sphérique et couvert de soies brillantes grises couchées vers l'arrière (MULTON, 1982). Il possède de longues antennes et des élytres courts, marqués d'un motif de taches claires et foncées, qui exposent une partie de l'abdomen (BALACHOWSKY, 1962). La figure 7 montre la morphologie de l'adulte d'*A. obtectus*.



Figure 7 : vue dorsale d'*A.obtectus* (G: 2×10) (Originale, 2012).

II.6. Le 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 (GUIGNOT, 1957).

Nombreux sont les organes qui peuvent être affectés par ces caractères. On distingue parfois, parmi eux, ceux qui sont en rapport direct avec le rapprochement des sexes et l'accouplement (développement des abdomens, des antennes, des sternites, etc.) et ceux qui ne présentent aucune utilité apparente (coloration, hypertrophie d'organes, etc.). Ces derniers variants sexuels sont d'ailleurs les plus nombreux, mais cette distinction reste artificielle, car l'utilité des caractères dits « ornementaux » dans la vie de l'insecte est difficile à apprécier (BERTRAND, 1972).

Chez la bruche *A.obtectus*, la détermination du sexe des adultes, se fait d'après l'aspect de la partie postérieure de l'abdomen, soit en vue ventrale ou de profil.

D'après BALACHOWSKY (1962), la différence entre le mâle et la femelle est très tôt visible dès l'émergence. Le mâle, de taille généralement plus faible, peut être distingué par un caractère mis en évidence par PERRIS (1874) où le pygidium échancre largement son dernier anneau ventral alors que ce dernier reste entier chez la femelle ; ce caractère est bien apparent chez la bruche du haricot comme le montre la figure 8.



Figure 8 : Dimorphisme sexuel chez *A. obtectus* (G : 2×10) (Originale, 2012).

II.7. Biologie d'*Acanthoscelides obtectus*

L'étude de la biologie d'*A.obtectus* présente plusieurs intérêts, sa fécondité élevée, son pouvoir d'obtenir de nombreuses générations successives en font un matériel de choix pour l'étude de l'activité reproductrice et des autres aspects biologiques.

II.7.1. L'activité reproductrice

Chez la bruche *A.obtectus*, les mâles libèrent une phéromone sexuelle qui, perçue par les femelles, aboutit à la rencontre des partenaires sexuels. L'isolement des mâles abaisse considérablement la production et (ou) la libération de ces substances actives et entraîne une baisse de l'attractivité de ces mâles vis-à-vis des femelles (ERRARD, 1981).

Des recherches réalisées chez les insectes indiquent que le regroupement peut influencer le comportement sexuel soit en induisant soit en stimulant la production puis la libération de phéromones (NORRIS, 1957, BIRCH, 1974 et HOWELL, 1978).

La copulation représente un autre facteur stimulant, influençant l'activité reproductrice. Elle peut agir selon HUIGNARD (1973) à 3 niveaux qui sont, la réceptivité sexuelle des femelles, la stimulation de l'ovogenèse et l'induction de la ponte.

Chez *A.obtectus*, ce même auteur a montré qu'il y a dépôts d'un spermatophore dans la bourse copulatrice au cours de la copulation. Ce spermatophore influence la reproduction de deux façons différentes :

- Certaines sécrétions mâles contenues dans le spermatophore passe dans l'hémolymphe des femelle et constituent un signal permettant la stimulation de l'ovogénèse.

- La distension de la bourse copulatrice liée à la présence du spermatophore induit la ponte et est à l'origine de la modification de la réceptivité sexuelle qui suit l'accouplement.

L'activité reproductrice de la bruche est significative à partir de 20°C. En France, les zones contaminées habituellement se situent dans les régions où la température moyenne de juillet est supérieure à 19°C (LABEYRIE, 1957 in BALACHOWSKY, 1962).

Une humidité excessive tue tous les insectes, aucun adulte ne peut sortir d'une graine qui a germé (LARSON, 1924 in BALACHOWSKY, 1962).

II.7.2. l'accouplement

Les deux insectes, mâle et femelle, d'*A.obtectus* de se touchent sans cesse à l'aide de leurs antennes et palpes, la femelle finit par s'immobiliser. Le mâle s'accroche à ses élytres, dévagine son endocéphalus et l'introduit dans les voies génitales de la femelle (HUIGNARD, 1973).

Les adultes commencent à s'accoupler quelques heures après leur émergence (figure 9). La copulation a lieu plusieurs fois au cours de leur existence et ne dépasse guère sept minutes (HUIGNARD, 1968 in KHELIL, 1977).

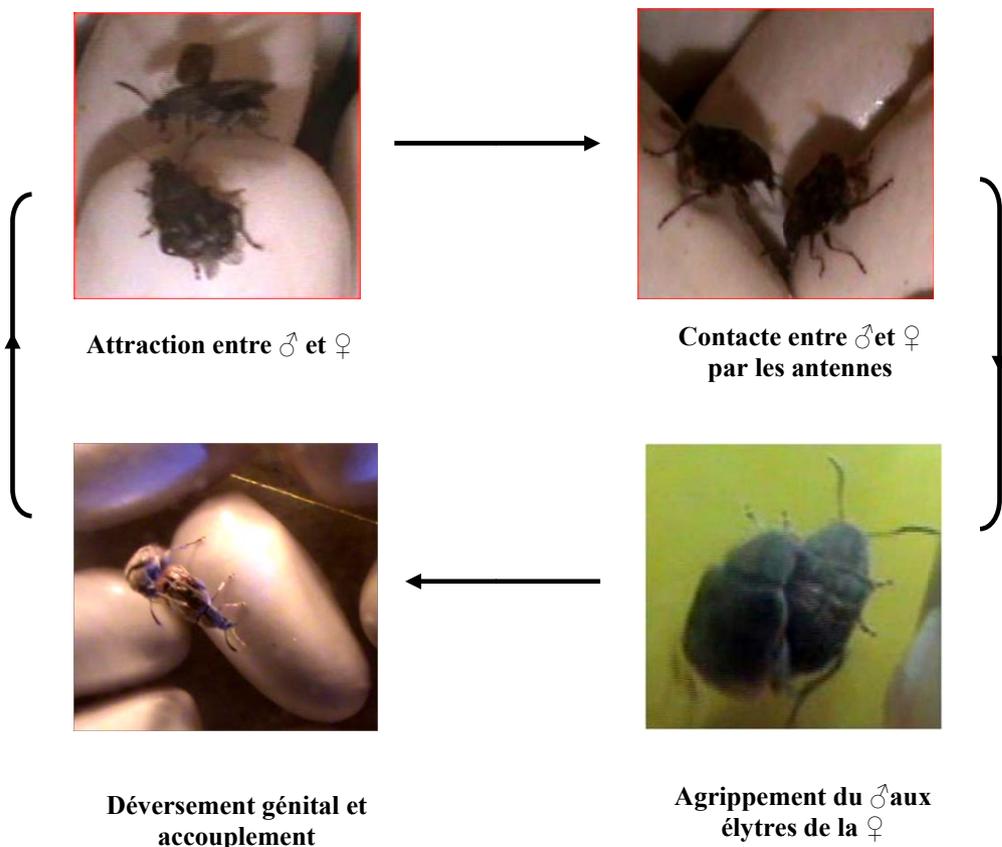


Figure 9 : Méthode d'accouplement chez *A. obtectus* (G :×5) (Originale, 2012).

II.7.3. La ponte

A. obtectus vit et se développe dans les graines de toutes les espèces de genre *Phaseolus*. Ses dégâts sont d'autant plus graves que l'insecte fait sa ponte à la fois sur les plantes et dans les graines mûres emmagasinées. Le dépôt des œufs se fait par un appareil, ovipositeur ou tarière, saillant à l'extrémité de l'abdomen des femelles de ces insectes, qui leur sert à enfouir leurs œufs dans le corps d'un hôte (figure 10).

Il existerait jusqu'à cinq générations par an chez cet insecte. Le nombre d'œufs pondus par une femelle est de 50 à 100 (BALACHOWSKY, 1962).

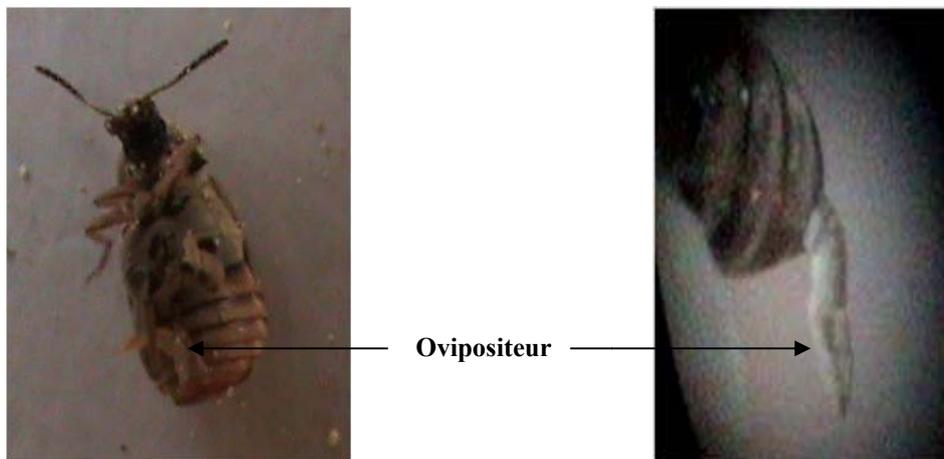


Figure 10 : Position de ponte de la femelle d'*A. obtectus* (G :2 ×10) (Originale, 2012).

II.7.4. Cycle de développement

Les adultes hivernent à l'intérieur des graines d'haricot et sortent de celles-ci à la fin du mois d'avril ; ils ne s'alimentent pas et s'accouplent (BONNEMAISON, 1962). La sortie de ces insectes est conditionnée par les facteurs externes, notamment l'ensoleillement et la température. En juin-juillet, les adultes issus des graines entreposées dans les greniers s'envolent vers les cultures de haricots, sur une distance allant jusqu'à 3 km de lieu de leur sortie (GOIX, 1986).

Au champ, en attente de ponte, les adultes consomment des segments de feuilles et ils broutent du pollen au niveau des fleurs blanches et jaunes (SERPEILLE, 1991). C'est à partir de 20°C qu'ils sont en mesure de s'accoupler et de pondre (GOIX, 1986).

La survie d'*A.obtectus* impliquant une reproduction ajustée aux possibilités du milieu trophique par la larve, il faut donc, non seulement que l'œuf soit déposé selon l'affirmation de DAVEY (1970), au bon moment et au bon endroit (dans une gousse mûre de haricot contenant des graines), mais aussi en bon état donc n'ayant pas été altéré à la suite d'un séjour prolongé dans les oviductes latéraux.

Dans la culture de *P. vulgaris* les adultes sont attirés par les gousses mûres (BALACHOWSKY, 1962). La femelle se place à la hauteur de la suture dorsale de la gousse, plus rarement de la suture ventrale, elle ronge la gousse au point de contact des deux valves et creuse un trou étroit et profond puis dépose les œufs en paquets de 2 à 20 et parfois plus (ZACHARIAE, 1959). Cette ponte a lieu à l'intérieur de ces gousses qui sont présentes durant une courte période de l'année en l'occurrence au début de la saison sèche (PICHARD et al., 1991).

La ponte est faite exclusivement dans les gousses qui commencent à jaunir et jamais dans les gousses entièrement sèches.

Suivant la température, la durée d'incubation est de 3 à 5 jours. La larve primaire circule pendant quelques heures à la surface de la gousse puis traverse celle-ci, elle pénètre dans la graine 2 à 3 jours après sa naissance. Elle mue et se transforme en une larve apode. La durée du développement larvaire est très variable, elle est de 3 semaines en moyenne. La larve découpe un opercule dans la paroi de la graine et se nymphose (FRANSSSEN, 1956).

La durée de cycle varie selon les conditions climatiques, sa durée moyenne est de 30 jours à 27°C (MULTON, 1982). D'après DECELLE (1981), il peut y avoir quatre à cinq générations successives pendant le stockage dans les entrepôts chauffés avec d'importants dégâts à chaque génération. Au champ il y a qu'une seule génération par an. L'insecte hiverne à l'intérieur des graines et ne reprend son activité qu'au printemps avec l'élévation de la température (GOIX, 1986).

II.7.5. Les déplacements d'*A.obtectus*

La faculté de se mouvoir est une des caractéristiques fondamentales d'*A.obtectus*, ses déplacements revêtent une très grande diversité en fonction des conditions locales. Ils représentent une réponse de la bruche du haricot à des facteurs changeants de son habitat.

Les populations d'*A.obtectus* ont besoin pour leur survie à long terme de possibilités d'échange, d'expansion et de migration. Un rayon de soleil suffit pour que les adultes s'agitent et s'envolent (BRUEL, 1945 in BALACHOWSKY, 1962). Ainsi ARNAULT et al (1958) cité par BALACHOWSKY (1962) ont montré lors d'un contrôle de sorties d'adultes

dans un local, qu'une augmentation d'une heure de la durée d'insolation entraîne une augmentation du nombre d'insectes sortis de 27 individus.

D'après SERPEILLE (1991), la température d'envol paraît plus basse pour les insectes nocturnes que pour les insectes diurnes de la même région. Chez *A. obtectus*, à partir d'un élevage mené, il a constaté que :

- à 20°C il n'y a jamais d'envol.
- à 25°C l'envol débute.
- à 30°C l'envol est maximum.
- à 40°C on observe encore un envol important.
- à 45°C l'envol cesse.

Le rôle de la température est primordial lors de la migration des bruches, ainsi pour une augmentation de 1°C, le nombre des bruches sorties dans la journée augmentent de 60 individus migrants lors d'un contrôle de sorties d'adultes dans un local (ARNAULT et *al.*, 1958 in BALACHOWSKY, 1962).

Il a été montré que pour une humidité relative inférieure à 55%, l'influence de la température est faible, alors que pour les hygrométries les plus élevées, la fécondité dépend de la température (ZAAZOU, 1948 in BALACHOWSKY, 1962). En outre Selon SERPEILLE (1991), la température et l'hygrométrie influencent la fécondité et la maturation des ovaires.

L'adaptation aux stocks correspond à la colonisation d'un système très appauvri ne permettant aucun déplacement par vol, ni aucune utilisation alimentaire des plantes (LABEYRIE, 1981). Ainsi, selon HUIGNARD (2008), les femelles sont parfaitement adaptées aux systèmes de stockage.

Dans les greniers, elles entrent directement en contact avec les graines. Elles les prospectent de la même façon que les gousses. Les œufs sont généralement déposés isolément selon VOUKASSOVITCH, 1958 in LABEYRIE (1966), alors que selon ce dernier auteur, les œufs sont disposés par paquet dans les gousses. Les capacités d'adaptation d'*A. obtectus* sont importantes; des modifications de comportement de ponte des femelles ou des capacités de développement des larves peuvent leur permettre de coloniser les stocks de graines de Légumineuses et de devenir des ravageurs causant de gros dégâts aux récoltes (HUIGNARD, 2008).

II.8 Les ennemis naturels d'*Acanthoscelides obtectus*

Les hyménoptères parasites sont de précieux auxiliaires pour l'homme et ils sont utilisés contre les ravageurs des cultures. Ce mode de lutte peu coûteux et généralement sans danger, connu sous le nom de lutte biologique, consiste en l'acclimatation de parasite souvent spécifique. Selon LABEYRIE (1962), les bruchidae sont parasités par de nombreux hyménoptères qui se développent aux dépens d'œufs ou des larves dans les graines ou les gousses des Légumineuses.

Les principaux ennemis naturels de la bruche du haricot sont les hyménoptères parasitoïdes tels que *Stenocose bruchivora* (braconidaes), *Dinarnus basalis* (Pteromalidae) et *Horismenus* sp. (Euliphidae). Ces trois espèces sont des ectoparasites solitaires du troisième et quatrième stade larvaire et parasitent occasionnellement des pupes (BENREY et *al.*, 1998).

II.9 Dégâts causés par la bruche

Acanthoscelides obtectus Say est la bruche la plus nuisible d'Europe et du bassin méditerranéen car son développement peut s'effectuer à la fois dans les cultures et dans les graines entreposées au magasin. C'est un insecte cosmopolite dont les dégâts sont signalés dans le monde entier. En effet, la presque totalité des zones de culture des *Phaseolus*, où le climat permet l'activité de *A.obtectus* dans la nature sont actuellement envahies (BALACHOWSKY, 1962).

En culture, les symptômes qui trahissent la présence de l'insecte sont difficiles à observer, généralement, l'atteinte passe inaperçue. En revanche, après la récolte, sur les graines, il est nettement plus facile de distinguer celles qui sont atteintes de celles qui sont saines, surtout lorsque l'infestation est relativement ancienne.

En effet, au début de l'évolution larvaire, les haricots paraissent sains. Après un certain temps, ils présentent de petites tâches parfaitement rondes de 2 à 3 mm de diamètre et de couleur variant suivant la teinte des graines. Ces tâches sont dues au fait qu'une partie de la graine a été consommée par la larve et qu'il ne reste plus à son niveau qu'un opercule qui par la suite sera brisé par la bruche adulte afin de lui permettre de sortir pour aller infester de nouvelles graines (GOIX, 1986).

Les pertes en poids occasionnées dans les stocks peuvent atteindre plus de 80% après six ou sept mois de stockage (IDI, 1994) et deviennent impropres à la consommation (GAIN, 1897).

Les conséquences de la contamination par les bruches des graines entreposées peuvent être accentuées par l'apport d'acide urique et de fragments de chitine qui rendent les lots contaminés inconsommables (VENKATRAO, 1960).

Après plusieurs mois d'infestation, les graines d'haricots montrent des perforations, avec présence des insectes adultes et des graines à l'intérieur desquelles les larves continueront leur évolution (GOIX, 1986). La figure 11 illustre les dégâts que peut engendrer une infestation massive par l'insecte.



Figure 11 : Graines d'haricot endommagées par *A. obtectus* (Originale, 2012).

Introduction

Dans le contexte contemporain, les produits chimiques de synthèse, insecticides, herbicides et fongicides fournissent l'essentiel de l'effort dans la lutte contre les ravageurs. Les pertes mondiales de productions agricoles dues aux ravageurs sont estimées à des chiffres monumentaux, l'enjeu économique est donc considérable.

Cependant, les insectes développent des phénomènes de résistance à l'égard de ces produits malgré la mise sur le marché de molécules chimiques dont les spectres toxicologiques et écotoxicologiques sont améliorés.

Parallèlement aux produits chimiques, on assiste, incontestablement à l'émergence lente de méthodes de lutte parallèles, dans lesquelles s'inscrivent, la lutte préventive, la lutte biologique et la phytothérapie. En effet, ces moyens de lutte sont soutenus par une demande forte de l'opinion publique des pays industrialisés en faveur d'une agriculture durable offrant des produits sains.

La lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées comprend deux méthodes, l'une est préventive et se pratique avant l'installation des ravageurs et l'autre est curative, et s'utilise quand les lots sont déjà infestés (BALACHOWSKY, 1962).

III.1. La lutte préventive

Cette lutte consiste en une hygiène rigoureuse des moyens de transport, des locaux de stockage, des installations de manutention et des machines de récolte. Il est important d'isoler les nouvelles récoltes de celles qui sont anciennes dans l'entrepôt (KELLOUCHE, 2005).

Pour la lutte contre les Bruchidae dans les champs, en pratique la culture en mélange. Lorsqu'un champ comporte une seule espèce, les parasites et les ravageurs de cette espèce ont toutes les facilités pour s'y développer et pulluler. Par contre s'il y a plusieurs espèces associées, l'extension et la pullulation du parasite et ravageurs sont limités (DUPRIEZ et DELEENER, 1987).

La protection des stocks par certaines méthodes traditionnelles constitue un moyen intéressant de lutte préventive, néanmoins elle reste insuffisante car elle ne peut pas empêcher définitivement la multiplication du ravageur. Ce mode de lutte vise une réduction de l'infestation des gousses dans le champ. Pour cela, il y a recours à un ramassage des gousses à un stade phénologique précoce ou une récolte régulière des gousses dès leur maturité. Après

la récolte, le produit est trié avant le stockage pour réduire l'infestation initiale et conserver les gousses ou graines indemnes (SOUKEYNA, 1999).

Le mélange des graines avec des substances minérales comme la cendre, le sable et la silice est un procédé très courant pour le contrôle des insectes des denrées stockées. En effet, les matières inertes entraînent la mort par déshydratation ou par abrasion de la cuticule des insectes (KANDJI, 1996 *in* SOUKEYNA, 1999).

D'autres techniques comme l'utilisation de sacs en polypropylène ayant une doublure en coton sont conseillés car ils sont très efficaces pour empêcher les infestations ultérieures (CASWELL et VAN HUIS, 1991 *in* SOUKEYNA, 1999).

III.2. La lutte curative

Les traitements curatifs ont pour but d'empêcher le développement des ravageurs de Légumineuses en cas de l'infestation et avant d'arriver à des stades plus complexes irréversibles.

III.2.1. Lutte physique

C'est une méthode qui consiste à utiliser des agents physiques (mouvement, chaleur, lumière, froid, eau, électricité, radiation...) afin de ralentir au maximum l'activité biologique des ravageurs des graines.

D'après CRUZ et *al.* (1988), les basses températures ont pour effet de ralentir l'activité alimentaire de l'insecte et d'en réduire les mouvements.

Lorsque la température baisse au dessous de 10°C, l'activité de la bruche est nettement ralentie ou bien arrêtée (GOIX, 1986). D'après LAYBEYRIE (1962), le maintien des entrepôts de stockage à une température de -1°C pendant un mois entraîne la mort des adultes.

Aussi, en utilisant des températures élevées, il a été constaté qu'une exposition à des températures supérieures à 30°C inhibe tous les stades de développement de la bruche du haricot (HUIGNARD et BIEMONT 1974 *in* BOUCHIKHI TANI, 2010).

L'exposition des graines aux radiations ultra-violettes de longueur d'onde inférieure à 3126 Å provoque la mort des œufs et des larves du premier stade et engendre des individus anormaux après l'émergence (LABEYRIE, 1962).

L'irradiation des denrées par des rayons gamma est une technique utilisée dans de nombreux pays pour lutter contre les insectes ravageurs, les doses élevées de rayons tuent les insectes, alors que les faibles doses les stérilisent (EL-BADRY et AHMED, 1975).

III.2.2 Lutte chimique

La lutte chimique est une méthode qui peut aboutir à la suppression totale du ravageur durant la période de traitement. Cependant, elle en ne persiste pas à long terme, car les insectes ravageurs par leur métabolisme secondaire peuvent s'adapter à l'effet des produits chimiques et faire apparaître une souche résistante. En outre, cette méthode a de nombreux inconvénients tels que, le coût élevé de l'usage des produits chimiques et l'ensemble des perturbations dus à l'introduction des résidus toxiques dans les différentes échelles de l'écosystème.

Selon la nature des nuisibles auxquels ils sont destinés et le type de produit utilisé dans la protection des stocks, les pesticides seront scindés en deux groupes, les insecticides de contact et les fumigants.

a) Les insecticides de contact

Mode d'intoxication qui permet d'atteindre de nombreux insectes non sensibles aux produits d'ingestion en raison de leur mode de vie (stades où les insectes ne s'alimentent pas). L'intérêt de cette voie est que l'insecticide agit non seulement sur les insectes touchés par le toxique, mais aussi sur ceux qui viennent ultérieurement au contact des plantes traitées.

En milieu traditionnel, l'utilisation d'insecticides chimiques de contact se développe de plus en plus, notamment en poudrage ou en pulvérisation. Les efforts doivent porter sur la formation des agriculteurs à l'emploi d'insecticides nouveaux, plus efficaces et moins dangereux que ceux actuellement utilisés (KASSEMI, 2006).

Selon GUEYE et *al.* (2010), parmi les insecticides utilisés dans les lieux de stockage on trouve le DIA GAS EX-B (Phosphore d'aluminium), le PHOSFINON 570 GE (Phosphore d'aluminium), le CELPHOS (Phosphore d'aluminium), le SPINTOR POUDRE (Spinosad).

La nature des composés chimiques est primordiale pour estimer l'efficacité des insecticides, en outre elle les regroupe en plusieurs classes, dont les principales sont :

- Les composés organophosphorés : tel que le malathion et le pirimiphose-méthyle qui se révèlent très efficace (PIERRARD, 1984).

- Les carbanates et les pyréthrinoides de synthèse : le deltaméthrine assure une protection efficace du niébé à la dose 1 ppm pendant 6 à 7 mois de stockage (SECK et *al.*, 1991).
- Les composés organochlorés : c'est une famille chimiquement hétérogène. Parmi les membres de ce groupe figurent l'aldrine, le lindane et le taxaphène (HUSSEIN et ABDEL-AAIY, 1982).

b) Les fumigants

Les fumigants sont appliqués par voie d'inhalation, sous forme de gaz ou de vapeurs. Ils pénètrent dans l'organisme par le système respiratoire ; ils sont introduits dans des entrepôts de denrées stockées, dans des silos ou dans des chambres de fumigation, ou encore dans des espaces à diffusion lente tels que les sols. La lutte chimique par l'utilisation des fumigants (bromure de méthyle et phosphore d'hydrogène) était la plus couramment utilisée dans les pays développés grâce à son efficacité, mais qui reste dangereuse pour l'écosystème.

L'intérêt de leur emploi est lié à leur diffusion à l'intérieur des graines, pouvant ainsi atteindre des formes cachées des ravageurs tels que les œufs, les larves et les nymphes (STEFAN, 1964 in KELLOUCHE, 2005).

III.3. La lutte biologique

VANHUIS (1991) pense qu'il est préférable d'appliquer une lutte ou un contrôle biologique contre les Bruchidae car les pesticides ont des coûts très élevés et présentent un certain nombre d'inconvénients.

La lutte biologique peut être définie par l'usage d'organismes vivants ou de leurs produits pour empêcher ou réduire les pertes ou dommages causés par des organismes nuisibles, s'appuyant sur une stratégie de défense écologique et durable.

Les organismes vivants utilisés, communément appelés auxiliaires, antagonistes ou agents de lutte, peuvent être des parasitoïdes (parasites vivant aux dépens d'un hôte qui meurt après leur développement), des prédateurs (insectes, acariens, nématodes) ou bien des pathogènes (virus, bactéries, champignons). La lutte biologique a pris de multiples formes, tant dans ses définitions que dans ses techniques et applications.

Les œufs des Bruchidae, en raison de leur position à l'extérieur de la gousse, sont aisément repérés par leurs parasitoïdes. Parmi les hyménoptères, le genre *Uscana* de la famille des *Trichogrammatidae* comprend plusieurs espèces associées aux Bruchidae (RIGHI, 2010). Pour *A. obtectus* le principal parasite est *Anisopteromalus calandrae* (PARKER, 1957 in

BOUCHIKHI TANI, 2006). Les larves sont attaquées par l'Acarien *Pyemotes ventricosus* (BONNEMAISON, 1962).

III.4. La phytothérapie

L'usage des plantes indigènes dans la conservation des récoltes a été pratiqué avant même l'apparition des insecticides de synthèse (GUEYE et al., 2010). Il a été observé dans les pratiques empiriques que les agriculteurs introduisent souvent dans des greniers des plantes aromatiques issues de la pharmacopée locale pour protéger les graines entreposées contre les insectes (SANON et al., 2002).

Les produits extraits à partir des végétaux sont utilisés comme biopesticides contre les ravageurs pour leurs effets répulsifs, de contact ou fumigant et ce sous plusieurs formes, extraits organiques, extraits aqueux, poudres des plantes, huiles végétales et huiles essentielles. En outre la multitude variétale de certains cultivars peut être exploitée dans la phytothérapie.

III.4.1. Extraits organiques

La composition chimique des plantes aromatiques est complexe et est constituée de deux fractions. La première fraction dite volatile est présente dans différents organes de la plante selon la famille. La deuxième fraction dite non volatile (CONV), composés organiques non volatils, est composée essentiellement de coumarines et flavonoïdes (CISOWSKI, 1985). Cette dernière fraction est utilisée dans la production des extraits organiques qui ont un effet insecticide

Selon REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI (1993), les extraits organiques les plus puissants sont :

- Le menthol extrait de thym : *Thymus vulgaris*.
- L'eugénol extrait de clou de girofle : *Eugenia caryophyllata*.
- La pulégone extraite de la menthe pouliot : *Mentha pulégium*

III.4.2. Extraits aqueux

Selon GAKURU et FOUA-BI (1996), c'est une méthode couramment utilisée par les fermiers africains qui réalisent un trempage de feuilles dans l'eau pour obtenir une solution à effet insecticide (Tableau 6).

D'après AOUINTY et al. (2006), ils sont traditionnellement utilisés contre des insectes ; la matière végétale (feuilles, tiges et bois) est préalablement lavée à l'eau distillée puis séchée, ensuite broyée à l'aide d'un mixeur jusqu'à sa réduction en poudre. Une quantité

de 100g de la poudre est diluée dans un litre d'eau distillée. Le mélange obtenu est filtré à l'aide du papier Wattman (3MM).

Selon REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI (1997), les plantes les plus efficaces appartiennent à la famille des labiées comme la lavande, le thym, le basilic, etc.

Tableau 6 : Quelques extraits aqueux utilisés dans la protection des denrées stockées (GWINNER et al., 1996).

Méthode	Action
Aspersion de la marchandise à l'extrait de pyrèthre.	Effet insecticide et répulsif, efficace sur la totalité des ravageurs des stocks.
Extrait de Neem (25 à 50g/l) aspersion du grain dans une proportion de 0.5 à 5%.	Effet insecticide et répulsif, inhibition de développement.
Aspersion de la marchandise aux extraits de poivrons.	Effet insecticide et répulsif sur de nombreux ravageurs durant plusieurs mois.
Aspersion de la marchandise aux moyens d'un extrait à 2.5% de racine d'Annona.	Puissants effets répulsifs et insecticides, pendant 3 à 4 mois sur les bruches.

III.4.3 Poudres des plantes

Selon GWINNER et al. (1996), plusieurs plantes aromatiques et médicinales sont testées pour protéger les graines entreposées sous forme de poudres obtenues par broyage des différents organes (fleurs, semences, écorces, racines et feuilles), de plantes séchées à une température ambiante de 26 à 28 °C (Tableau 7).

Tableau 7 : Quelques poudres extraites des végétaux et leurs effets sur les ravageurs (GWINNER et al., 1996).

Poudres	Action
Poudre d'écorce d'acajou d'Afrique (<i>Khaya senegalensis</i>), ajoutée à raison de 50 à 1000 g/Kg de grains.	Action insecticide probable jusqu'à 3 mois sur les bruches des Légumineuses.
Poudre de noyau de Neem, ajoutée à raison de 0.5 à 4% du volume de marchandise.	Inhibition du développement des coléoptères nuisibles aux graines stockées.
Poudre de rhizome séchées de (<i>Acorus calamas</i>) ajoutée à raison de 0.2 à 1% du poids de la marchandise.	Effet insecticide et répulsif, inhibition du développement de nombreux ravageurs durant plus de 6 mois.
Poudre d'Annona, ajoutée a raison de 0.5 à 2% du poids de la marchandise.	Puissant effet répulsif et insecticide, pendant 3 à 4 mois sur les bruches.

III.4.4. Résistance variétale

La résistance variétale des plantes aux insectes est définie comme étant l'ensemble des qualités génotypiques que possède un cultivar et qui agissent de telle sorte que ce dernier soit moins endommagé comparativement à un autre ne possédant pas ces qualités (SMITH, 2005).

D'après CENTER et JOHNSON (1974) cité par KERGOAT (2004), les différents mécanismes de résistance des plantes hôtes aux bruches sont :

- Modification du tégument externe des gousses (développement d'écailles ou d'une forte pubescence qui peut faire détacher les œufs ou gêner les larves.
- Gousses parfaitement lisses et/ou indéhiscentes, ce qui ne convient pas à certaines espèces qui pondent dans des anfractuosités).
- Déhiscence ou fragmentation des gousses prématurée, ce qui met à distance les œufs des graines à maturité.
- Graines immatures de très petite taille qui croissent très rapidement juste avant leur dispersion.
- Composés secondaires toxiques dans les graines (alcaloïdes, saponines, tannins, acides aminés non protéiques et des protéines anti-métaboliques).
- Sécrétion abondante de gomme (résine) quand une larve s'attaque à une gousse qui contient des graines immatures. Cette gomme peut engluer les jeunes larves ou d'autres œufs déposés sur la gousse.

III.4.5. Huiles végétales

Les huiles végétales sont utilisées très tôt dans la lutte contre les insectes sous forme d'émulsion. Ce sont à la fois des insecticides de contact qui agissent par leurs propriétés physiques et chimiques, et des adjuvants des molécules liposolubles et dans certains cas des synergistes.

Les huiles végétales sont des esters d'acide gras à poids moléculaire élevé. Elles sont visqueuses, peu volatiles et insolubles dans l'eau. Elles sont divisées en huiles siccatives ou semi siccatives, selon leur capacité à s'épaissir en présence d'oxygène. Leur extraction se fait par pression et qui présentent une toxicité de contact induite par la formation d'un film imperméable isolant l'insecte de l'air et provoquant son asphyxie (REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI, 1994 a ; WEINZEIRL, 1997).

III.4.6. Huiles essentielles

III.4.6.1. Définition

Le terme « Huiles essentielles » est un terme générique qui désigne les composants liquides et hautement volatiles des plantes, marqués par une forte et caractéristique odeur. Les terpènes (principalement les monoterpènes) représentent la majeure partie (environ 90%) de ces composants.

Les huiles essentielles sont par définition des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages. Ces extraits contiennent en moyenne 20 à 60 composés qui sont pour la plupart des molécules peu complexes (monoterpènes, sesquiterpènes,...). Il est admis que l'effet de ces composés purs peut être différent de celui obtenu par des extraits de plantes (FANNY, 2008).

Les huiles essentielles sont connues dès l'antiquité pour leurs propriétés médicinales. Elles ont constitué petit à petit un outil remarquable de défense contre les insectes nuisibles en général et ceux des denrées stockées en particulier (KEITA et *al.*, 2001). Elles ont un effet antiseptique et antifongique. Certaines huiles essentielles dont les constituants principaux possèdent des propriétés répulsives ou dissuasives bien connues, sont utilisées depuis longtemps pour la protection du grain entreposé (REGNAULT-ROGER et *al.*, 1993).

Les huiles essentielles contiennent un nombre considérable de familles biochimiques (chémotypes) incluant les alcools, les phénols, les esters, les oxydes, les coumarines, les sesquiterpènes, les terpénols, les cétones, les aldéhydes, etc. il est à noter qu'elles ne sont pas constituées d'acides gras, ni d'aucun autre corps gras.

Il est important de faire la différence entre les huiles essentielles et les huiles végétales. Les huiles essentielles sont obtenues par expression (réservée aux agrumes) ou par distillation à la vapeur d'eau. Elles sont volatiles, solubles dans l'alcool et dans l'huile, mais pas dans l'eau. Ce sont des substances odorantes. Une huile végétale est obtenue par pression, et est constituée majoritairement de corps gras (FANNY, 2008).

III.4.6.2. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des composés de groupes Terpénoides d'une part et de groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane beaucoup moins fréquent d'autre part (BRUNETON, 1999).

Selon BACHELOT et *al.* (2006), les huiles essentielles contiennent un grand nombre d'éléments biochimiques. Les plus fréquemment rencontrés sont les alcools, les cétones, les aldéhydes terpéniques, les esters, les éthers et les terpènes.

Il est possible de trouver dans la composition de certaines huiles essentielles d'autres corps à faible proportion, tels que les coumarines volatiles (REGNAULT- ROGER et *al.*, 2002).

III.4.6.3. Effets physiologiques et physiques des huiles essentielles

a) Effets physiologiques

Les huiles essentielles ont des effets antiappétants, affectant ainsi la croissance, la mue, la fécondité ainsi que le développement des insectes et acariens. Des travaux récents montrent que les mono terpènes inhibent la cholinestérase (KEANE et RYAN, 1999).

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

L'octopamine est un neuromodulateur spécifique des invertébrés. Cette molécule a un effet régulateur sur les battements de cœur, la motricité, la ventilation, le vol et le métabolisme des invertébrés. ENAN et ISMAN (2000) font le lien entre l'application de l'eugénol, de l'alpha-terpinéol et de l'alcool cinnamique, et le blocage des sites accepteurs de l'octopamine. ENAN (2005) a également démontré un effet sur la Tyramine, autre neurotransmetteur des insectes.

b) Effets physiques

ISMAN (2000) suppose que les huiles essentielles agissent directement sur la cuticule des arthropodes à corps mous étant donné que plusieurs huiles essentielles semblent plus efficaces contre ce genre d'arthropode.

III.4.6.4. Action des huiles essentielles

Les monoterpènes qui rentrent en grande majorité dans la composition des huiles essentielles présentent une toxicité inhalatrice, ovicide, larvicide et adulticide à l'égard de différents ravageurs. Ces monoterpènes ainsi que les composés poly-phénoliques provoquent une perturbation de la motricité naturelle de l'insecte (REGNAULT- ROGER et *al.*, 2002). les effets de quelques huiles essentielles sont récapitulés dans le tableau 8.

Différents travaux font référence à l'utilisation d'huiles essentielles pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs. Le limonène agit contre différents ravageurs (IBRAHIM et *al.*, 2001).

Tableau 8 : Quelques huiles essentielles, organe d'extraction et leurs effets insecticides (SINGH et TAYLOR, 1978; DON-PEDRO, 1985).

Noms	Organes	Effets
<i>Acorus calamus</i> L. (Acore aromatique).	Rhizome	Toxicité par contact.
<i>Azadirachta indica</i> . (Neem), 2 à 3ml/Kg.	Graines	Effet ovicide et larvicide.
<i>Cocos mucifera</i> L. (cocotier) 5 à 10 ml/Kg.	Graines	Effet ovicide et larvicide.
<i>Arachis hypogea</i> L. (Arachide), 5ml/Kg	Graines	Diminution de l'oviposition, effet ovicide et larvicide.

Selon NGAMOL et HANCE (2007), les constituants des huiles essentielles sont des sources potentielles d'insecticides botaniques. Plusieurs constituants sont insecticides. Le safrole et l'eugénol ont des fortes activités insecticides sur les ténébrions et surtout le *T. castaneum* ainsi que sur la bruche du haricot (Tableau 9).

D'après REGNAULT- ROGER et *al.*, (2002), les propriétés insecticides des huiles essentielles agissent sous différentes formes :

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

Tableau 9 : Activités de quelques monoterpènes des huiles essentielles sur *Acanthoscelides obtectus* (REGNAULT- ROGER et *al.*, 2002).

Phase du développement inhibée	Ponte	Pénétration larvaire	Emergence/adulte
Monoterpènes actifs	Linalol	Linalol	Carvacrol
	Thymol	Thymol	Linalol
	Carvacrol	Eugénol	Eugénol
		Anéthole	Thymol
			Terpinéol

III.4.6.5. Procédé d'extraction des huiles essentielles

a) L'hydrodistillation

L'hydrodistillation consiste à immerger la matière première dans un bain d'eau. L'ensemble est porté à ébullition et l'opération est généralement conduite à pression atmosphérique. La distillation peut s'effectuer avec ou sans recyclage communément appelé cohobage. Lors de la distillation des huiles essentielles, plusieurs phénomènes sont à la base d'échanges de matière entre les phases solide, liquide et vapeur, d'où l'influence d'un grand nombre de paramètres sur la qualité et le rendement de la production (HAJJI *et al.*, 1985).

b) L'hydrodiffusion

Le terme d'hydrodiffusion est attribué au type de transport contrôlé par la polarité des constituants. Elle serait responsable de la vitesse relative de la distillation des différents composés aromatiques, dépendant davantage de leurs solubilités dans l'eau que de leurs points d'ébullition. Si l'hydrodiffusion constituait l'étape limitante de l'hydrodistillation, alors l'ordre de sortie des composés serait dicté par leur polarité et non par leur volatilité (ACQUARONNE *et al.*, 1998).

c) L'extraction par solvants

L'extraction par solvant est une technique qui utilise des solvants comme l'hexane, le toluène ou les dérivés chlorés. Le solvant est ensuite éliminé par distillation. Elle ne doit pas être employée si l'huile essentielle préparée est à usage thérapeutique, car il pourrait y rester des traces de solvant. Elle est parfois utilisée dans l'industrie des parfums (RAYNAUD, 2006).

d) Hydrodistillation-extraction simultanée

La distillation à la vapeur (Likens-Nickerson) combine les avantages de l'hydrodistillation et de l'extraction au solvant. L'hydrodistillation permet d'éviter l'extraction des composés non volatils, et l'utilisation en faible quantité d'un solvant non miscible à l'eau facilite l'extraction des composés organiques (POLLIEN *et al.*, 1998).

e) L'expression

L'expression est une technique utilisée pour extraire les huiles essentielles des agrumes de la famille des Rutacées (citron, orange, mandarine, ainsi que la bergamote qui est issue d'un greffon de citronnier et de bigaradier). C'est une méthode assez simple qui consiste à briser mécaniquement (abrasion, compression, incision, perforation, ...) les poches à essence (souvent au niveau de l'écorce ou péricarpe du fruit) pour recueillir un mélange d'essences odorantes et d'eau (ANONYME, 2001).

Les travaux expérimentaux ont été réalisés dans le laboratoire d'écologie animale de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou durant la période allant de novembre 2010 à février 2011.

IV.1 Matériel

IV.1.1 Matériel de laboratoire

Plusieurs outils sont nécessaires pour aborder notre travail expérimental. Nous disposons d'une étuve équipée d'un thermomètre et d'un humidificateur, réglée en vue d'avoir les conditions les plus propices pour assurer un développement rapide de la bruche du haricot à savoir une température de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $70 \pm 5\%$.

Le petit matériel de laboratoire comprend les bocaux en verre et en plastique de 10cm de diamètre et de 20cm de hauteur pour l'élevage de masse des bruches, une balance de précision afin de peser les graines, des boîtes de Pétri en verre dans le but d'effectuer les différents essais (Test par contact et de répulsion), une loupe binoculaire en vue de faire les observations de différents stades de développement et le comptage des œufs d'*A.obtectus*, une micropipette pour le dosage des huiles. Les autres accessoires utilisés sont le papier filtre, l'acétone, un tamis, un pinceau, des flacons, un entonnoir, une loupe manuelle... etc. La figure suivante présente l'essentiel du matériel utilisé.

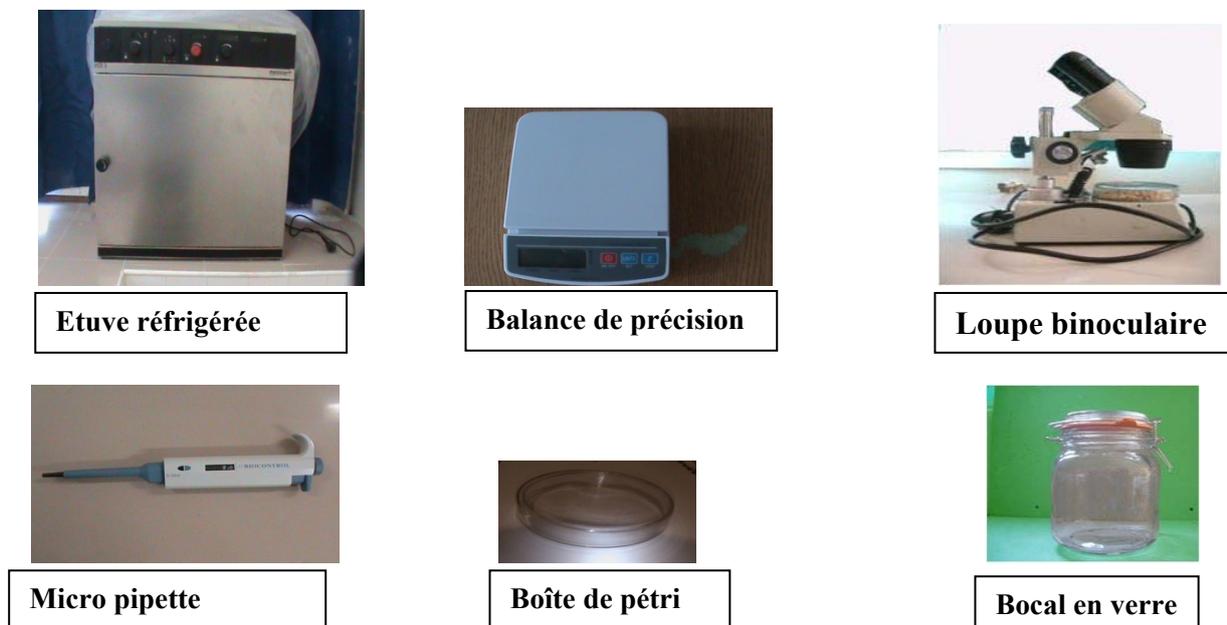


Figure 12 : Matériel utilisé au laboratoire (Original, 2012).

IV.1.2. Matériel biologique

IV.1.2.1. Bruches et les graines du haricot

L'espèce étudiée est *Acanthoscelides obtectus* qui est obtenue à partir des élevages de masse réalisés au niveau du laboratoire de notre faculté. Les graines d'haricots utilisées pour l'élevage de masse et les tests expérimentaux proviennent du marché local de la région. Elles sont conditionnées, néanmoins, le tri des graines saines s'avère parfois nécessaire.

IV.1.2.2. Matériel végétal

Dans notre étude quatre plantes aromatiques sont utilisées, elles appartiennent au genre *Citrus* : *Citrus limonum*, *Citrus sinensis*, *Citrus paradisi* et *Citrus aurantium*. Pour notre expérimentation, les huiles essentielles et les poudre de ces espèces sont exploitées dans la lutte contre la bruche du haricot.

IV.1.2.2.1. Généralités sur les *Citrus* (Agrumes)

D'après LOUSSERT (1989), le mot « agrumes » d'origine italienne, est un mot collectif masculin pluriel qui désigne les fruits comestibles par extension aux arbres qui les portent appartenant au genre « *Citrus* ».

Les principaux agrumes cultivés pour la production de fruit sont les orangers, les mandariniers, les clémentiniers, les citronniers, et les pomelos. Le terme général orangeries désigne non seulement les plantations d'orangers mais, par extension toute plantation d'agrumes constituant le verger agrumicole.

IV.1.2.2.2. Description de quelques espèces de *Citrus* utilisées

a) Le citronnier (*Citrus limonum*)

Le citronnier est un petit arbre épineux à feuilles persistantes, atteignant 3 à 6 m de hauteur, à cime étalée et peu dense, au feuillage vert clair. Ses feuilles sont composées, unifoliolées, alternées, de forme variables, lancéolées et elliptiques, à bord denticulé, de taille très variable de 5 à 10cm. Ses fleurs sont blanches et odorantes. Son fruit est ovoïde, de 5 à 10cm de diamètre, à peau épaisse, adhérente, jaune clair à maturité et odorante (CLEMENT, 1981).

b) L'oranger (*Citrus sinensis*)

L'oranger est un arbre, pouvant atteindre 10 m de hauteur environ, avec un feuillage vert sombre persistant et légèrement ailé à floraison blanche très parfumée. Ses fruits mettent 10 à 12 mois pour mûrir, de taille moyenne, de forme sphérique et de couleur caractéristique

orange. Il existe plusieurs variétés, les plus connues sont la Songuilli, Thomson Navel, Washington Navel Powell, Florida Pineapple, Maltaise Orange Portugaise etc. (LOUSSERT, 1989).

c) Le pamplemoussier (*Citrus paradisi*)

Le Pamplemoussier est un arbre appartenant au genre *Citrus* dont la hauteur dépasse rarement 6 m, et dont le fruit est le pamplemousse. Il est probablement originaire de la Jamaïque. Il fut introduit en Floride au XVI^e siècle par les Espagnols. Son feuillage dense consiste en feuilles brillantes vert sombre à pétioles ailés. Ses grandes fleurs blanches sont disposées en grappes. Ses fruits sont jaunes et globuleux, d'un diamètre de 10 à 15 cm et comportent une pulpe acide juteuse enfermée dans une écorce résistante. La couleur de sa pulpe est en principe jaune clair mais quelques variétés à pulpe rose ont été créées (ANONYME, 2010).

d) Le bigaradier (Petit grain bigaradier)

Le bigaradier (*Citrus aurantium*, Zanbouâ ou Anreje en arabe) est un arbrisseau épineux très décoratif de 4 à 5 m de haut, qui produit l'orange amère. Il est largement implanté en région méditerranéenne. Son tronc est très ramifié et ses feuilles sont d'un vert brillant. Ses fleurs blanches à l'intérieur et pourpres en dehors, sont très odorantes. Son fruit, plus petit que celui d'un oranger doux, est ovoïde et jaune foncé. Les fruits sont souvent des baies cloisonnées à pulpe vésiculeuse et juteuse formée de poils intracarpellaires. Ce sont des hespéridés propres aux agrumes (HADRICH et al., 2008). Le bigaradier est originaire du sud-est de l'Asie, les arabes l'auraient introduit au IX^e ou X^e siècle en Perse, en Irak, en Syrie, en Palestine, en Egypte, en Afrique du Nord, puis en Sicile, en Sardaigne et en Espagne (DIDIER, 1984).

IV1.2.2.3. Huiles essentielles

Quatre huiles essentielles de *Citrus* sont soumises aux différents tests durant notre partie expérimentale. Elles proviennent d'une extraction effectuée au laboratoire Omega pharma de France. La partie de ces plantes utilisée pour extraire les huiles est la feuille pour le petit grain bigaradier et est le zeste pour les autres *Citrus* (L'orange douce, le pamplemousse et le citron).

a) *Citrus limonum*

- **Nom commun** : Citron
- **Famille** : Rutacées.

- **Partie utilisée** : le zeste.
- **Extraction** : Distillation à la vapeur d'eau basse pression.
- **Composition chimique de l'huile essentielle**

D'après BRUNETON (1999), l'huile essentielle de l'écorce du citron est riche en limonène, il est accompagné de β -pinène et de γ -terpinène.

Les différents composés chimiques de l'huile essentielle du citron sont illustrés dans le tableau suivant.

Tableau 10: Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du citron.

Composants	(HAUBRUGE <i>et al.</i> , 1989)	(HELLAL, 2010)
α -pinène	2,40	3,07
β -pinène	12,60	17,04
Sabinène	2,00	-----
β -Myrcène	1,40	2,36
Limonène	67,30	51,39
β -phellandrène	0,80	-----
γ -Terpinène	7,60	13,46
p-Cymène	0,80	1,05
Linalol	0,10	-----
Nérol	0,90	1,49
Géraniol	0,80	2,42
Isocaryophyllène	0,20	1.23

b) *Citrus sinensis*

- **Nom commun** : Orange douce.
- **Famille** : Rutacées.
- **Partie utilisée** : le zeste.
- **Extraction** : Distillation à la vapeur d'eau basse pression.
- **Composition chimique de l'huile essentielle**

D'après BRUNETON (1999), les péricarpes de ce fruit fournissent une huile essentielle composée très majoritairement de limonène et β -myrcène, ils sont accompagnés par des aldéhydes aliphatiques.

Le tableau ci-dessous présente les principaux constituants chimiques de l'huile essentielle de l'orange douce.

Tableau 11 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite de l'orange douce

Composants	(HAUBRUGE <i>et al.</i> , 1989)	(HELLAL, 2010)
α -pinène	0,90	0,76
β -pinène	0,30	3,45
Sabinène	0,60	-----
β -Myrcène	2,30	-----
Limonène	90,70	77,37
β -phellandrène	1,50	1,91
γ -Terpinène	0,40	-----
p-Cymène	0,20	-----
Octanal	0,20	1,24
Linalol	0,90	1,21
Naphtalène	-----	1,41

c) *Citrus paradisi*

- **Nom commun** : Pamplemousse.
- **Famille** : Rutacées.
- **Partie utilisée** : le zeste.
- **Extraction** : Distillation à la vapeur d'eau basse pression.
- **Composition chimique de l'huile essentielle**

D'après BRUNETON (1999), l'huile essentielle de l'écorce du fruit est riche en carbures monoterpéniques (Limonène, myrcène) et est faible en teneur d'aldéhydes aliphatiques (Octanal, décanal).

Les différents constituants chimiques de l'huile essentielle du pamplemousse sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du pamplemousse

Composants	(HAUBRUGE <i>et al.</i> , 1989)	(MAZUR, 2006)
α -pinène	0,60	0,63
β -pinène	0,10	-----
Sabinène	0,30	0,37
β -Myrcène	1,90	1,63
Limonène	93,70	96,23
β -phellandrène	1,30	-----
γ -Terpinène	0,30	-----
Octanal	0,30	0,21
B-Caryophyllène	0,3	-----
Acétate de néryle	0,10	-----
Acétate de géranyle	0,90	-----
β -Carène	-----	0,08
Décanal	-----	0,15
α -Copaène	-----	0,06

d) *Citrus aurantium* (ssp. *amara*)

- **Nom commun** : Petit grain bigaradier.
- **Famille** : Rutacées.
- **Partie utilisée** : Feuille.
- **Extraction** : Distillation à la vapeur d'eau (hydrodistillation).
- **Composition chimique de l'huile essentielle**

D'après HAUBRUGE *et al.* (1989), l'analyse de la composition des huiles, par chromatographie en phase gazeuse et par spectrométrie de masse, permet de constater d'une part que la plupart des substances identifiées sont des hydrocarbures monoterpéniques et d'autre part qu'ils existent des différences nettes, au niveau de la composition, entre l'huile de Petit Grain Bigaradier et les autres huiles. En effet, le limonène est la substance principale des huiles extraites de l'Orange douce (90,7 %), du Citron (67,3 %) et du Pamplemousse (93,7 %) (illustré dans les tableaux précédents); alors que les composés, présents dans l'huile

de Petit Grain Bigaradier sont, par ordre décroissant: l'acétate de linalyle (56,8 %), le linalol (17 %), le limonène (4,4 %) et d'autres substances (20,8 %) (Tableau 13).

Tableau 13 : Principaux composés chimiques (%) de l'huile essentielle extraite du Petit Grain Bigaradier.

Composants	(HAUBRUGE et <i>al.</i> , 1989)	(HELLAL, 2010)
α -pinène	0,20	12,10
β -pinène	2,40	13,47
Sabinène	0,40	-----
β -Myrcène	1,50	3,19
Limonène	4,50	2,20
m-cymène	0,50	-----
Ocymène ou terpinène	1,60	2,23
Terpinolène	0,20	-----
Linalol	17	23,36
Acétate de linalyle	56,80	37,28
α -terpinol	3,70	-----
Acétate de géranyl	3,20	6,35
Nérol	0,80	-----
Trans-Géranol	2,30	-----
Caryophyllène	-----	1,11
Carène	-----	1,08
Citral	0,1	0,33
Acétate de neryl	0,8	4,10
Autre	3,7	-----

IV.1.2.2.4. Poudres végétales

Les feuilles des agrumes utilisées proviennent d'une exploitation agricole privée, située dans la région de Boghni (à 40 km au sud de Tizi-Ouzou).

Les feuilles de quatre *Citrus* (Le citronnier, l'oranger, le pamplemoussier et le Bigaradier) ont été récoltées en début novembre 2011 puis séchées à l'ombre et à température ambiante (25 à 27°C) pendant sept jours.

Les quatre lots de feuilles ont été moulus dans un broyeur électrique et furent passés en suite sur un tamis à maille de 0.5 mm de diamètre en vue d'obtenir une poudre fine de granularité homogène.

IV.2. Méthodes

IV.2.1. Elevage de masse dans une étuve

L'élevage de masse est une méthode qui consiste à mettre en contact les bruches mâles et femelles d'âges indéterminés avec des graines de haricot non traitées par les insecticides, dans des bocaux en verre afin de produire un nombre important et suffisant d'individus âgés entre 0 et 24 h nécessaires aux différents tests expérimentaux (figure 13).

Pendant la durée des expériences, les bocaux ont été gardés dans l'obscurité, la température et l'humidité ont été maintenues à $30\pm 1^{\circ}\text{C}$ et $70 \pm 5\%$ HR dans une étuve conditionnée.



Figure 13 : Elevage de masse de la bruche du haricot dans des bocaux en verres (Original, 2012).

IV.2.2. Le cycle biologique

Dans cette partie, vous sera présenté le processus consistant à suivre le développement d'œufs de même âge, pondus par 20 femelles d'*A.obtectus*. Les femelles accouplées dès leur émergence sont mises 12 heures plus tard en présence de 40 graines d'haricot saines et placées dans 4 boîtes de pétri (contenant chacune : 5 femelles et 10 graines), les échantillons sont maintenus dans une étuve réglée respectivement à 30°C et 70 % HR dans l'obscurité totale.

Le contact dure 1 heure. Les haricots, portant un certain nombre d'œufs sont récoltés et constituent la première ponte. Les femelles sont isolées des graines et remises au contact de celles-ci 24 heures plus tard et ce pendant une heure puis la deuxième ponte est recueillie. L'opération est ainsi répétée jusqu'à l'instant où l'on observe une émergence d'imagos.

Pendant l'expérience, la détermination de la durée de l'incubation, des différents stades larvaires et de la nymphose se fait par des observations régulières à l'aide d'une loupe binoculaire, en outre l'ouverture des graines du haricot est indispensable pour pouvoir observer les stades cachés d'*A.obtectus* à l'intérieure de celles-ci.

IV.2.3. Tests biologiques

IV.2.3.1 Traitement par contact

a) Test de contact par les huiles

Des masses de 25 g de haricot sont mises dans des boîtes de Pétri en verre puis traitées avec les quatre huiles de *Citrus* (Citron, orange douce, pamplemousse et bigaradier) à doses différentes pour chacune (2, 4, 6, 8 et 10µl) et ce à l'aide d'une micropipette. Ces doses sont dispersées de manière homogène dans les graines.

Un lot de 5 couples d'*A.obtectus* âgés de moins de 24 heures est introduit dans chaque boîte tandis que des lots témoins sont réalisés avec des graines non traitées (Figure 14).

Quatre répétitions ont été effectuées pour chaque huile essentielle, chaque dose et chaque lot témoin.



25g+ 5 couples

Dose : 0µl



25g+ 5 couples

Dose : 2µl



25g+ 5 couples

Dose : 4µl



25g+ 5 couples

Dose : 6µl



25g+ 5 couples

Dose : 8µl



25g+ 5 couples

Dose : 10µl

Figure 14 : Dispositif expérimental du test par contact pour les différentes huiles essentielles de quatre *Citrus* et leurs témoins (Originale, 2012).

a) Test de contact par les poudres

La méthode est la même que celle décrite précédemment, cependant le traitement des graines du haricot se fait avec les poudres de feuilles extraites de quatre espèces de *Citrus* à des doses de 0,5g, 1g, 1,5g, 2g et 2 g pour chacune, soit des proportions de 2%, 4%, 6%, 8% et 10% relativement au poids des graines du haricot (figure 15).

IV.2.3.1.1 Les paramètres étudiés

Pour déterminer l'efficacité et l'action des différentes doses des huiles essentielles et poudres de quatre *Citrus*, plusieurs paramètres biologiques d'*A. obtectus* et différents paramètres agronomiques de *P. vulgaris* sont étudiés.

a) Paramètres biologiques

- **La longévité des adultes**

Après le lancement des tests, un dénombrement quotidien des adultes d'*A. obtectus* morts est effectué pour tous les traitements jusqu'à la mort de la totalité des individus.

- **Fécondité des femelles**

La fécondité est évaluée par le dénombrement des œufs pondus, éclos et non éclos, à l'aide d'une loupe binoculaire à partir des premières pontes jusqu'à la mort de la totalité des femelles.

- **Taux d'éclosion**

Le taux d'éclosion est la proportion exprimée en pourcentage entre le nombre d'œufs éclos et le nombre d'œufs pondus, elle est calculée après le comptage total des œufs par la formule suivante.

$$\text{Taux d'éclosion des œufs} = (\text{nombre d'œufs éclos} / \text{nombre pondus}) \times 100$$

- **L'émergence**

L'émergence des individus d'*A. obtectus* débute environ un mois après le traitement des graines du haricot, ces individus sont comptés et retirés quotidiennement de celles-ci jusqu'à la fin de l'émergence des individus de la dernière ponte.

La viabilité d'*A. obtectus* est la proportion exprimée en pourcentage entre le nombre d'adultes émergés et le nombre d'œufs éclos, elle est calculée par la formule suivante

$$\text{Taux de viabilité} = (\text{nombre des adultes émergés} / \text{nombre des œufs éclos}) \times 100$$



25g +5 couples

Témoin



25g +5 couples
Dose de poudre:
0.02 %



25g +5 couples
Dose de poudre:
0.04 %



25g +5 couples
Dose de poudre:
0.06 %



25g +5 couples
Dose de poudre:
0.08 %



25g +5 couples
Dose de poudre:
0.10 %

Figure 15 : Dispositif expérimental du test par contact pour les différentes poudres de quatre *Citrus* et leurs témoins (Originale, 2012).

b) Paramètres agronomiques

• Perte en poids

L'évaluation de la perte en poids des graines de *P. vulgaris*, consiste à peser après la dernière émergence des individus d'*A.obtectus* le poids des graines traitées et celles des lots témoins au moyen d'une balance de précision, elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{Perte en poids (\%)} = [(\text{Poids initial} - \text{Poids final}) / \text{Poids initial}] \times 100$$

• Faculté germinative des graines

Après les traitements par contact, les graines sont soumises au test de germination qui consiste à prendre 25 graines au hasard de chaque échantillon traité puis seront mises à l'intérieur du coton imbibé d'eau dans des boîtes de Pétri sans couvercle. Au bout de quatre jours, les graines germées seront dénombrées pour chaque échantillon (figure 16). Le taux de germination est donné par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de germination} = (\text{nombre de gaines germées} / 25) \times 100$$



Figure 16 : Dispositif expérimental du test de germination des graines traitées avec les huiles et les poudres des quatre *Citrus* (Originale, 2012).

IV.2.3.2. Test de répulsion

Des disques de papier filtre de 11cm de diamètre ont été divisés en deux parties égales ; quatre doses (10, 20, 30 et 40 μ l) de chaque huile essentielle de *Citrus* ont été préparées par dilution dans 0,5ml d'acétone. Une moitié du papier est traitée avec l'huile additionnée d'acétone et l'autre moitié est traitée avec de l'acétone uniquement.

Après évaporation du solvant, le disque à été reconstitué au moyen d'une bande adhésive puis placé dans une boîte de Pétri au centre de laquelle on dépose 5 couples d'*A.obtectus* (Figure 17). Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque dose d'huile essentielle de *Citrus*.

Après une demi-heure d'incubation, les individus sont dénombrés sur chaque partie du disque. Le pourcentage de répulsion est calculé par la formule suivante :

$$PR (\%) = [(Nac - Nsh) / (Nac + Nsh)] \times 100$$

Nac : Nombre d'individus présents sur la partie traitée uniquement avec l'acétone.

Nsh : Nombre d'individus présents sur la partie traitée avec la solution huileuse.

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

Tableau 14 : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc DONALD et al. (1970).

Classes	Intervalle de répulsion	Propriétés
Classe 0	PR \leq 0,1%	N'est pas répulsive
Classe I	0,1% < PR \leq 20%	Très faiblement répulsive
Classe II	20% < PR \leq 40%	Faiblement répulsive
Classe III	40% < PR \leq 60%	Modérément répulsive
Classe IV	60% < PR \leq 80%	Répulsive
Classe V	80% < PR \leq 100%	Très répulsive

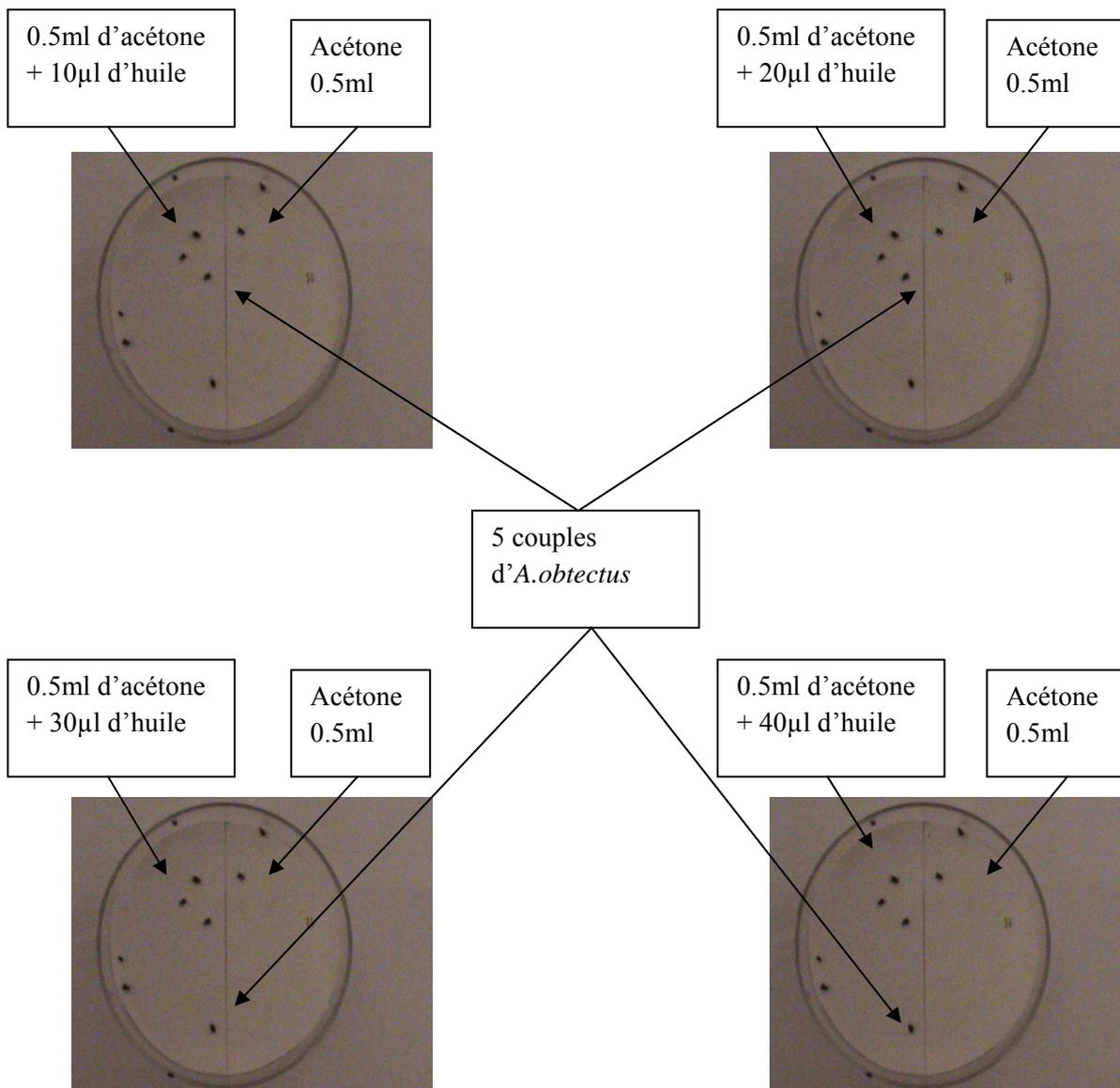


Figure 17 : Dispositif expérimental du test de répulsion des huiles essentielles de *Citrus* (Originale, 2012).

IV.2.3.3 Test d'inhalation

Ce test consiste à étudier la longévité des adultes d'*A.obtectus*, il est réalisé selon le protocole suivant :

Dans des bocaux d'un litre de volume, des petites masses du coton sont suspendus à l'aide d'un fil fixé à la face interne du couvercle. Des doses (4 μ l, 8 μ l, 12 μ l, 16 μ l et 20 μ l) de chaque huile essentielle de *Citrus* ont été introduites dans le coton au moyen d'une micropipette.

Cinq couples de bruches adultes âgés de moins de 24 heures sont déposés dans les bocaux dont la fermeture est parfaitement étanche.

Quatre répétitions ont été effectuées pour chaque traitement et parallèlement un échantillon témoin a été réalisé.

Le dénombrement des individus morts est effectué pour chaque dose après 24 heures, 48 heures, 72 heures et 96 heures du lancement de chaque test (figure 18).



Figure 18 : Dispositif expérimental du test d'inhalation à l'égard des adultes d'*A.obtectus* (Originale, 2012).

IV.2.3.4 L'analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance à un ou deux critères de classification en utilisant le logiciel, STAT BOX, version 6.3 pour déterminer l'action des huiles essentielles vis-à-vis de la bruche du haricot et d'analyser les paramètres biologiques étudiés. Lorsque cette analyse montre des différences significatives, elle est complétée par le test de NEWMAN et KEULS.

NB : Si $P > 0.05$, il n'y a pas de différence significative.

Si $0.01 < P \leq 0.05$, il y a une différence significative.

Si $0.001 < P \leq 0.01$, il y a une différence hautement significative.

Si $P \leq 0.001$, il y a une différence très hautement significative.

V.1. Cycle biologique

Après la dissection des graines du haricot, des observations quotidiennes ont été effectuées dans des conditions de laboratoire citées précédemment (Matériel et méthode) en vue de déterminer la durée d'incubation, de développement des stades larvaires et de la nymphose.

Le suivi de cycle d'*A.obtectus* dans les conditions de notre expérimentation a permis de montrer que les femelles déposent généralement leurs œufs directement sur les graines et parfois sur les parois des boîtes de pétri. La période de vie du nouvel insecte à l'intérieur des œufs est de six à sept jours (incubation).

Le développement larvaire et nymphal d'*A. obtectus* s'effectue à l'intérieur des graines, la larve néonate L_1 qui émerge de l'œuf se différencie des autres stades larvaires par sa forme, sa taille et ses structures particulières. Elle est en outre très mobile, et elle peut percer des téguments très dures, en effet, elle peut pénétrer parfaitement dans les graines. Deux jours après être entrée dans la graine, la larve du premier stade L_1 mue.

Les stades larvaires suivants sont apodes, ils se ressemblent par leurs formes, cependant ils se distinguent par leurs tailles, la larve L_2 est très arquée et son développement dure trois à quatre jours pour devenir une larve de troisième stade (figure 19).

Les larves L_3 et L_4 sont de taille plus importante. La durée du stade larvaire L_3 est analogue à celle de L_2 , tandis que celle de L_4 est de quatre à cinq jours.

La nymphe est au départ blanchâtre (prénymphe), elle porte sur sa face ventrale l'exuvie de la larve de quatrième stade, elle est d'une forme distincte de celle des larves. Plus elle se développe, plus sa morphologie se rapprochera de celle de l'adulte. La nymphose dure 12 à 13 jours environs.

A partir des résultats obtenus, la durée de cycle du développement de la bruche du haricot est en moyenne de 30 ± 2 jours dans les condition de notre expérimentation (laboratoire). Nos résultats sont présentés dans le tableau (15).

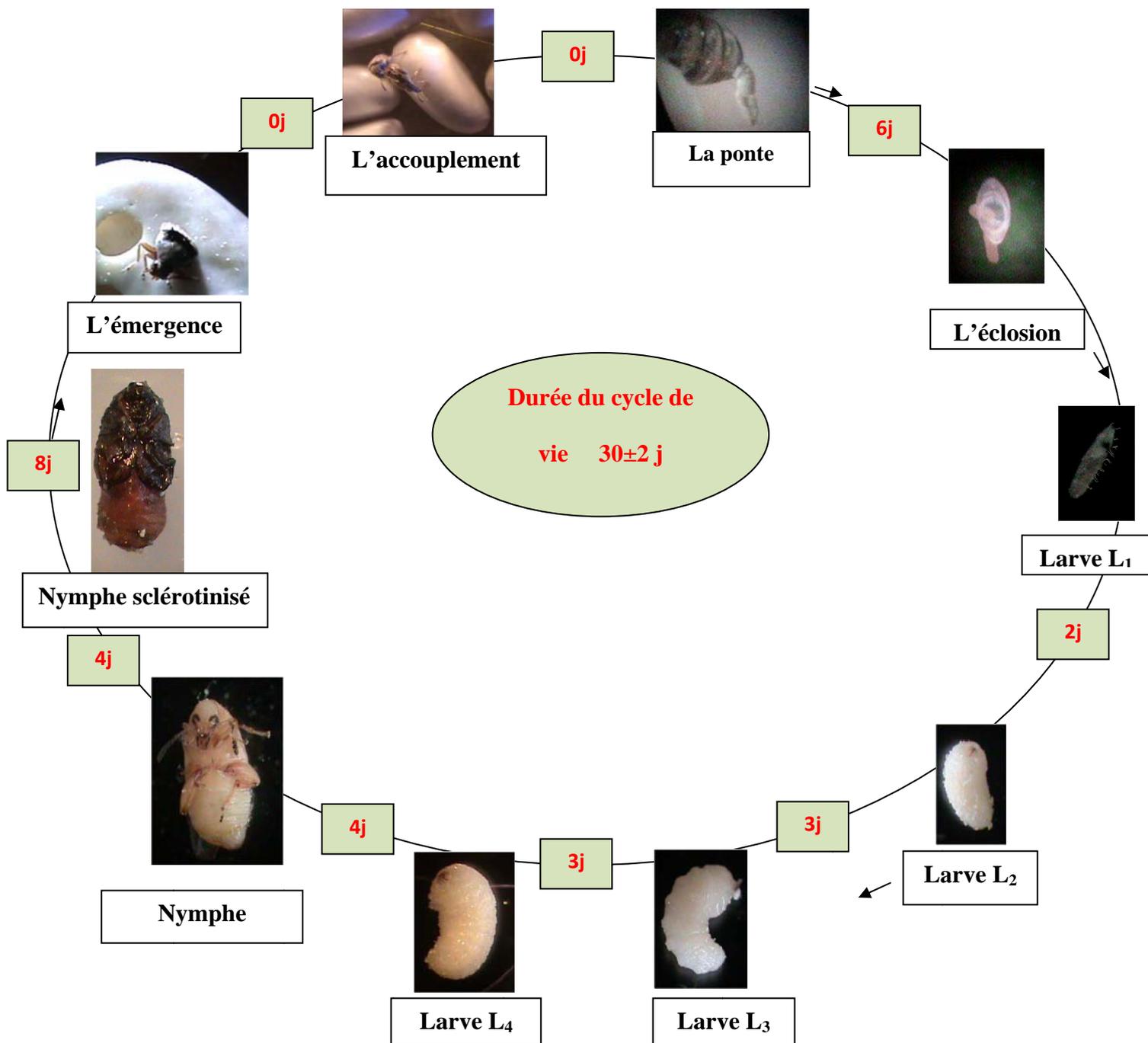


Figure 19 : Cycle de vie d'*A. obtectus* sur les graines du haricot dans les conditions de laboratoire (Originale, 2012).

Tableau 15 : Durée des différentes phases du cycle de vie d'*A. obtectus* dans les graines du haricot.

Stades de développement	Durée (jours)
Incubation	6±1
Larve du premier stade L ₁	2±1
Larve du deuxième stade L ₂	3±1
Larve du troisième stade L ₃	3±1
Larve du quatrième stade L ₄	4±1
Nymphe	12±1
Durée totale (jours)	30±2

Les résultats obtenus dans l'étude du cycle de développement se rapprochent à ceux obtenus par plusieurs auteurs.

Selon CRUZ et *al.* (1988), la température agit directement sur la durée de développement d'*A. obtectus*. Au-dessous de 10°C, le développement est ralenti et les températures élevées supérieures à 30°C inhibent totalement le développement d'*A. obtectus* (HUIGNARD et BIEMONT 1974 *in* BOUCHIKHI TANI 2010). En fait, notre expérimentation s'est déroulée sous une température propice pour l'insecte (30°C) afin d'en assurer un développement sans ralentissement.

D'après KHELIL (1977), la durée du cycle de développement d'*A. obtectus* est de 28 à 30 jours, l'incubation est de 6 jours, la larve L₁ et L₄ vivent 4 jours, L₂ et L₃ durent 2 jours, la durée de la prénymphe est de 3 jours et elle est de 7 à 9 jours pour la nymphose.

BOUCHIKHI TANI (2006) a montré que le cycle de développement d'*A. obtectus* est de 30 à 31 jours et que la durée entre L₁ et L₂ est de 2 jours et entre L₂ et l'émergence est de 23 jours.

De même, KASSEMI (2006) a noté que le cycle biologique est de 29 à 31 jours, l'incubation est de 6 jours, la durée du stade L₁ est de 3 à 4 jours et la durée entre le stade L₂ et l'émergence est de 20 à 22 jours.

V.2. Evaluation de l'efficacité des huiles essentielles et poudres de quatre *Citrus* sur les adultes d'*A. obtectus*

V.2.1. Test par contact

V.2.1.1. Action des huiles sur la longévité des adultes d'*A. obtectus*

D'après les résultats obtenus, la longévité des adultes d'*A.obtectus* est inversement proportionnelle à la dose des huiles testées, elle est en moyenne de $11,56 \pm 1,74$ jours dans les lots témoins (Tableau 1; Annexes 1).

On observe que les 4 huiles sont efficaces à l'égard de l'insecte *A.obtectus*. Une légère diminution de la longévité est enregistrée dès la plus faible dose utilisée ($2\mu\text{l}$). Elle est de 8, 9, 8,75, 3,5 jours, valeurs correspondants respectivement aux huiles de citron, orange, pamplemousse et bigaradier.

L'huile extraite du bigaradier est la plus toxique ; car la longévité subit une diminution importante (3,5 jours) dès la plus faible dose et s'annule à la dose de $6\mu\text{l}$ (Figure20).

A la plus forte dose utilisée, les bruches vivent moins de 24h dans les lots traités avec les huiles de citron et pamplemousse.

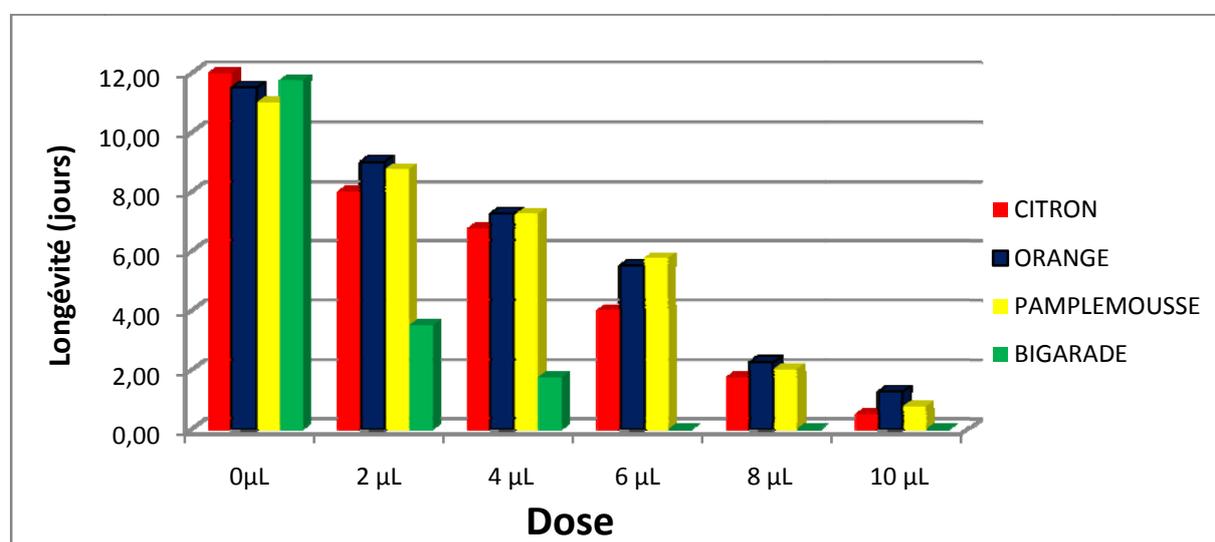


Figure 20: Longévité moyenne des adultes d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence très hautement significative pour les facteurs huile essentielle ($P = 0,0016$) et dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre longévité (Tableau 1; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre huiles essentielles utilisées dans deux groupes homogènes présentés dans le tableau 16.

Tableau 16 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur la longévité des adultes d'*A.obtectus*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
	Huile	Longévité		
2.0	Orange	6,125	A	
3.0	Pamplemousse	5,9167	A	
1.0	Citron	5,5	A	
4.0	Bigarade	2,8333		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses utilisées dans 4 groupes homogènes (Tableau 17).

Tableau 17 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose d'huile, sur la longévité des adultes d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
	Dose	longévité				
1.0	0ul	11,5625	A			
2.0	2ul	7,3125		B		
3.0	4ul	5,75		B	C	
4.0	6ul	3,8125			C	
5.0	8ul	1,5				D
6.0	10ul	0,625				D

Nos résultats concordent avec les travaux de plusieurs auteurs qui ont mis en évidence l'action des huiles essentielles sur la longévité des ravageurs des denrées stockées. REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI (1995) ont constaté un effet toxique des monoterpènes sur la bruche *A. obtectus*. Ces auteurs rapportent que le linalol étant le plus toxique et l'estragole étant le moins. Ceci peut expliquer les résultats de notre expérimentation qui ont montré que l'huile extraite du bigaradier est la plus toxique, vu que celle-ci est plus riche en linalol et en acétate de linalyle.

En effet, HAUBRUGE et al. (1989) ont testé la toxicité de cinq huiles essentielles de *Citrus* à l'égard de trois coléoptères. Les résultats du test par contact des grains traités ont indiqué que l'huile extraite du bigaradier est la plus efficace simultanément à l'égard de *Sitophilus zeamais*, (Coleoptera: Curculionidae), *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrychidae) et *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). Ces auteurs ont constaté aussi que *S.zeamais* est la plus sensible envers ces huiles vu qu'ils ont noté pour cet insecte une mortalité de 96% à la dose de 5µL de l'huile du bigaradier après 7 jours. Pour le test par application topique, les travaux de ces auteurs ont montré que la longévité de *P. truncatus* est d'une journée à la dose de 2µl de l'huile du bigaradier. En effet des mortalités de 28%, 98%, 34% et 24% des adultes de *S.zeamais* ont été enregistrées à la dose 2µl après 24 heures, respectivement pour les huiles de l'orange douce, du bigaradier, du citron et du pamplemousse.

Le linalol extrait d'une plante de la famille de Lamiacées à savoir *Ocimum canum* a une action très significative sur la longévité des adultes d'*A.obtectus* (Coleoptera: Bruchidae), *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera: Bruchidae), *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) et *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), de fait, un effet très marqué est enregistré avant une durée de traitement de 48 heures (WEAVER et al., 1991).

BITTNER et al. (2008) ont testé la toxicité des huiles essentielles de cinq plantes aromatiques sur *A.obtectus* et *S.zeamais*. Les résultats révèlent que les huiles extraites d'*Eucalyptus globulus* (Myrtacées) et *Thymus vulgaris* (Lamiacées) sont les plus toxiques sur *S.zeamais*, alors que les huiles de *Gomortega keule* (Gomortegacées) et *Laurelia sempervirens* (Monimiacées) sont les plus toxiques sur *A. obtectus*.

V.2.1.2. Action des poudres sur la longévité des adultes d'*A. obtectus*

Les résultats obtenus montrent que la longévité des adultes d'*A.obtectus* diminue parallèlement avec l'augmentation des doses de poudres utilisées.

La longévité moyenne des insectes dans les lots témoins est $11,25 \pm 1,63$ jours, elle diminue ensuite à la dose 2% pour atteindre une moyenne de $6,31 \pm 0,25$ jours pour les poudres des 4 espèces de *Citrus* (Tableau 2; Annexes 1).

A partir de la dose 2%, on observe des diminutions légères de la longévité des lots traités avec les 3 poudres de citronnier, oranger et pamplemoussier, tandis que des diminutions marquées de ce même paramètre sont notées avec la poudre extraite de bigaradier (Figure 21).

Il est ainsi constaté que la poudre des feuilles de bigaradier a le plus grand effet sur la durée de vie des bruches; c'est avec cette poudre que nous avons enregistré des longévités moyennes de moins de 2 jours dès la dose de 8 μ L (Figure 21).

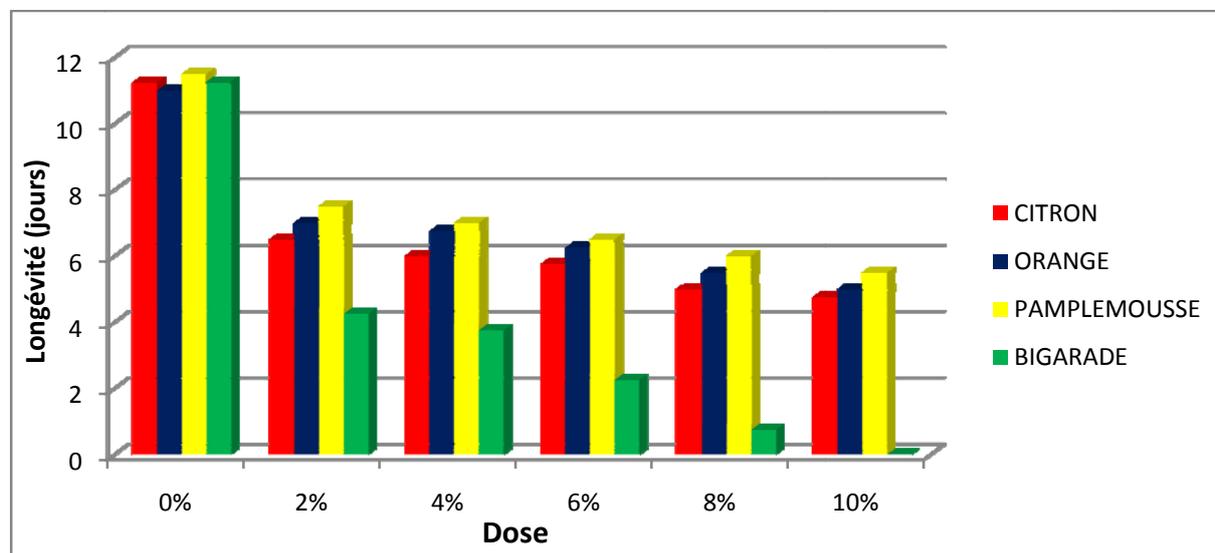


Figure 21: Longévité moyenne des adultes d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence très hautement significative pour les facteurs poudre ($P=0,0000$) et dose ($P=0,0000$) concernant le paramètre longévité (Tableau 2; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre poudres utilisées dans deux groupes homogènes (Tableau 18).

Tableau 18 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur la longévité des adultes d'*A.obtectus*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
	Poudre	Longévité		
3.0	Pamplemousse	7,3333	A	
2.0	Orange	6,9167	A	
1.0	Citron	6,5417	A	
4.0	Bigarade	3,7083		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses utilisées dans 4 groupes homogènes (Tableau 19).

Tableau 19 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de poudre, sur la longévité des adultes d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
	Dose	Longévité				
1.0	0%	11,25	A			
2.0	2%	6,3125		B		
3.0	4%	5,875		B	C	
4.0	6%	5,1875		B	C	D
5.0	8%	4,3125			C	D
6.0	10%	3,8125				D

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres chercheurs qui ont mis en évidence l'effet insecticide des poudres vis-à-vis des insectes ravageurs des denrées stockées.

Ainsi, TAPONDJOU *et al.* (2002) ont constaté que la longévité des adultes de la bruche du haricot varie selon la sensibilité de l'insecte et la dose de poudre utilisée, en effet, la dose 0,4% (poids de poudre par poids des graines) en poudre des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* entraîne une mortalité de 60% des adultes d'*A. obtectus* après deux jours d'exposition, tandis que la poudre de la même plante à la dose de 6,4% (poids de poudre par poids des graines) entraîne une mortalité totale des adultes du charançon du maïs *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), après la même durée de traitement.

BOUCHIKHI TANI (2010) a montré que la longévité des adultes d'*A. obtectus* est inversement proportionnelle à la dose des poudres testées, en outre chez la bruche du haricot, les poudres des feuilles les plus efficaces sont celles d'*Artemisia herba-alba* (Asteracées), *Rosmarinus officinalis* (Lamiacées) et *Origanum glandulosum* (Lamiacées).

Les travaux de KELLOUCHE (2005), sur la bruche du niébé montrent que les poudres végétale de Figuier, d'Eucalyptus, d'Olivier et du Citronnier réduisent significativement la longévité des adultes de *Callosobruchus maculatus* à des fortes doses estimées à 4 et 5%.

Les extraits d'*Ageratum*, de *Clausena anisata* et de *Croton macrostachys*, collectés à l'ouest du Cameroun, ont été testés pour leurs effets insecticides sur *C. maculatus* ; les extraits les plus actifs sont ceux du mélange CH₂Cl₂ /M_eOH des feuilles d'*Ageratum houstoniacum*, (70 % de mortalité à la dose de 100 mg après 1 jour d'exposition) ; l'extrait d'hexane de *C. macrostachys* provoque 50 % de mortalité à une dose supérieure ou égale à 20 mg, après un jour d'exposition. La détermination de la dose létale 50 (DL50) de l'activité de ces deux extraits révèle que l'extrait d'Hexane de *C. macrostachys* est plus toxique que celui au CH₂Cl₂/M_eOH des feuilles d'*A. houstonarium*, après un jour d'exposition, soit 12,6 et 63 mg/g de graines, respectivement (TEUGWA *et al.*, 2002).

V.2.1.3. Action des huiles sur la fécondité des femelles d'*A. obtectus*

D'après les résultats obtenus, la fécondité dans les lots témoins est en moyenne de $159 \pm 13,76$ œufs par 5 femelles, elle diminue de façon notable et progressive avec l'augmentation de la dose des huiles (Tableau 3; Annexes 1).

Les huiles extraites du citron, de l'orange et du pamplemousse réduisent le nombre moyen d'œufs à moins de 20 œufs/5 femelles à partir de la dose de 8 μL , alors que l'huile extraite du bigaradier abaisse la fécondité à moins de 12 œufs/5 femelles dès la dose de 4 μL .

Les résultats présentes dans la figure 22 montrent que la ponte est complètement inhibée à partir de la dose de 6 μL pour l'huile du bigaradier, tandis qu'elle s'annule à la dose de 10 μL pour les autres huiles.

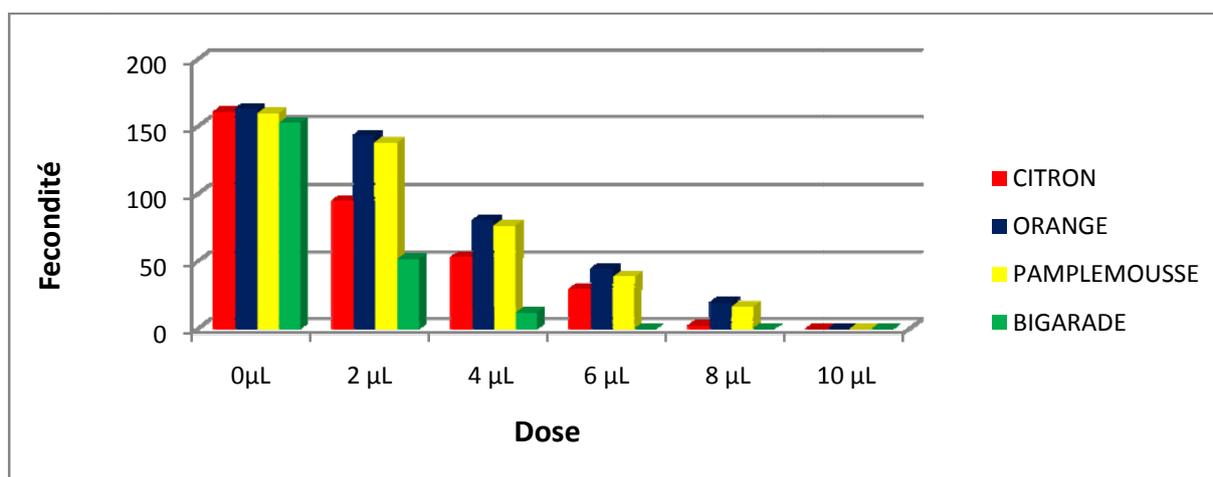


Figure 22 : Fécondité moyenne des femelles d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il ya une différence hautement significative pour le facteur huile essentielle ($P = 0,004$), tandis qu'il ya une différence très hautement significative pour le facteur dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre fécondité (Tableau 3; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre huiles essentielles utilisées pour le paramètre fécondité dans deux groupes homogènes (Tableau 20).

Tableau 20 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur la fécondité des adultes d'*A.obtectus*.

F1	LIBELLES Huile	MOYENNES Fécondité	GROUPES HOMOGENES	
2.0	Orange	75,0417	A	
3.0	Pamplemousse	71,4167	A	
1.0	Citron	56,7083	A	B
4.0	Bigarade	35,9583		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses utilisées pour le paramètre fécondité dans 4 groupes homogènes (Tableau 21).

Tableau 21 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose d'huile, sur la fécondité des adultes d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Fécondité	GROUPES HOMOGENES			
1.0	0ul	159	A			
2.0	2ul	106,8125		B		
3.0	4ul	55,3125			C	
4.0	6ul	28,125				D
5.0	8ul	9,4375				D
6.0	10ul	0				D

Nos résultats sont aussi en accord avec ceux des auteurs qui ont étudié l'impact des huiles extraites des plantes sur la fécondité des femelles d'*A.obtectus* ou sur des espèces voisines.

REGNAUT-ROGER et HAMRAOUI (1994 b) ont exposé les adultes d'*A.obtectus* à des huiles extraites de 24 plantes aromatiques et ce à des doses de $10^{-2} \mu\text{L}/\text{cm}^3$ et $5.10^{-2} \mu\text{L}/\text{cm}^3$ afin d'étudier l'action de ces produit sur la fécondité des femelles. Les résultats indiquent que les huiles extraites de *Thymus vulgaris* (Lamiacées) et *Cinnamomum verum* (Lauracées) diminuent considérablement la ponte des femelles à partir de la dose $10^{-2} \mu\text{L}/\text{cm}^3$.

De même, ils ont noté que les huiles extraites de *Rosmarinus officinalis* et *Thymus serpyllum* (Lamiacées) inhibent complètement la ponte des femelles dès la plus faible dose $10^{-2} \mu\text{l}/\text{cm}^3$, tandis que les huiles extraites de *Satureia hortensis*, *Lavandula angustifolia*, *Origanum majorana* et *Ocimum basilicum* (Lamiacées) inhibent la ponte des femelles à partir de la dose $5 \cdot 10^{-2} \mu\text{l}/\text{cm}^3$.

Par ailleurs, BOUCHIKHI TANI et *al.* (2008) constatent chez les femelles d'*A.obtectus* que la ponte est inhibée complètement dans les graines traitées par les huiles extraites de *Rosmarinus officinalis* et *Artemisia herba-alba* à une dose supérieure ou égale $5\mu\text{l}/30\text{g}$.

L'huile de clous de girofle (Eugénol) affecte d'une manière très hautement significative la fécondité de *C. maculatus*, de sorte qu'à la dose de $5\mu\text{l}$ aucun œuf n'est pondu (KELLOUCHE et SOLTANI, 2004).

V.2.1.4. Action des poudres sur la fécondité des femelles d'*A. obtectus*

Les résultats obtenus dans nos essais montrent que la fécondité dans les lots témoins est en moyenne de $151,31 \pm 23,63$ œuf par 5 femelles, elle diminue en suite au fur et à mesure que l'on augmente la dose des poudre utilisées.

Une légère diminution de la fécondité est enregistrée dès la plus faible dose utilisée (2%), elle est de 107, 113,5, 117 et 37,75 œufs /5 femelles, moyennes correspondantes respectivement aux poudres de citronnier, oranger, pamplemoussier et bigaradier (Tableau 4; Annexes 1).

A la dose 10 % le taux moyen d'œufs pondus diminue à 48,75, 52,5 et 53,75 respectivement pour les poudres du citronnier, de l'oranger et du pamplemoussier alors qu'il s'annule pour la poudre du bigaradier.

Les résultats présentés dans la figure 23 montrent que le taux moyen d'œufs enregistré pour la poudre extraite du bigaradier est moins de 40 œufs/ 5 femelles dès la dose de 2%, par conséquent, cette poudre a le plus grand effet sur la fécondité des femelles d'*A.obtectus* comparativement aux autres poudres utilisées.

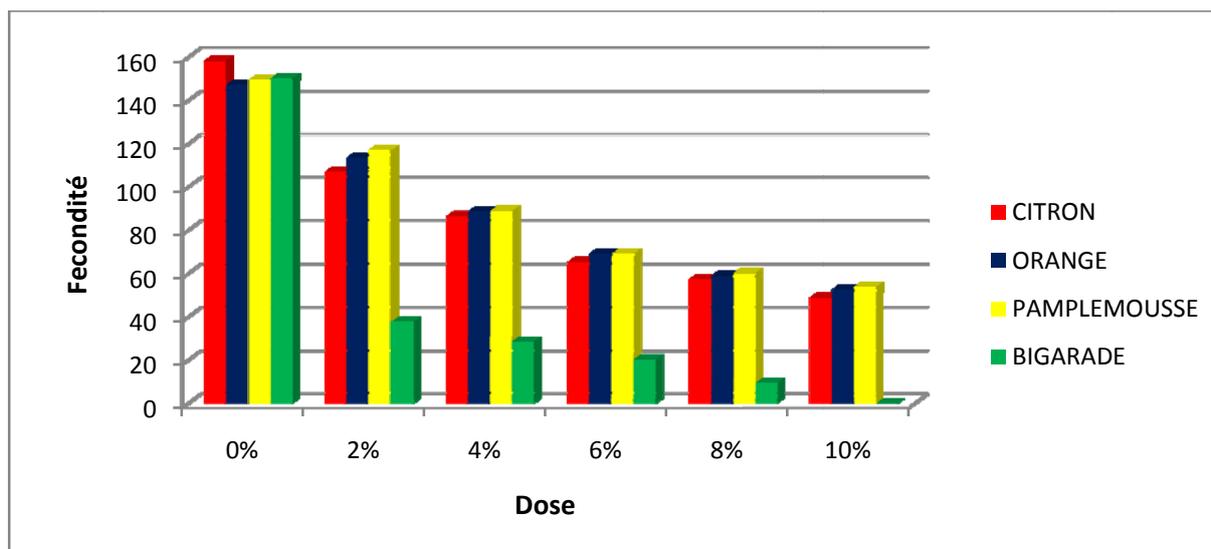


Figure 23 : Fécondité moyenne des femelles d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification présente une différence très hautement significative pour les facteurs poudre ($P=0,0000$) et dose ($P=0,0000$) concernant le paramètre fécondité (Tableau 4; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5%, classe les quatre poudres utilisées en ce qui concerne le paramètre fécondité dans deux groupes homogènes (Tableau 22).

Tableau 22 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur la fécondité des adultes d'*A. obtectus*.

F1	LIBELLES Poudre	MOYENNES Fécondité	GROUPES HOMOGENES	
3.0	Pamplemoussier	89,75	A	
2.0	Oranger	88,3333	A	
1.0	Citronnier	87,1667	A	
4.0	Bigaradier	41,0417		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses de poudres utilisées en ce qui concerne le paramètre fécondité dans 4 groupes homogènes (Tableau 23).

Tableau 23 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de poudre, sur la fécondité des adultes d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Fécondité	GROUPES HOMOGENES			
1.0	0%	151,3125	A			
2.0	2%	93,8125		B		
3.0	4%	73,1875			C	
4.0	6%	56			C	D
5.0	8%	46,375				D
6.0	10%	38,75				D

Ces résultats concordent avec les travaux d'autres chercheurs qui ont mis en évidence l'effet insecticide de certains extraits de plantes sous forme de poudres vis-à-vis des ravageurs des graines stockées.

Selon BOUCHIKHI TANI (2006), l'utilisation de la substance des feuilles de deux variétés (noires et rognon blanc) de *Phaseolus vulgaris*, présente une incidence directe sur la fécondité d'*A.obtectus* notamment à la concentration la plus efficace (100mg/100graines) de cette substance. De même, les traitements effectués avec les substances de feuilles de deux variétés de *P. vulgaris* (blanche et marron) réduisent nettement la fécondité des femelles d'*A. obtectus* dès la faible dose 10mg/100 graines (KASSEMI, 2006).

Les travaux de REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI (1993), ont montré que les plantes de la famille des Labiées (Lamiacées) telles que *Mentha piperata*, *Origanum serpyllum*, *Satureia hortensis*, *Rosmarinus officinalis*, *Thymus vulgaris* et *Thymus serpyllum* entraînent une diminution significative d'oviposition des femelles d'*A. obtectus*. Les poudres des feuilles de *Nicotiana tabacum*, d'*Erythrophleum suaveolus* et de *O. gratissimum* inhibent la ponte et manifestent un effet ovicide sur *C. maculatus* (OFUYA, 1990).

KELLOUCHE (2005) a testé la fécondité des femelles de la bruche du niébé *C. maculatus* avec les poudres des feuilles du figuier *Ficus carica* (Moracées), d'*Eucalyptus globulus* (Myrtacées), d'olivier *Olea europaea* (Oleacées), et du *Citrus limon* (Rutacées). Les résultats ont montré que l'effet de ces poudres affecte légèrement la fécondité des femelles,

cependant celle-ci est complètement inhibée avec la poudre de giroflier *Syzygium aromaticum* (Myrtacées) aux plus faibles doses.

V.2.1.5. Action des huiles sur la l'éclosion des œufs d'*A. obtectus*

Les résultats présentés dans la figure 24 et le tableau (Tableau 5; Annexes 1) montrent que le taux moyen d'œufs éclos est réduit dès la plus faible dose ; Il est de $129,68 \pm 7,36$ œufs/5femelles dans les échantillons témoins et passe ensuite à une moyenne de $78,75 \pm 21,35$ œufs /5femelles pour l'ensemble des huiles à la dose de 2 μL .

La figure 24 illustre que les 4 huiles utilisées affectent l'éclosion des œufs d'*A.obtectus*, notamment avec l'huile du bigaradier qui la réduit à moins de 5 œufs éclos/5femelle dès la dose de 4 μL et l'huile du citron qui l'abaisse à moins de 15 œufs éclos/5femelle à partir de la dose de 6 μL .

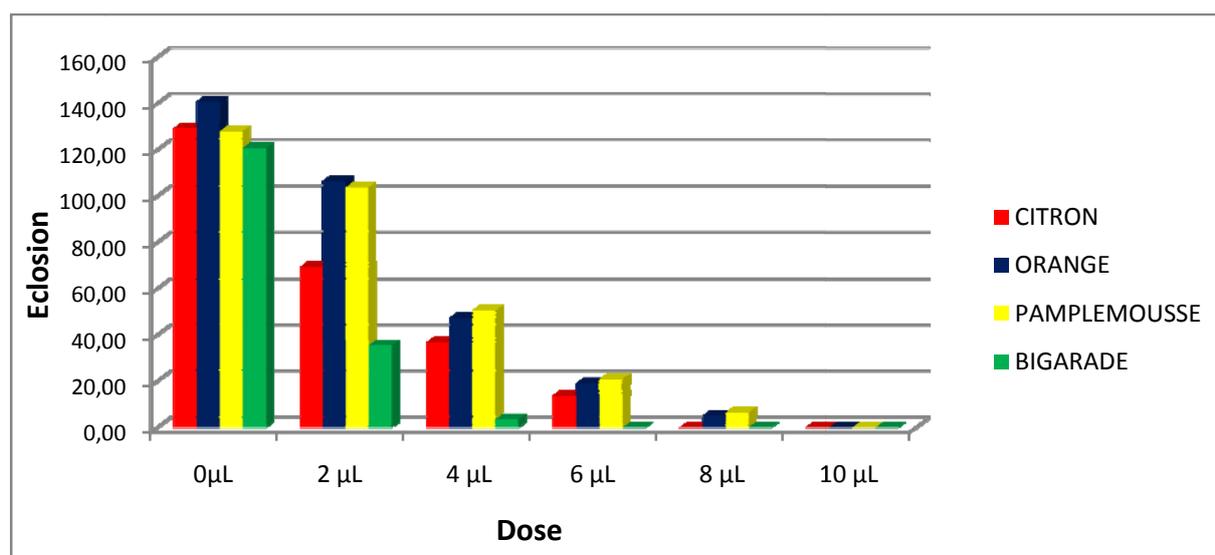


Figure 24 : Nombre moyen d'œufs éclos d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification marque une différence significative pour le facteur huile essentielle ($P = 0,0116$) et une différence très hautement significative pour le facteur dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre éclosion des œufs (Tableau 5; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre huiles essentielles utilisées pour le paramètre éclosion dans deux groupes homogènes (Tableau 24).

Tableau 24 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur l'éclosion des œufs d'*A.obtectus*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
	Huile	Eclosion		
2.0	Orange	53,0833	A	
3.0	Pamplemousse	51,5833	A	
1.0	Citron	41,5	A	B
4.0	Bigarade	26,625		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses des huiles utilisées pour le paramètre éclosion des œufs dans 4 groupes homogènes (Tableau 25).

Tableau 25 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de l'huile, sur l'éclosion des œufs d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
	Dose	Eclosion				
1.0	0ul	129,6875	A			
2.0	2ul	78,75		B		
3.0	4ul	34,5			C	
4.0	6ul	13,375				D
5.0	8ul	2,875				D
6.0	10ul	0				D

Nos résultats sont concordants avec ceux obtenus par plusieurs auteurs, qui ont mis en évidence l'action des huiles essentielles sur les ravageurs des Légumineuses.

Selon HILL et VAN SCHOONHOVEN (1981), l'huile extraite des feuilles du palmier et celle extraite des graines du cotonnier ont un effet très significatif sur le taux d'éclosion des œufs de la bruche du haricot.

D'après CREDLAND (1992), il s'agit d'une asphyxie par l'obstruction du tunnel de l'œuf qui est la voie des échanges gazeux avec le milieu extérieur, c'est ainsi que l'huile et ses constituants ont un effet toxique, étant donné qu'ils peuvent pénétrer à travers le chorion de l'œuf. En outre DON PEDRO (1989), constate qu'il ya une accumulation du métabolite toxique et une insuffisance de l'activité respiratoire chez l'embryon.

Les huiles essentielles extraites d'*O. basilicum* et d'*O. gratissimum* inhibent de façon très considérable l'éclosion des œufs, celle-ci a été réduite à un taux de 3 % avec *O. basilicum* et à 15 % avec *O. gratissimum*. Une protection totale a été observée à long terme, après 3 mois, à la dose de 400 µL (KEÏTA et al., 2001).

AIBOUD (2011) a testé les huiles essentielles du myrte, du thym, de l'origan, de l'eucalyptus, du bois d'inde et des clous de girofle sur l'éclosion des œufs. Les résultats montrent que les traitements effectués avec les huiles essentielles du basilic, des clous de girofle et du bois d'inde réduisent d'une manière significative ($P=0,05612$) l'éclosion des œufs, l'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence hautement significative pour le facteur huile essentielle ($F=5,864$ et $P= 0,0632$) et une différence non significative pour le facteur dose ($F= 0,431$ et $P= 0,65873$) et pour leurs interaction ($F = 1,548$ et $P= 0,20832$).

De même, il a constaté que les huiles essentielles de l'eucalyptus, du thym et de l'origan ont complètement inhibé la ponte des œufs dans le test par contact. Le nombre d'œufs éclos dans les lots témoins (612,2 œufs) est nettement supérieur à celui des lots traités. Le nombre d'œufs éclos diminue considérablement au fur et à mesure que la dose est augmentée.

TUNÇ et al. (2000) ont mis en évidence une activité insecticide de plusieurs huiles essentielles, comme celle de l'*Eucalyptus camaldulensis* sur les œufs d'*Ephestia kuehniella* (Lepidoptera : Pyralidae) et ceux de *T. confusum* (Coleoptera : Tenebrionidae).

V.2.1.6. Action des poudres sur l'éclosion des œufs d'*A. obtectus*

Les résultats présentés dans la figure 25 montrent que le nombre d'œufs éclos diminue au fur et à mesure que la dose de poudre utilisée augmente.

L'éclosion d'œufs est en moyenne de $113,43 \pm 17,36$ dans les lots témoins, puis on observe une diminution à la dose de 2% correspondant à une moyenne de $64,62 \pm 12$ d'œufs éclos pour l'ensemble des poudres utilisées.

Les résultats du tableau (Tableau 6; Annexes 1) montrent que l'éclosion d'œufs subit des diminutions légères avec l'utilisation des poudres du citronnier, de l'oranger et du pamplemoussier, alors qu'elle subit des diminutions marquées avec la poudre du bigaradier qui a permis d'enregistrer une moyenne d'éclosion inférieure à 25 œufs éclos/5 femelles dès la dose de 2%.

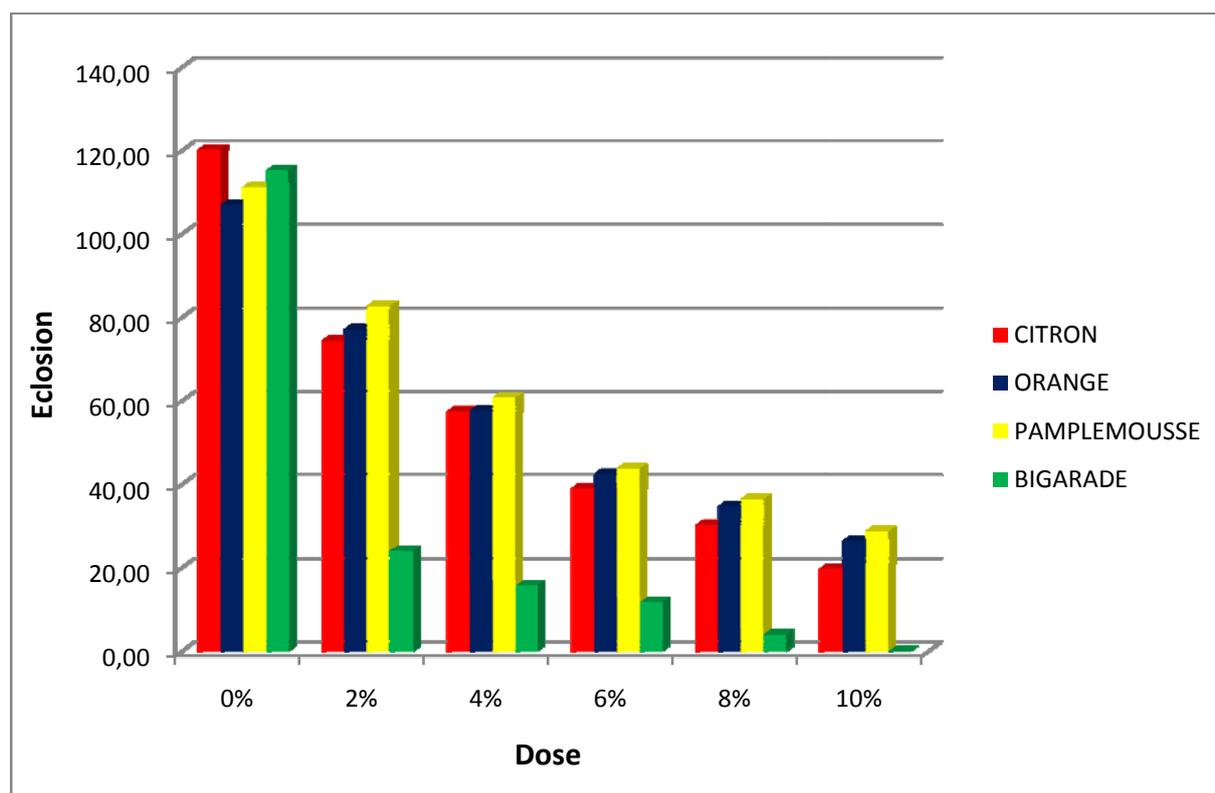


Figure 25 : Nombre moyen d'œufs éclos d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle qu'il y a une différence très hautement significative simultanément pour le facteur huile essentielle ($P = 0,000$) et pour le facteur dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre éclosion des œufs (Tableau 6; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre poudres utilisées pour le paramètre éclosion dans deux groupes homogènes (Tableau 26).

Tableau 26 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur l'éclosion des œufs d'*A.obtectus*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
	Poudre	Eclosion		
3.0	Pamplemoussier	60,625	A	
2.0	Oranger	57,625	A	
1.0	Citronnier	56,875	A	
4.0	Bigaradier	28,4583		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses de poudres utilisées pour le paramètre éclosion des œufs dans 4 groupes homogènes (Tableau 27).

Tableau 27 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de la poudre, sur l'éclosion des œufs d'*A.obtectus*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
	Dose	Eclosion				
1.0	0%	113,4375	A			
2.0	2%	64,625		B		
3.0	4%	47,9375			C	
4.0	6%	34,25			C	D
5.0	8%	26,375				D
6.0	10%	18,75				D

Nos résultats concordent avec ceux de BOUCHIKHI TANI (2006), qui a montré que le taux d'éclosion des œufs d'*A. obtectus* s'annule à la concentration de 100mg/100graines (concentration la plus efficace) de la substance des feuilles de deux variétés de *Phaseolus vulgaris*. Ainsi, KASSEMI (2006) a constaté que les feuilles de deux variétés de *P. vulgaris* blanche et marron réduisent significativement le taux d'éclosion des œufs des adultes d'*A. obtectus* proportionnellement à l'augmentation de la dose.

RAJAPAKSE et al. (1998) ont testé les poudres de 5 espèces végétales à savoir le poivrier (*Pipiper nigrum* L), l'Annona (*Annona reticulata* L.), le Neem (*Azadirachta indica* A.jus), le chilli (*Capsicum annum* L.) et le citronnier (*Citrus limon* L) sur l'oviposition, l'émergence, et la mortalité des adultes de *C. maculatus*; lorsque les graines de niébé sont traitées avec la poudre d'*A. indica* un effet très significatif a été observé sur l'oviposition de *C. maculatus* avec une réduction de ponte de l'ordre de 37 %. De même, une réduction de 39% a été obtenue avec la poudre d' *A. reticulata*, à la dose de 0,2 g après 48 h de traitement. Concernant la poudre d'*A. indica*, elle a entraîné une réduction de l'émergence des adultes de *C. maculatus* de 20,3 % avec 0.2 g après 30 jours de traitement.

Les travaux de KELLOUCHE et SOLTANI (2004) ont montré que les poudres des plantes d'*Eucalyptus globulus*, de *C. limon*, d'*O. europeae*, et plus particulièrement de *S. aromaticum* et de *F. carica*, peuvent avoir une action ovicide, soit en diminuant l'adhésivité des œufs sur le tégument des graines, soit en agissant sur l'embryon après leur pénétration à travers le chorion.

V.2.1.7. Action des huiles sur l'émergence des adultes d'*A. obtectus*

Les traitements effectués avec l'huile du citron, de l'orange, du pamplemousse et du bigaradier réduisent nettement le taux d'émergence comparativement au témoin dont la viabilité est de 33,15 % ce qui correspond à 43 individus émergés pour l'ensemble des œufs éclos (Tableau 7; Annexes 1).

D'après la figure 26, on observe que le taux d'émergence et la viabilité des adultes d'*A. obtectus* s'annulent pour les huiles du citron, de l'orange et du pamplemousse aux doses 8 et 10 μ L et s'annulent à partir de la dose 4 μ L pour l'huile du bigaradier.

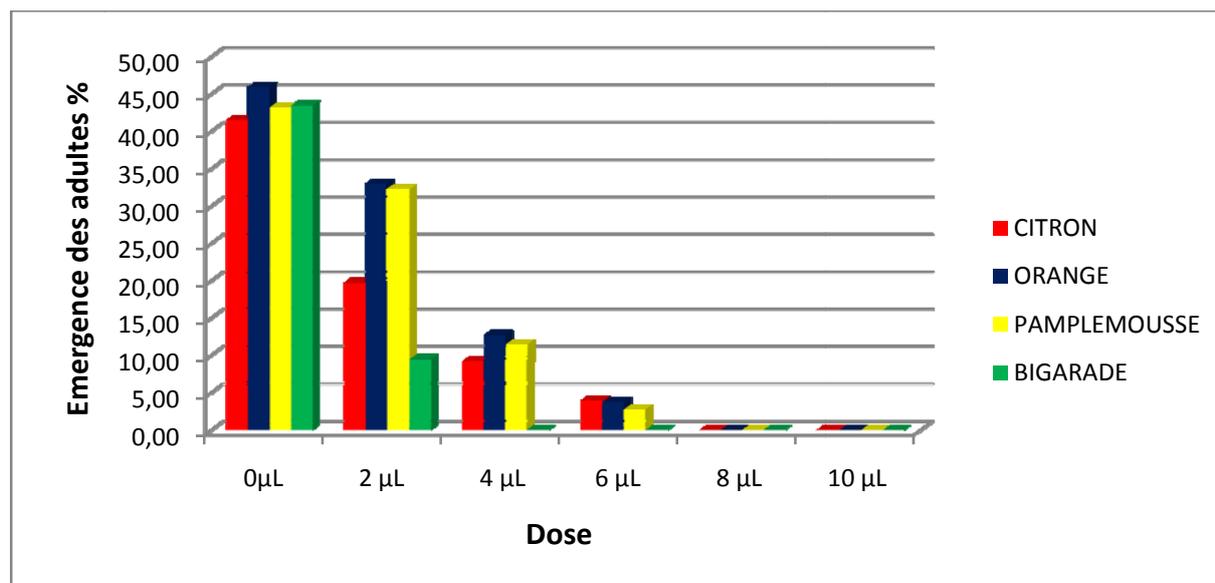


Figure 26 : Nombre moyen d'émergence des adultes d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type d'huile utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification montre qu'il n'y a pas de différence significative pour le facteur huile ($P = 0,0723$), par conséquent les 4 huiles appartiennent au même groupe concernant le paramètre émergence des adultes, alors qu'elle présente une différence très hautement significative pour le facteur dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre émergence des adultes d'*A. obtectus* (Tableau 7; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses utilisées pour le paramètre émergence des adultes dans 3 groupes homogènes (Tableau 28).

Tableau 28 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de l'huile sur l'émergence des adultes d'*A. obtectus*.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
	Dose	Emergence			
1.0	0ul	43,5625	A		
2.0	2ul	23,625		B	
3.0	4ul	8,375			C
4.0	6ul	2,625			C
5.0	8ul	0			C
6.0	10ul	0			C

Nos résultats sont proches de ceux obtenus par REGNAULT-ROGER et HAMRAOUI (1995), qui ont noté un effet toxique des monoterpènes sur la bruche *A. obtectus*, celle-ci est plus sensible au linalool. C'est ainsi, que REGNAULT-ROGER et al. (2002) ont conclu que le linalool, le carvacrol, l'eugénol, le thymol, et le terpinéol affectent considérablement l'émergence des adultes d'*A. obtectus*.

AIBOUD (2011) a testé les huiles essentielles du myrte, le thym, l'origan, l'eucalyptus, le bois d'inde et les clous de girofle sur l'émergence des adultes de niébé *Callosobruchus maculatus*. Les tests effectués montrent que les différentes huiles exercent une activité larvicide très hautement significative proportionnellement à l'augmentation de la dose.

En effet, il a estimé l'effet des huiles essentielles sur la viabilité des larves en comptant le nombre d'individus émergents de la première génération ; dans le test témoin, le nombre d'individus émergents varie de 458 à 724. Un effet larvicide a été enregistré à partir de la dose 5µL/50g.

De même, KEÏTA et al. (2001) ont constaté que les huiles essentielles d'*O. basilicum* et d'*O. gratissimum* réduisent de façon notable le taux d'émergence des adultes respectivement avec des moyennes de 0 et 4 %

V.2.1.8. Action des poudres sur l'émergence des adultes d'*A. obtectus*

Les résultats du tableau (Tableau 8; Annexes 1) montrent que la viabilité des lots non traités est de 38,23%, soit une moyenne de 43,37 individus émergés. Elle diminue ensuite légèrement à 33,65% pour les plus faibles doses utilisées, soit une moyenne de 21,75 individus émergés.

Les résultats présentés dans la figure 27 montrent que la poudre extraite du bigaradier a l'effet le plus marqué sur l'émergence des adultes d'*A. obtectus* ; en effet c'est avec cette poudre que nous avons enregistré un nombre moyen d'émergence inférieur à 7 individus dès la dose de 2%.

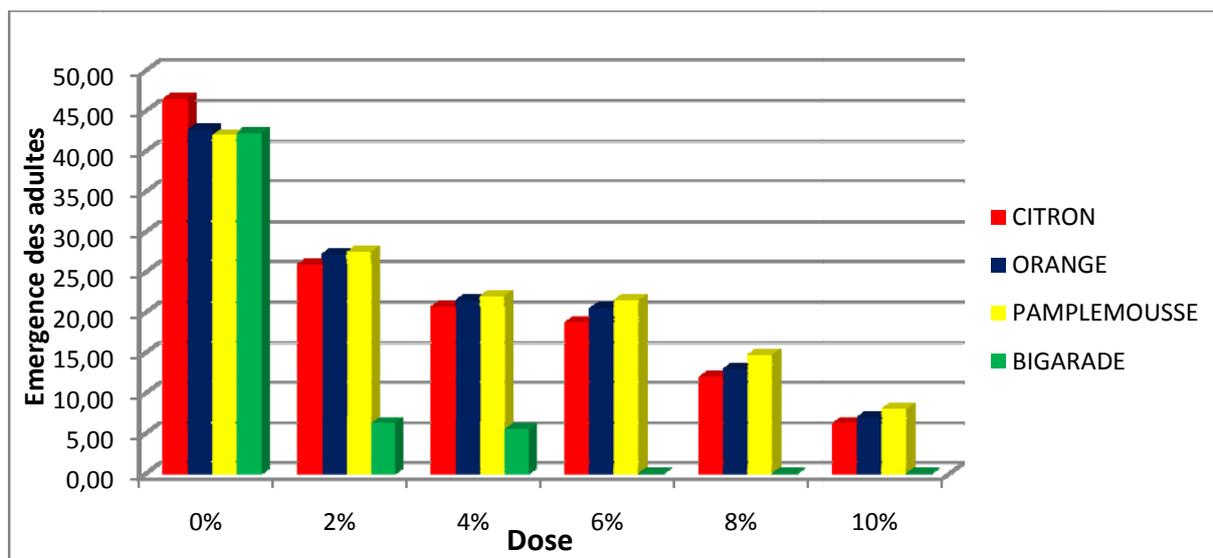


Figure 27 : Nombre moyen d'émergence des adultes d'*A. obtectus* selon les différentes doses et le type de poudre utilisé.

L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur poudre ($P = 0,0000$) et pour le facteur dose ($P = 0,0000$) concernant le paramètre émergence des adultes (Tableau 8; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les quatre poudres utilisées pour le paramètre émergence des adultes d'*A. obtectus* dans deux groupes homogènes (Tableau 29).

Tableau 29 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur l'émergence des adultes d'*A. obtectus*.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
	Poudre	Emergence		
3.0	Pamplemoussier	22,625	A	
2.0	Oranger	22	A	
1.0	Citronnier	21,7083	A	
4.0	Bigaradier	9		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses de poudres pour le paramètre émergence des adultes 4 groupes homogènes (Tableau 30).

Tableau 30 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de la poudre sur l'émergence des adultes d'*A.obtectus*

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
	Dose	Emergence				
1.0	0%	43,375	A			
2.0	2%	21,75		B		
3.0	4%	17,4375		B		
4.0	6%	15,1875		B	C	
5.0	8%	9,9375			C	D
6.0	10%	5,3125				D

L'effet des poudres des feuilles de diverses plantes sur l'émergence des bruches a été mis en évidence par de nombreux auteurs. Ainsi, KASSEMI (2006) a constaté que les poudres des feuilles de deux variétés de *P. vulgaris* blanche et marron réduisent de façon significative le nombre des descendants d'*A. obtectus* comparativement aux échantillons non traités.

Les travaux de KELLOUCHE et SOLTANI (2004) sur une espèce voisine à savoir la bruche du niébé, ont révélé que la poudre de clous de girofle a un effet très considérable sur l'émergence des adultes de *C. maculatus*. En effet, cette poudre empêche toute émergence dès la plus faible dose de 0.2%. En outre l'huile essentielle extraite de la même plante entraîne la suppression de la première génération à partir de la dose de 0.1 %.

La réduction des descendants de la première génération est supérieure à 90% dans les traitements réalisés avec la poudre de feuilles de figuier et varie de 80 à 100% dans les traitements effectués avec l'eugénol (1 à 5µl). La plus faible dose (0,1ml/50g) d'huile d'olive de la première pression et de tournesol empêche toute émergence des adultes de bruches de *C. maculatus* (KELLOUCHE, 2005).

V.2.1.9. Action des huiles sur la perte en poids des graines du haricot

La perte en poids des graines, est proportionnelle au nombre d'individus émergés, en fait, elle est plus élevée dans les échantillons témoins avec une moyenne de $8,25 \pm 0,64$ g, puis elle subit des diminutions à 35,75, 5,25, 5 et 1,75g respectivement pour les huiles du ciron, de l'orange, du pamplemousse et du bigaradier (Tableau 9; Annexes 1).

D'après la figure 28, il est à noter que la perte en poids des graines est inférieure à 2 g à la dose 2 μ L et s'annule dès la dose de 4 μ L pour l'huile du bigaradier, tandis qu'elle est inférieure à 2g à la dose de 6 μ L et s'annule à partir de la dose de 8 μ L pour les huiles des autres espèces de *Citrus* utilisées.

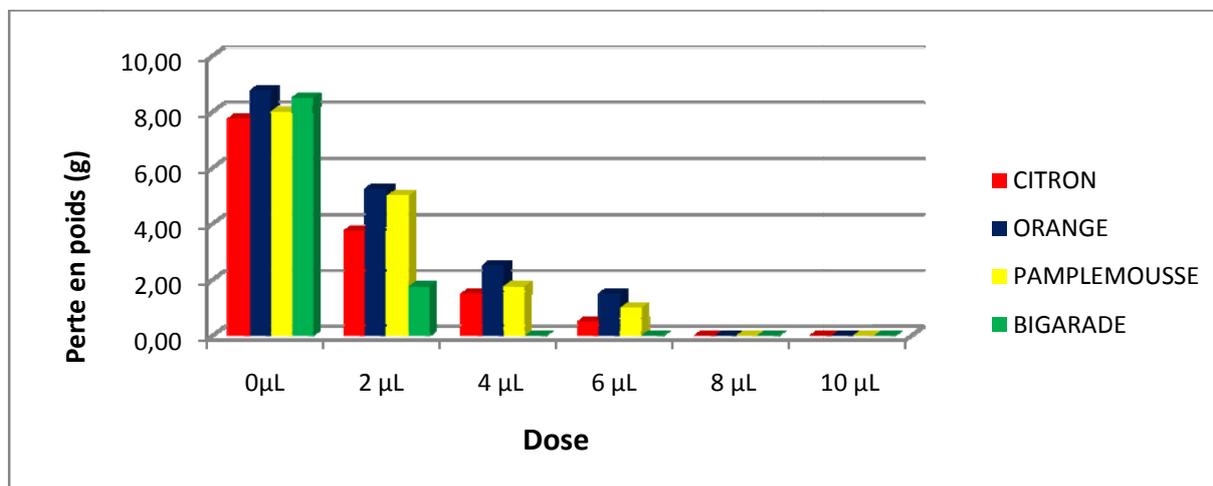


Figure 28 : Pertes en poids (g) des graines du haricot en fonction des doses et de type d'huile utilisé.

L'analyse statistique révèle qu'il y a une différence significative pour les 4 huiles testées ($p=0,0352$) et une différence très hautement significative pour les 6 doses utilisées ($p=0,0000$) en ce qui concerne la perte en poids des graines de *P.vulgaris* (Tableau 9; Annexes 2)

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les huiles testées pour le paramètre perte en poids des graines dans 2 groupes homogènes (Tableau 31).

Tableau 31 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur la perte en poids des graines du haricot.

F1	LIBELLES Huile	MOYENNES Perte en poids	GROUPES HOMOGENES	
2.0	Orange	3	A	
3.0	Pamplemousse	2,625	A	B
1.0	Citron	2,25	A	B
4.0	Bigaradier	1,7083		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses d'huile pour le paramètre perte en poids des graines dans 4 groupes homogènes (Tableau 32).

Tableau 32 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de l'huile sur la perte en poids des graines.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Perte en poids	GROUPE HOMOGENES			
1.0	0ul	8,25	A			
2.0	2ul	3,9375		B		
3.0	4ul	1,4375			C	
4.0	6ul	0,75			C	D
5.0	8ul	0				D
6.0	10ul	0				D

Nos résultats montrent que dans les lots non traités avec les huiles essentielles, une perte de poids importante a été enregistrée pour les graines du haricot, elle est d'une moyenne de $8,25 \pm 0,64$ g pour les 4 lots témoins, soit un taux de perte de poids de 33% par rapport au poids total des graines saines. Donc, en absence de traitement, il ya lieu de présager des dégâts considérables si les mesures nécessaires ne sont pas prises.

C'est dans ce cadre que OUEDRAGO (2004) a estimé les pertes occasionnées par la bruche du niébé *C.maculatus* dans les entrepôts stockés à plus de 800g/1Kg de graine dans une durée de 7 mois.

Les résultats obtenus dans notre expérimentation sont en accord avec ceux d'AIBOUD (2011), qui a traité les graines du niébé avec les huiles essentielles extraites du myrte, du thym, de l'origan, de l'eucalyptus, du bois d'inde et des clous de girofle en vue d'estimer la perte en poids occasionnée par les adultes de *C.maculatus*. Les résultats montrent que les différentes huiles testées ont une action très hautement significative sur la réduction des pertes en poids des graines exposées aux bruches, en fonction des doses et du type de l'huile essentielle.

En effet, l'analyse statistique montre que les différentes huiles testées ont une action très hautement significative sur la réduction des pertes en poids des graines exposées aux bruches. L'analyse de la variance à deux critères de classification révèle une différence très hautement significative pour le facteur plante ($P= 0,00073$), très hautement significative pour le facteur dose ($P= 0,0000$) et très hautement significative pour leur interaction ($P= 0,0000$).

V.2.1.10. Action des poudres sur la perte en poids des graines du haricot

D'après le tableau (Tableau 10; Annexes 1) et la figure 29, la perte en poids des graines à la dose 2% est inférieure à celle enregistrée dans les lots non traités, puis elle subit des diminutions légères envers les poudres du citronnier, de l'oranger et du pamplemoussier alors qu'elle diminue d'une façon notable avec de la poudre du bigaradier qui a marqué des moyennes de poids perdu inférieures à 1g dès la dose de 4%.

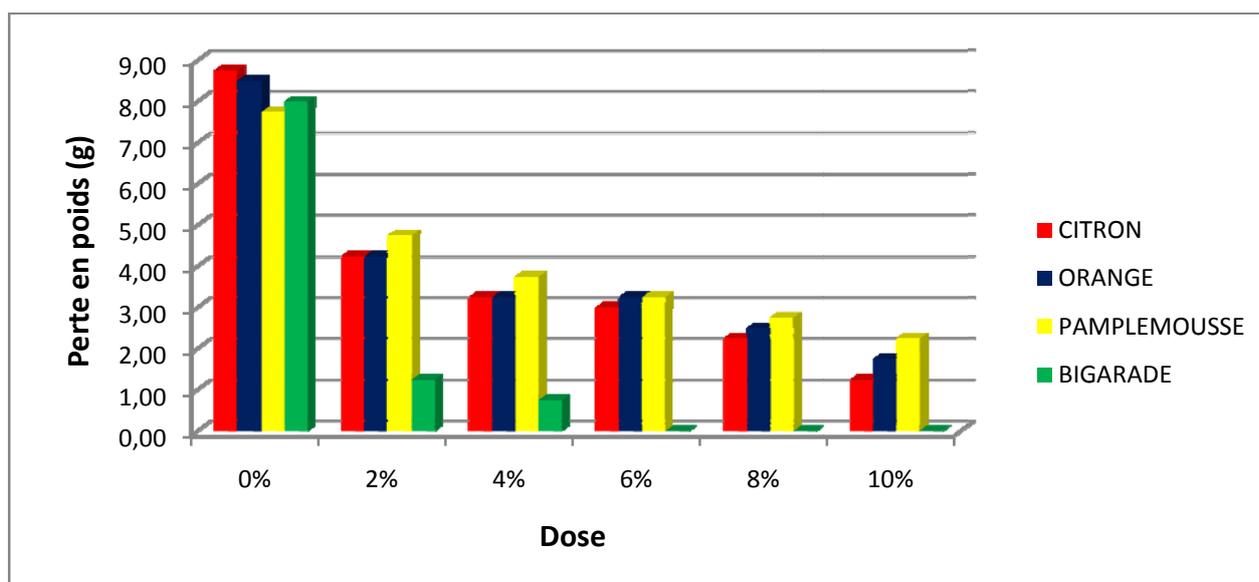


Figure 29 : Pertes en poids (g) des graines du haricot en fonction des doses et du type de poudre utilisé.

L'analyse statistique révèle qu'il y a une différence très hautement significative simultanément pour le facteur poudre ($p=0,0000$) et le facteur dose ($p=0,0000$) en ce qui concerne la perte en poids des graines de *P.vulgaris* (Tableau 10; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les poudres testées pour le paramètre perte en poids des graines dans 2 groupes homogènes (Tableau 33).

Tableau 33 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur la perte en poids des graines du haricot.

F1	LIBELLES Poudre	MOYENNES Perte en poids	GROUPES HOMOGENES	
3.0	Pamplemoussier	4,0833	A	
2.0	Oranger	3,9167	A	
1.0	Citronnier	3,7917	A	
4.0	Bigaradier	1,6667		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses de poudres pour le paramètre perte en poids dans 4 groupes homogènes (Tableau 34).

Tableau 34 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de la poudre sur la perte en poids des graines

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Perte en poids	GROUPES HOMOGENES			
1.0	0%	8,25	A			
2.0	2%	3,625		B		
3.0	4%	2,75		B	C	
4.0	6%	2,375			C	D
5.0	8%	1,875			C	D
6.0	10%	1,3125				D

D'une manière semblable à l'expérience effectuée précédemment, nos résultats montrent que dans les lots non traités avec les poudres, une perte de poids aussi considérable a été enregistrée pour les graines bruchées. Elle est d'un taux moyen de 33% par rapport au poids total des graines saines, ceci est le résultat d'une forte pullulation d'*A.obtectus* en absence de traitement. C'est ainsi que la perte en poids des graines de *P.vulgaris* est liée d'une part à l'activité biologique des larves à l'intérieure de leurs cotylédon et d'autre part à l'émergence des adultes qui proviennent du développement de ces larves. Il semble en fait,

que la perte en poids est le résultat d'une interaction entre les paramètres biologique de la bruche du haricot.

La toxicité des poudres utilisées sur l'ensemble des paramètres, notamment la poudre du bigaradier peut expliquer la réduction de la perte en poids des graines traitées. Ces résultats concordent avec les travaux de RIGHI (2010), qui a noté que les poudres des feuilles et des fleurs du pois chiche ont des effets bien déterminés (réduction) sur tous les paramètres des adultes de *Callosobruchus chinensis* (longévité, fécondité, fertilité, sex-ratio, cycle de vie, mesures du poids). L'étude a surtout montré l'influence de l'huile du Thym et de la poudre de Santoline sur ces paramètres par rapport à la poudre d'Anagyre et ce malgré les faibles doses testées.

V.2.1.11. Action des huiles sur la faculté germinative des graines du haricot

Dans les lots renfermant les graines saines (sans insectes), le taux de germination est de 100%. Le taux de germination est en relation directe avec le nombre des larves et l'émergence des adultes d'*A.obtectus*, en effet, la faculté germinative des graines du haricot traitées avec les plus fortes doses des huiles essentielles est considérablement élevée, vu que l'émergence des adultes d'*A.obtectus* est faible (Tableau 11; Annexes 1).

La figure 30 montre que le taux de germination est supérieur à 90% à partir de la dose 4 μ L pour l'huile du bigaradier et il est supérieur à 80% dès la dose de 6 μ L pour les autres huiles, alors qu'il est inférieur à 10% pour les lots non traités.

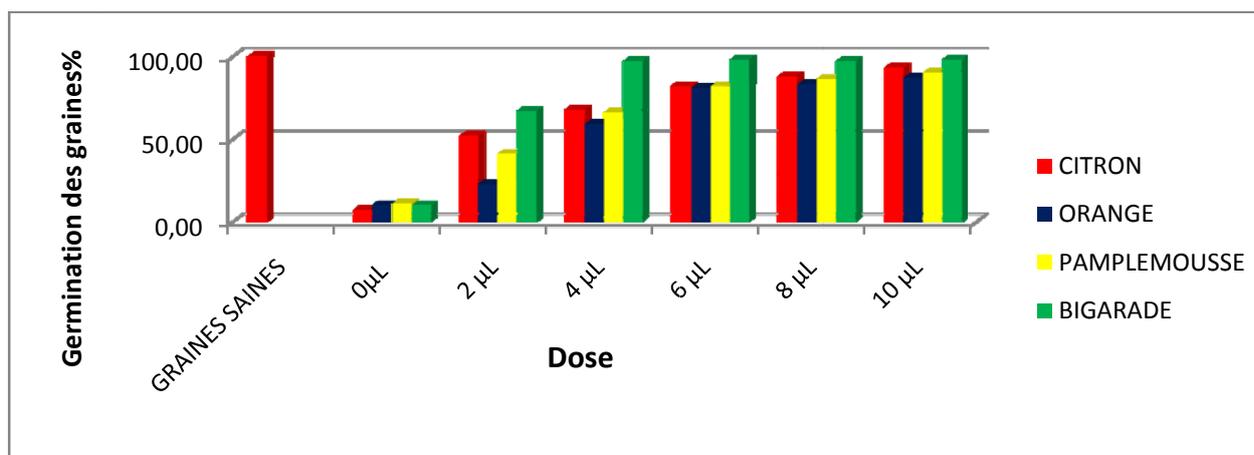


Figure 30 : Taux de germination des graines du haricot en fonction des doses et du type d'huile utilisé.

L'analyse statistique révèle qu'il y a une différence hautement significative pour les huiles testées ($p=0,0023$) et une différence très hautement significative pour les doses utilisées ($p=0,0000$) en ce qui concerne la germination des graines du haricot (Tableau 11; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les huiles testées pour le paramètre germination des graines dans 2 groupes homogènes (Tableau 35).

Tableau 35 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur la germination des graines du haricot.

F1	LIBELLES Huile	MOYENNES Germination	GROUPES HOMOGENES	
4.0	Bigaradier	77,8333	A	
1.0	Citron	65		B
3.0	Pamplemousse	62,6667		B
2.0	Orange	57,1667		B

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses d'huiles pour le paramètre germination des graines dans 4 groupes homogènes (Tableau 36).

Tableau 36 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de l'huile sur la germination des graines.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Germination	GROUPES HOMOGENES			
6.0	10ul	92	A			
5.0	8ul	88,5	A			
4.0	6ul	85,75	A			
3.0	4ul	72,5		B		
2.0	2ul	45,75			C	
1.0	0ul	9,5				D

Nos résultats montrent que la germination des graines dans des lots témoins (graines bruchées et non traitées) est très faible avec un taux moyen de 9,5 %. GAIN (1897), a constaté que le pouvoir germinatif des graines attaquées par les bruches est fortement

diminué, cela se traduit par la perforation des graines et l'imbibition des cotylédons, ce qui rend ces graines vulnérables à des attaques importantes par des germes pathogènes.

Cependant, dans les lots traités avec les huiles essentielles, nos résultats montrent que les graines ont marqué un taux de germination important dès les plus faibles doses.

Ces résultats sont similaires à ceux d'AIBOUD (2011), qui a testé le pouvoir germinatif des graines du niébé avec les huiles essentielles extraites du myrte, du thym, de l'origan, de l'eucalyptus, du bois d'inde et des clous de girofle. En effet, la faculté germinative des graines de niébé traitées avec les plus fortes doses des huiles essentielles est très élevée, étant donné que l'émergence des adultes de *C. maculatus* est faible dans ces lots.

Il a ainsi remarqué, qu'en augmentant la dose, la faculté germinative augmente, une germination très élevée est obtenue à partir d'une dose de 5 μ L/ 50 g pour l'huile essentielle du bois d'inde.

V.2.1.12. Action des poudres sur la faculté germinative des graines du haricot

Les résultats du tableau (Tableau 12; Annexes 1) et la figure 31 montrent que le taux de germination des graines de *P.vulgaris* est en moyenne de 48,5% à la dose la moins élevée pour l'ensemble des poudres, puis il augmente proportionnellement avec l'accroissement des doses, pour atteindre une moyenne de 84,25% à la dose la plus élevée pour l'ensemble des poudres.

La poudre extraite du bigaradier est la plus favorable pour fortifier la faculté germinative des graines du haricot vu qu'elle a enregistré des moyennes supérieures à 69 % dès la plus faible dose utilisée.

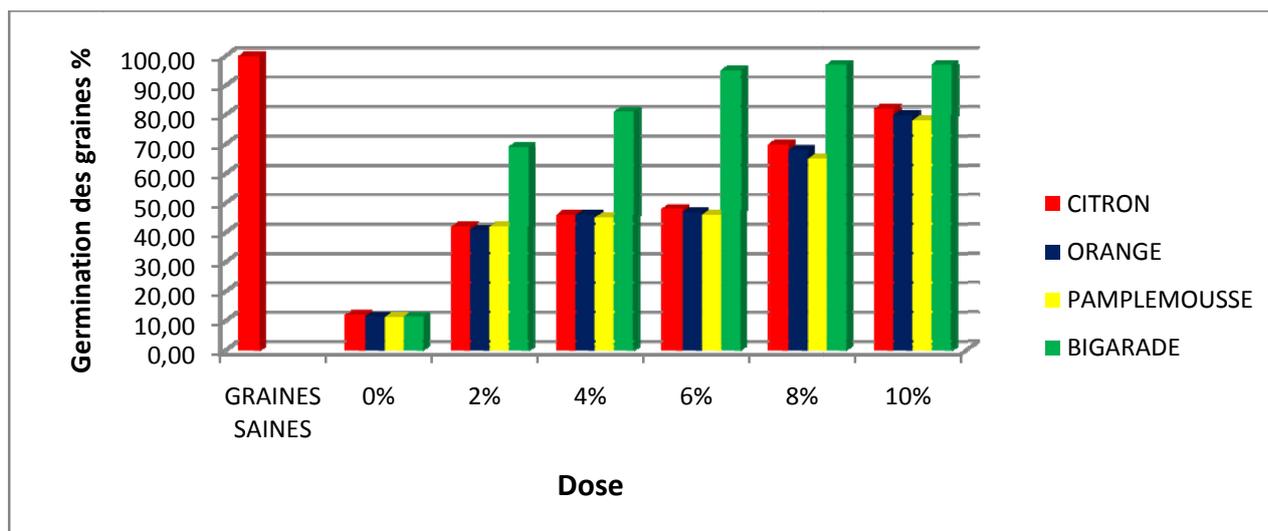


Figure 31 : Taux de germination des graines du haricot en fonction des doses et du type d'huile utilisé.

L'analyse statistique montre qu'il y a une différence très hautement significative à la fois pour le facteur poudre ($p=0,0001$) et le facteur dose ($p=0,0000$) en ce qui concerne la germination des graines de *P. vulgaris* (Tableau 12; Annexes 2).

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les poudres testées pour le paramètre germination des graines dans 2 groupes homogènes (Tableau 37).

Tableau 37 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur poudre, sur la germination des graines du haricot.

F1	LIBELLES Poudre	MOYENNES Germination	GROUPES HOMOGENES	
4.0	Bigaradier	75,0833	A	
1.0	Citron	50	B	
2.0	Orange	48,9167	B	
3.0	Pamplemousse	48,2083	B	

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses d'huiles pour le paramètre germination des graines dans 3 groupes homogènes (Tableau 38).

Tableau 38 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur dose de la poudre sur la germination des graines du haricot.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Germination	GROUPES HOMOGENES		
6.0	10%	84,25	A		
5.0	8%	75	A		
4.0	6%	59		B	
3.0	4%	55		B	
2.0	2%	48,5		B	
1.0	0%	11,5625			C

Nos résultats sont en accords avec ceux de plusieurs auteurs, qui ont mis en évidence l'effet des poudres végétales sur le pouvoir germinatif des graines des Légumineuses. Celles-ci sont traitées dans nos essais avec de fortes doses de poudres, toutefois leurs facultés germinatives ne sont pas altérées.

C'est ainsi que BOUCHIKHI TANI (2006) a observé que les graines traitées par la poudre des feuilles de *P. vulgaris* conservent leur pouvoir germinatif et peuvent être destinées à la semence, étant donné que cette substance ne présente aucun effet négatif sur leur pouvoir germinatif.

Egalement, KASSEMI (2006) a noté que les substances des feuilles de deux variétés d'haricots, blanc et marron testées à la plus grande concentration (100mg/100graines) n'ont aucun effet sur le pouvoir germinatif des graines du haricot.

V.3. Effet des huiles essentielles par répulsion

D'après les résultats présentés dans le tableau (39), nous observons que le nombre de bruches diminue dans les parties traitées avec l'augmentation de la dose utilisée, en outre les effets les plus considérables sont enregistrés à la dose de 40µL avec des pourcentages de répulsion de 75%, 35%, 65% et 85% respectivement pour les huiles du citron, de l'orange, du pamplemousse et du bigaradier.

Tableau 39 : Nombre moyen de bruches recensés dans le papier filtre à différentes doses d'huiles utilisées.

HUILE	La dose (µL)	Nombre de bruches présentes dans:		Pourcentage de répulsion (%)
		Partie traitée	Partie non traitée	
Citron	10	3,75	6,25	25
	20	3,00	7,00	40
	30	2,00	8,00	60
	40	1,25	8,75	75
Orange douce	10	4,75	5,25	5
	20	4,75	5,25	5
	30	3,75	6,25	25
	40	3,25	6,75	35
Pamplemousse	10	4,50	5,50	10
	20	3,25	6,75	35
	30	2,00	8,00	60
	40	1,75	8,25	65
Bigaradier	10	3,00	7,00	40
	20	1,25	8,75	75
	30	1,00	9,00	80
	40	0,75	9,25	85

La figure (32) montre que le taux de répulsion le plus faible est enregistré avec l'huile de l'orange douce avec une moyenne de 17,5%, alors que le plus élevé est enregistré avec l'huile du bigaradier avec une moyenne de 70%. Pour les deux autres huiles on a noté des taux de répulsions avec des moyennes de 50% et 42,5% respectivement pour l'huile du citron et du pamplemousse.

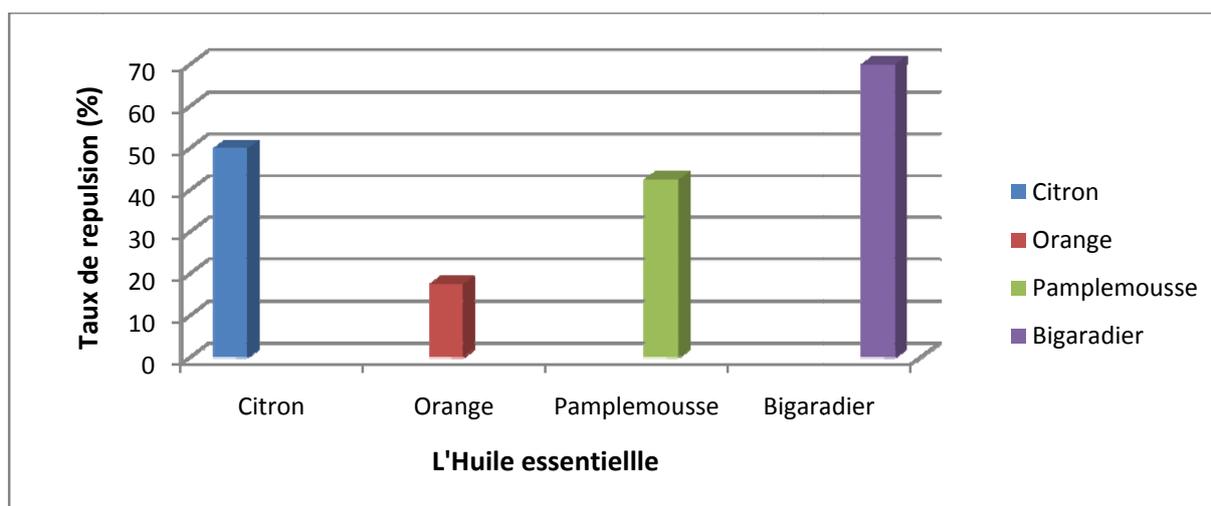


Figure 32 : Taux moyen de répulsion des adultes d'*A.obtectus* en fonction des huiles essentielles utilisées.

Selon Mc DONALD et *al.* (1970), les huiles utilisées sont réparties dans les classes répulsives suivantes (tableau 40).

Tableau 40 : Classement des huiles essentielles selon leurs propriétés répulsives

Huiles	Citron	Orange douce	Pamplemousse	Bigaradier
Répulsion %	50%	17,5%	42,5%	70%
Classe répulsive	III	I	III	IV
Effet	Modérément répulsive	Très faiblement répulsive	Modérément répulsive	répulsive

L'effet répulsif de certaines huiles végétales a été constaté par de nombreux chercheurs, c'est ainsi que NDOMO et *al.* (2009) rapportent qu'après deux heures d'exposition, les différentes doses de l'huile essentielle des feuilles de *Callistemon viminalis* (de 0,031 à 0,25 μ L/cm²) ont occasionné une répulsion dont le taux varie de 36,6 à 80% vis-à-vis des adultes d'*A. obtectus* (Coleoptera: Brachidae). Ceci montre clairement que le pourcentage de répulsion augmente en fonction de la dose.

REMBOLD (1997) rajoute que les extraits de certaines plantes comme *Melia volkensii* et *d'Azadirachta indica* sont connus depuis longtemps pour leurs effets répulsifs et anti-appétant contre les insectes.

De même, TAPONJOU et *al.* (2003) constatent que l'huile de *C. ambrosioide* avait des propriétés répulsives relativement plus élevées (PR= 89%) que celle d'*E.soligna* (PR= 71%), bien que les deux soient fortement répulsives et ce vis-à-vis de bruche du niébé *C. maculatus*.

NERIO et *al.* (2009) testent l'effet répulsif de sept huiles essentielles par la méthode des choix multiples, vis-à-vis de *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). Ces huiles sont extraites de plantes qui proviennent de la Colombie, dont les principaux composants sont des monoterpènes et des composés phénoliques. Les résultats montrent que six huiles essentielles ont une activité répulsive avec un effet plus marqué pour l'huile extraite de *Lippia*

origanoides. Les huiles extraites d'*E. citriodora* et de *Tagetes lucida* ont manifesté également un effet répulsif à des doses qui varient entre 0,063 et 0,503 ml/cm².

Les résultats obtenus par AIBOUD (2011) pour le test de répulsion sur la bruche du niébé *C.maculatus* mettent en évidence un effet dose pour les sept huiles essentielles testées. Le thym, l'origan et le basilic ont montré une activité plus marquée (très répulsive) par rapport aux autres huiles essentielles.

V.4 Effet des huiles essentielles par inhalation

La figure 33 montre que les taux de mortalité des adultes d'*A.obtectus* sont proportionnels aux deux facteurs dose et temps pour les quatre huiles utilisées. Le pourcentage de mortalité le moins élevé est enregistré pour l'huile de l'orange avec une moyenne de 18,33% sur l'ensemble des doses et des durées d'exposition, tandis que celui le plus élevé est enregistré pour l'huile du bigaradier avec une moyenne de 79,27% sur l'ensemble des doses et des durées de traitement.

Après 24 heures, on observe dès la dose 16 µL une moyenne de mortalité de 100% pour l'huile du bigaradier, par conséquent, celle-ci a l'effet inhalatoire le plus important sur la bruche du haricot (tableau 41).

Tableau 41 : Taux moyen de mortalité (%) des adultes d'*A.obtectus* testés avec les huiles des *Citrus* en fonction des doses et de la durée du traitement.

HUILE	Citron				Orange douce				Pamplemousse				Petit grain bigarade			
	24H	48H	72H	96H	24H	48H	72H	96H	24H	48H	72H	96H	24H	48H	72H	96H
Durée																
Dose																
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	7,5	20	27,5	0	0	0	0	0	0	0	7,5	47,5	92,5	100	100
8	7,5	12,5	32,5	40	0	0	12,5	27,5	0	7,5	20	30	72,5	100	100	100
12	12,5	30	37,5	57,5	0	10	17,5	30	7,5	12,5	30	40	90	100	100	100
16	27,5	37,5	50	75	10	22,5	40	60	22,5	30	42,5	62,5	100	100	100	100
20	67,5	70	82,5	92,5	22,5	50	60	77,5	30	57,5	70	82,5	100	100	100	100

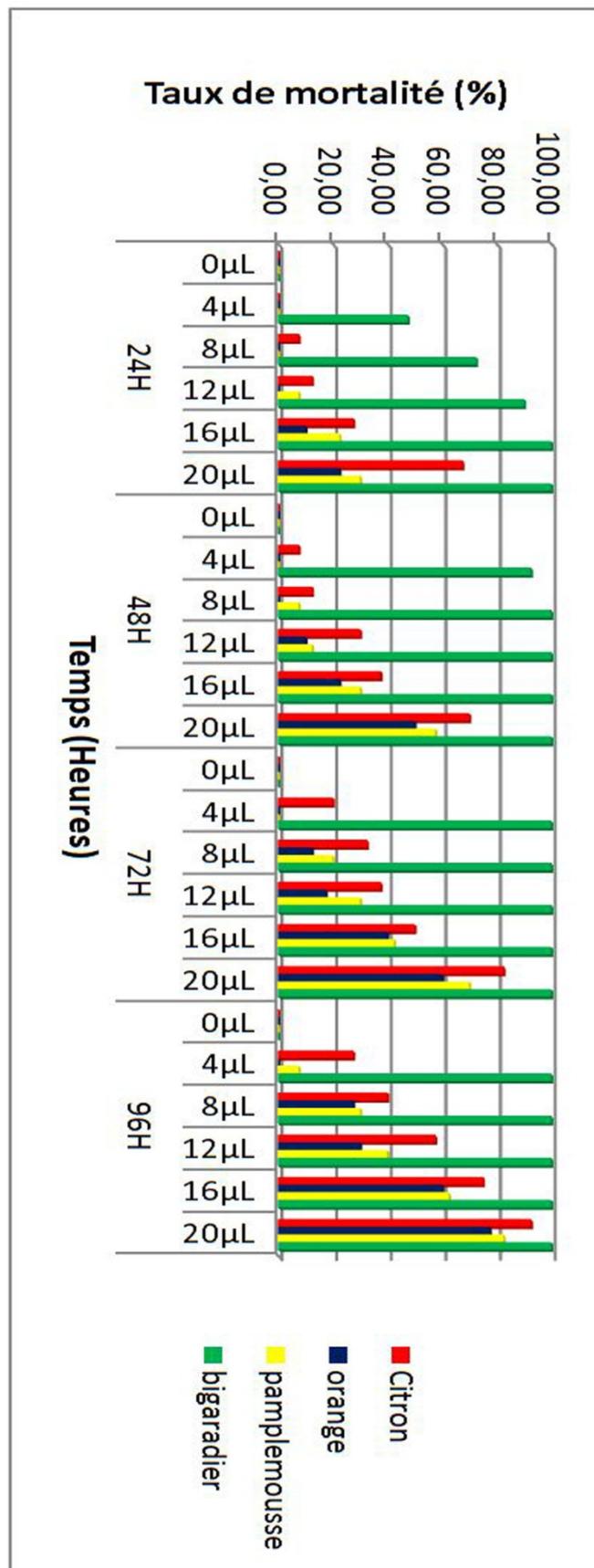


Figure 33 : Mortalité (%) des adultes d'*A. obiectus* traités par les huiles des *Citrus* en fonction des doses et de la durée de traitement.

L'analyse de la variance à trois critères de classification révèle qu'il y a une différence très hautement significative à la fois pour le facteur huile ($P=0,0000$), le facteur dose ($P=0,0000$) et le facteur temps ($P=0,0000$), toutefois les interactions entre les facteurs ne montrent pas des différences significatives ; leurs probabilités sont de 0,1891 et 0,0695 respectivement pour l'interaction huile-dose et dose-temps.

Le test statistique de NEWMAN et KEULS classe les huiles essentielles des 4 espèces de *Citrus* dans 3 groupes homogènes pour le paramètre mortalité (%) des adultes d'*A.obtectus* par effet inhalatoire (Tableau 42).

Tableau 42 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet du facteur huile, sur la mortalité des individus d'*A.obtectus* testés par inhalation.

F1	LIBELLES Huile	MOYENNES Mortalité	GROUPES HOMOGENES		
4.0	Bigaradier	79,2708	A		
1.0	Citron	33,1875		B	
3.0	Pamplemousse	23,0208			C
2.0	Orange	18,3333			C

Le test de NEWMAN et KEULS, au seuil de signification 5 %, classe les 6 doses d'huiles dans 6 groupes homogènes (Tableau 43).

Tableau 43 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet des huiles sur la mortalité des adultes d'*A.obtectus* testés par inhalation.

F2	LIBELLES Dose	MOYENNES Mortalité	GROUPES HOMOGENES						
6.0	20ul	72,6563	A						
5.0	16ul	55		B					
4.0	12ul	43,3125			C				
3.0	8ul	34,5938				D			
2.0	4ul	25,1563					E		
1.0	0ul	0							F

Le teste statistique révèle que les durées de traitement sont classées dans 4 groupes homogènes (Tableau 44).

Tableau 44 : Résultat du test de NEWMAN et KEULS concernant l'effet de la durée du traitement sur la mortalité des adultes d'*A.obtectus* testés par inhalation.

F3	LIBELLES Temps	MOYENNES Mortalité	GROUPES HOMOGENES			
4.0	96h	51,1667	A			
3.0	72h	41,9167		B		
2.0	48h	35			C	
1.0	24h	25,7292				D

Nos résultats corroborent ceux des travaux de plusieurs chercheurs qui ont mis en évidence la toxicité des huiles essentielles par voie d'inhalation ou de fumigation à l'égard des ravageurs des denrées stockées.

MORAVVEJ et ABBAR (2008) constatent que les huiles essentielles extraites du zeste de quatre *Citrus* ont des toxicités variables selon la dose et la durée d'exposition des insectes (adultes de *C.maculatus*) vis-à-vis de la vapeur de ces huiles (test par fumigation). En effet, il n'y a pas de mortalité chez ces adultes après 3 heures d'exposition à la vapeur de l'huile de *C.sinensis* aux plus faibles doses, toutefois il y a des taux de mortalité de 24, 29 et 40%, après la même durée d'exposition, respectivement pour les huiles de *C.limonum*, *C.paradisis* et *C.aurantium* à la dose de 400µl par 1L d'air.

L'effet des huiles essentielles de cinq *Citrus* par inhalation, appliqué sur les feuilles de papier filtre, révèle que l'huile essentielle du bigaradier est la plus toxique à la fois à l'égard de *Sitophilus zeamais*, *Prostephanus truncatus* et *Tribolium castaneum* (HAUBRUGE et al., 1989).

Selon DON PEDRO (1996), l'huile essentielle extraite du zeste du citron appliquée par voie de fumigation sur *C. maculatus* et *Dermestes maculatus*, respectivement à des doses de 7.8 et 21.5ul/l d'air entraîne une mortalité de 50% pour les œufs de ces deux insectes.

D'après SHAAYA et al. (1991), l'huile extraite de *Lavandula angustifolia*, à la dose de 5µl/lL d'air provoque une mortalité de 100% chez les adultes de *R. domimca* et 90% chez les adultes d'*O. surinamensis* après une durée de 24h d'exposition à la vapeur de l'huile.

L'huile essentielle extraite de *Cymbopogon schoenanthus* a manifesté une activité insecticide considérable à la dose de 6,7 µl/l d'air à l'égard des adultes de *C. maculatus*. A des doses supérieures à 33,3 µL/L d'air, les huiles essentielles de *C. citratus*, *C. nardus*, *Lippia multiflora*, *E. citriodora* et *Diplolofium africanum* ont montré une activité insecticide très importante, en effet, ces huiles provoquent plus de 90 % de mortalité des insectes après une durée de 24 h de traitement (KETOH et al., 2000).

L'étude de la bruche *Acanthoscelides obtectus* et ses paramètres biologiques, nous a révélé d'abord que la durée moyenne du cycle biologique de l'insecte, dans les conditions de notre expérimentation est de 30 ± 2 jours. L'incubation est de 6 ± 1 jours tandis que les 4 stades larvaires et la nymphose ont une même durée de développement qui est 12 ± 1 jours.

Il semble plutôt que la durée du cycle de développement soit liée à la température, ce qui favoriserait dans les conditions les plus propices de fortes pullulations. Il s'avère, en effet, qu'en période chaude, il y a lieu de redouter des dégâts considérables si les mesures de protection nécessaires ne sont pas prises.

D'une manière générale, nos résultats indiquent que les huiles et les poudres extraites du citronnier, de l'oranger, du pamplemoussier et du bigaradier exercent une toxicité plus ou moins importante vis-à-vis d'*A. obtectus*. Pour l'ensemble des tests effectués, l'huile et la poudre extraite du bigaradier sont avérées être les plus efficaces pour lutter contre la bruche du haricot.

Il est ainsi vraisemblable que l'utilisation des huiles et les poudres de ces *Citrus* dans les traitements par contact réduisent la longévité des adultes d'*A. obtectus* avec un effet moins marqué pour les poudres. L'huile du bigaradier induit une mortalité de 100% à la dose de $6 \mu\text{l}$ avant 24 heures, alors que les autres entraînent une mortalité de 100% à la dose de $10 \mu\text{l}$ avant 12, 18 et 30 heures respectivement pour les huiles du citron, du pamplemousse et de l'orange par conséquent aucune descendance n'est enregistrée à ces doses.

En effet, nous avons enregistré une mortalité de 100% à la dose 10% avant 24 heures pour la poudre du bigaradier, par contre nous avons noté à la même dose une mortalité de 100% avant 114, 120 et 132 heures respectivement pour la poudre du citronnier, de l'oranger et du pamplemoussier.

L'utilisation des huiles et des poudres de ces *Citrus* est avantageuse, vu qu'elle limite les pertes en poids des graines de *P. vulgaris*, en outre le pouvoir germinatif de celles-ci reste non altéré aux plus fortes doses.

En ce qui concerne le test de répulsion, les huiles ont montré des effets différents à l'égard de l'insecte, nous avons constaté que l'huile du bigaradier est répulsive avec un taux de 70%, l'huile du citron et du pamplemousse sont modérément répulsive avec des taux de 50% et 42,5% respectivement, alors que l'huile de l'orange présente un effet très faiblement répulsif avec un taux de 17,5%.

De même, les huiles essentielles ont montré des effets inhalatoires différents à l'égard des bruches ; l'huile du bigaradier manifeste un effet de fumigation très marqué même aux plus faibles doses, toutefois les huiles du ciron, de l'orange et du pamplemousse ont révélé un effet notable exclusivement à de fortes doses.

Cependant d'autres études doivent être effectuées pour compléter ce travail dans le but d'évaluer l'importance d'autres huiles essentielles et de poudres végétales pour lutter contre ce ravageur potentiel des denrées stockées.

Il sera judicieux par ailleurs, d'affiner cette recherche avec des expérimentations ultérieures qui pourront nous amener à mieux cerner les composés responsables de l'effet insecticide de ces huiles et poudres vis-à-vis de cet insecte.

Ainsi des études doivent être réalisées avant toute application de ces huiles et poudres sur une grande échelle afin de prévenir d'éventuels risques toxiques aussi bien pour l'environnement que pour la santé humaine et animale.

Références bibliographiques

- AIBOUD K., 2011.** Etude de l'efficacité de quelques huiles essentielles à l'égard de la bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) et impacts des traitement sur la germination des graines de *Vigna unguiculata*, Memoire de Magister en sciences écologie. U.M.M.T.O.58p.
- ALVAREZ N., 2004.** Plantes hôtes et organisation de la diversité des insectes phytophages, des radiations évolutives aux processus populationnels: le cas des bruches du genre *Acanthoscelides schilsky* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat, Univ. Montpellier II, 54p.
- ANONYME, 1995.** Portraits de légumes: Les atouts nutritionnels des légumes. Tout savoir sur les légumes, la santé et la nutrition. Lien. www.fondation-louisbonduelle.org.
- ANONYME, 2001.** Laboratoire Bivea, extraction des huiles essentielles des agrumes (*Citrus. Sp*).http://www.bivea.fr/info_bivea/pranarom/principe_extraction_huiles_essentielle.php
- ANONYME, 2002.** Le bulletin bimensuel. Direction des politiques de commercialisation, Agriculture et Agroalimentaire Canada.4p.
- ANONYME, 2009.** Haricot. Microsoft Encyclopedia [DVD]. Microsoft Corporation 2008
- ANONYME, 2010.** Pamplemoussier. Microsoft Encyclopédia [DVD]. Microsoft Corporation, 2009.
- AOUINTY B., OUFARA S., MELLOUKI F. et MAHAR S., 2006.** Les extraits aqueux. Biotechnol. Agro. Soc. Environ. 67p.
- ACQUARONNE L., CORTICCHIATO M., RAMZOTTI J. et RAOUL J.L., 1998.** "Growing of *Monarda fistulosa* in France and getting of essential oils by hydrodiffusion." *Rivista Italiana* . PP 761-765.
- AVIDOU Z., APPLEBAYNS S. W. et BERLINGES M. J., 1965.** Physiological aspects of host specificity in the Bruchidae on positional preference and behavior of *Callosobruchus chinensis* L. ENT. Exp and appl. PP 96-106.
- BACHELOT S., BLAISE D., CORBEL F. et GUERNIC L., 2006.** Huiles essentielles extraction et comparaison, thèse licence 2 biologie (U.C.Ü Bretagne Nord), 60p.
- BALACHOWSKY A., 1962.** Entomologie appliquée à l'agriculture, Tome I. Les Coléoptères. Ed. MASSON et Cie EDITEURS, Paris VIème. 494p.
- BALON N. et KIMON H., 1985.** Nutrition azotée des légumineuses : Nitrogen nutrition of légumes. Institut National de Recherche Agronomique. 281p.
- BENREY B., CALLEJAS A., RIOS L., OYAMA K. et DENNO R.F., 1998.** The effects of domestication of brassica and phaseoluson the interaction between phytophagous insects and parasitoids. *Biological Control*, 11, PP 130-140.

- BERTRAND H., 1972.** Larves et nymphes des coléoptères aquatiques du globe, Paris, 418p.
- BIRCH M.C., 1974.** Pheromones, North-Holland research. Comp. Ed. 495p.
- BITTNER M. L., CASANUEVA M. E., ARBERT C. C., AGUILERA M. A., HERNADEZ V.J et BECERRA J.V., 2008.** Effects of essential oils from five plant species against the granary weevils *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera). *J. CM. Chem. Sp.* 53 (1), PP 1455-1459.
- BONNEMAISON L., 1962.** Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Ed. Sep, Paris, PP 124-132.
- BOROWIE C.L., 1987.** The genera of seed- beetles (Coleoptera: Bruchidae) Pols krépismo Entomologize.57, PP 3- 207.
- BOUCHIKHI TANI Z., 2006.** Bio-efficacité de la substance des feuilles de deux variétés de haricot *Phaseolus vulgaris* sur les différents états et stades de développement de la bruche du haricot. Mémoire. Mag. En bio. Eco ani Univ. Tlemcen, 74p.
- BOUCHIKHI TANI Z., HASSANI F. et KHELIL M. A., 2008.** Bioefficacy of essential oils extrated from the leaves of *Rosmarinus officinalis* et *Artemisia herba-alba* towards the bruche bean *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of pure and applied microbiology*, Vol. 2 (1). PP 165-170.
- BOUCHIKHI TANI Z., BEN DAHOU M. et KHELIL M.A., 2009.** Lutte contre la bruche *A. obtectus* et la mite *Tineola bissellilella* par deux huiles essentielles extraites de deux plantes aromatiques d'Algérie. *Lebanese Science Journal*, Vol. 11. PP 55-65.
- BOUCHIKHI TANI Z., 2010.** Lutte contre la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera, Bruchidae) et la mite *Tineola bisselliella* (Lepidoptera, Tineidae) par des plantes aromatiques et leurs huiles essentielles. Thèse. Doctorat. En bio. Eco ani Univ. Tlemcen, 125p.
- BOUGHDAD A., GILLON Y. et GAGNEPAIN C., 1986.** Influence des téguments des grains murs du *Vicia faba* sur le développement larvaire de *Callosobruchus maculatus*, *Entomologie. Exp. Appl.*, PP 210-223.
- BRUNETON J. 1999.** Pharmacognosie, phytochimie et plantes médicinales. 3^{eme} Ed. Tec. et Doc., Paris. P461-769.
- CHAUX C.L. et FOURY C.L., 1994.** Production légumière, tome III, *légumineuses potagères, légumes fruits*. Edition Lavoisier, Paris.854p.
- CISOWSKI W., 1985.** Flavonoid compounds in *Myrrhis odorata* (L.) Scop. *Herba Polonica*. 31, PP 13-19.
- CLEMENT J.M., 1981.** Les agrumes. Librairie Larousse, Paris, PP 36-37.

CREDLAND P.F., 1992. The structure of bruchid eggs may explain the ovocidal effects of oils. *Journal of Stored Product Research*. 28 (1), PP 1-9.

CRUZ J. F., TRONDE F., GRIFFON D. et HEBER J. P., 1988. Conservation des grains en région chaudes « techniques rurale en Afrique ». 2 ed, Ministère de la coopération et du développement, Paris France, 545 p.

DAVEY K.G., 1970. Copulation and oogenesis in *Rhodnius prolixus*. In "Influence des stimuli externes sur la gamétogenèse des insectes. C.N.R.S.Ed. PP 249-256.

DECELLE J., 1981. Bruchidae related to grain legumes in the Afro-tropical area. *Series entomological*. 19. PP617-636.

DELOBEL A. et TRAN B., 1993. Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes, Paris, 424p.

DEMOL J., 2002. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium. PP 351–392.

DIDIER C., 1984. La culture des agrumes en Irak. Edition IRFA Fruit, 39, PP 189- 205.

DJOSSOU J., 2006. Etude des possibilités d'utilisations des formulations à base de fruits secs de *Xylopiya aethiopica* Dunal (Annonaceae) pour la protection des stocks de niébé contre *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera : Bruchidae), Master complémentaire, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux Belgique, 70p.

DON-PEDRO K.N., 1985. Toxicity of some citrus peels to *Dermistes maculatus* Deg. And *Callosobruchus maculates* (F). *Journal of stored products research*. 21(1), PP 31-34.

DON PEDRO K.N., 1989. Mode of action of fixed oils against eggs of *Callosobruchus maculates* (F). *Pesticide Science* 26, PP 107-16.

DON-PEDRO K.N., 1996. Fumigant toxicity of citrus peel oils against adult and immature stages of storages insect pest. *Pestic. Sci.* 47, PP 213-223.

DOUCET R. 1992., La science agricole : climat, sol et production végétale du Québec. Deuxième édition revue. Ed. Berger. 653p.

DOUMANDJI S. E., 1977. Le stockage et la lutte contre les ennemis des céréales. Séminaire, la meunerie et les industries céréalières. PP 4-14.

DUPRIEZ H. et DELEENER P., 1987. Jardins et vergers d'Afrique, Nivelles, Belgique. PP 128-173.

EL – BADRY E. A. et AHMED M. Y. Y., 1975. Effects of gamma radiation on The egg stage of southern Cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.). *Z.Angew. Entomol.* PP 79- 32.

- ENAN E., 2000.** Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*. Vol130 (3), PP 325-337.
- ENAN S., 2005.** Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect biochemistry and molecular biology*. Vol35(4), PP 309-321.
- ERRARD C., 1981.** Effet du groupement sur l'attractivité des mâles d'*acanthoscelides obtectus*, dans certaines conditions expérimentales. *Biology of behaviour*, 6, PP 229-237.
- FANNY B., 2008.** Effet Larvicide des huiles essentielles sur *Stomoxys calcitrans* à la Réunion. Thèse pour obtenir le grade de Docteur vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse. 78p.
- FOUILLOUX G. Et BANNEROROT H., 1992.** Le Haricot. In: GALLAIS, A. Et BANNEROT, H. (Editors). Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA Editions, Paris, France. PP 392-405.
- FRANSSEN CJ., 1956.** De levenswijze en de bnestrijding van de bonekever *Acanthoscelides obtectus* Say (Mededeling n° 143). *Meded. Dir. Tuinb.* 19, PP 797-899.
- GAIN E., 1897.** Sur la germination des grains de légumineuses habitués par les bruches C. R. *Ac. Sc. Paris*. PP 195-197.
- GAKURU N. et FOUA-BI. K., 1996.** Effet d'extraits de plantes sur la bruche du niébé (*Callosobrucus maculatus*.F.) et le charançon de riz (*Sitophilus oryzae* L.) *Tropicultura* 13, PP 143-146.
- GALLAS A. Et BENNFORT H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de la sélection- Paris. Ed : INRA. PP75-142.
- GEERTS P., TOUSSAINT A., MERGEAI G, BAUDOIN J.P., 2011.** *Phaseolus* immature embryo rescue technology. *Methods In Molecular Biology Clifton*, 710, PP 117-129.
- GENTRY H.S., 1969.** Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Economic Botany*. 23PP 55-69.
- GIBAUT G., 1896.** Étude historique sur le Haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). *Journal de la Société nationale d'horticulture de France*, PP 659-673.
- GOIX J., 1986.** Défense des cultures. *Phytoma*. November 1986. PP48-49
- GUEYE M., SECK D., WATHELET J., et LOGNAY G., 2010.** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* PP 183-194.

GUIGNARD J.L., 1998. Botanique, Ed. Masson, 159p.

GUIGNOT F., 1957. Faune de France. Coléoptères hydrocantharés, Paris, 424p.

GWINNER J., HARMISCH R. et MUER F., 1996. Manuel sur manutention et la conservation des grains après récolte. Ed, GT2. Esehborn. 368p.

HADRICH B., DAHAK K., ABDENOURI N. et KECHAOUL N., 2008. Etude de séchage des feuilles de bigaradier. Revue des energies renouvelables. SMSTS 08 Alger. PP 145- 149

HAJJI S., BELIVEAU J. et SIMON D., 1985. Comparative study of an essential oil obtained according to two different extraction procedures: steam distillation and hydrodiffusion. Actes - Colloq. Int. Plant. Aromat. Med. Maroc. PP 229-230

HAUBRUGE E., LOGNAY G., MARLIER M., DANHIER P., GILSON J.C. et GASPAR CH., 1989. Etude de la toxicité de cinq huiles essentielles extraites de *Citrus sp.* à l'égard de *Sitophilus zeamais* Motsch., *Prostephanus truncatus* (Horn) et *Tribolium castaneum* Herbst. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 54/3b, PP 1083-1093.

HAYMA F., 2004. Le stockage des produits agricoles et tropicaux. 4^{ème} Ed. Fondation Agromisa, Wageningen. PP 8-18.

HELLAL Z. 2010. Contribution à l'étude des propriétés antibactérienne et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des *Citrus*. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). Mémoire de Magi en Biologie et Biochimie Appliquée et Biotechnologies. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 78p.

HILL et VAN SCHOOVEN A., 1981. Effectiveness of vegetable oils fraction in controlling the Mexican bean weevil on stored beans. J .Econ . Entom.74, PP 478-479.

HOFFMAN A. 1945. Coléoptères Bruchides et Anthribides (Faune de France). Paris,184p

HOSSAERT-McKey M. et ALVAREZ N., 2003. Influence de facteurs écologiques sur la répartition de deux espèces jumelles de ravageurs du haricot, Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Évolutive, Montpellier

HOWELL, J.F., 1978. Codling moth: mating behavior in the laboraty. Ann. Entonnal. Soc. Am, 71, PP 891-895.

HUIGNARD J., 1973. Influence de quelques stimulations externes dues à la copulation sur la fonction reproductrice des femelles chez *Acanthoscelide obtectus* Say. Thèse d'Etat. Univ de Lomé. Togo. 8072p.

HUIGNARD J., 2008. Comment certaines espèces de Coléoptères Bruchidae sont-elles devenues des ravageurs des denrées stockées ? 3^{ème} colloque international de REAREB ET 1^{er} colloque de COMEC/PV. Gestion des populations des ravageurs pour un développement durable en Afrique. Univ de Lomé. Togo. PP19.

HUIGNARD J., GLITHO I., MONGE J., REGNAULT-ROGER I., 2011. Insectes ravageurs des graines de légumineuses, biologie des Bruchinae et lutte raisonnée en Afrique. Edition Quae .France. 147p.

HUSSEIN M. H et ABDEL-AALY .A.I., 1982. Toxicité of some compounds against the cowpea seed beetle *C. maculatus* (Fab). (Coleoptera: Bruchidae). Int. pest control 24, PP12-16.

IDI, A. 1994. Suivi de l'évolution des populations de bruches et de leurs parasitoïdes dans les systèmes de stockage traditionnel de niébé au Niger. Thèse Doc. Univ., Niamez. PP 100.

ISMAN B. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* 19, PP 603-608.

IBRAHIM M.A., KAINULAINEN P., AFATUNI A., TILIKKALA K. et HOLOPAINEN J.K., 2001. Insecticidal, repellent antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: with special reference to limolene an dits suitability for control of insect pests. *Agricultural and Food Science in Finland*, 10, 3, PP 243-259.

KASSEMI N., 2006. Relation entre un insecte phytophage et sa principale plante hôte. Cas de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera, Bruchidae). Mém. Magistère. Agro. Univ. TLEMEN. 77P.

KEANE S. et RYAN M.F., 1999. Purification, characterization and inhibition by monoterpenes of acetylcholinesterase from the waxmoth, *Galleria mellonella* L. *Insect biochemistry and molecular biology* Vol 29 (12), PP 1097-1104.

KEITA S. M., VINCENT C., SCHMIDT J.P., ARNASON J.T. et BELANGER A., 2001. Efficacy of Essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an *Bruchus maculatus* (Fab.)J. *Stored Prod.Res.* 37, PP 339-349.

KEITA S. M.VINCENT C. SCHLIDT J.P. ARNASON J.T., 2001. Insecticidal effet of *Thuja occidentalis* (Cupressaceae) essential oil on *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research.* 36 (4), PP 355-364.

KETOH G. K., GLITHO A. L, KOUMAGLO K. H. et GARNEAU F. X., 2000. Evaluation of Essential Oils from six Aromatic Plants in Togo for *Callosobruchus maculatus* F. *Pest Control, Insect Science, applic.* Vol 20 (N° 01), PP 45-49.

KHELLIL M.A., 1977. Influence de la chaleur utilisée comme moyen de lutte contre la bruche de haricot *A. obtectus* Say. Coléoptère: Bruchidae sur les différents états et stades de développement. Mém d'Ing en Agronomie, INA. PP14-26.

KELLOUCHE A. et SOLTANI N.D., 2004. Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles à l'égard de *Callosobruchus maculatus*. International journal of tropical insect science. Vol 24, n°01, PP 184-191.

KELLOUCHE A., 2005. Etude de la bruche du pois chiche *Callosobruchus maculatus*.F (Coleoptera : Bruchidae) ; Biologie, physiologie, reproduction et lutte, Thèse de Doctorat d'état en sciences naturelles, spécialité entomologie. U.M.M.T.O.154p.

KERGOAT G. J., 2004. Le genre *Bruchidius* (Coleoptera, Bruchidae).Un model pour l'étude des relations évolutives entre les insectes et les plantes. Thèse. Doct. en Biologie.Univ.Paris6. 167P.

LABEYRIE V., 1962. Les *Acanthoscelides obtectus*, entomologie appliquée à l'agriculture dans : BALACHOWSKY. T1. Ed. Masson publ. Paris. P469-484.

LABEYRIE V., 1966. Importance de l'intégration des signaux fournis par l'hôte lors de la ponte des insectes L'année psychologique, volume 66. PP1-14.

LABEYRIE V., 1981. Rencontre des sexes d'*A. obtectus* Say insecte Coléoptères: Bruchidae dans des univers expérimentaux monotones. Biology of behaviour, 1981. PP 59-71.

LEPESME P., 1944. Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Edition Paul chevalier. Paris.355p.

LICHTENSTEIN E.P., 1996. Insecticides occurring naturally in crops. *Adv. Chem. Ser.* 53, PP 34-38.

LOUSSERT R., 1989. Les agrumes. 2. Production. Edition Lavoisier, Paris. 157p.

MAZUR A., 2006. Huile essentielle de pamplemousse rouge Lot 7141. Bulletin d'analyse de l'huile essentielle de pamplemousse rouge *Citrus paradisi*. Laboratoire Florame aromathérapie. 2P.

MC DOUNALD L.L., GUYR H. et SPEIRE R. D. 1970. Preliminary evaluation of new candiolate materials as toxicants, sepellent and attracts against stored product insect marketing Res.189 p.

MEDJDOUB F. 1996. Biologie de l'aleurode floconneux, *Aleurothrixus floccosus* Maskell (Homoptera: Aleurodidae) dans un verger d'agrumes de la région de Draâ Ben Khedda (Tizi-Ouzou). Mémoire de Mag en Biologie et Ecologie des Populations. UMMTO, 73p.

MESSIAEN C.M., 1992. L'intérêt de lignées collectées en Haïti pour l'amélioration variétale du haricot grain. Agronomie 12, PP 503–513.

MULTON J. L., 1982. Conservation et stockage des grains et des graines et produits dérivés. Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. Ed. Tec et Doc Lavoisier. 576p.

MORAVVEJ G. et ABBAR S., 2008. Fumigant Toxicity of Citrus Oils Against Cowpea Seed Beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Pakistan Journal of Biological Sciences, 11, PP 48-54.

NDOMO A.F., TAPONDJOU A.L., TENDONKENG F. et TCHOUANGUEP F.M., 2009. Evaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera; Bruchidae). Tropicultura. 27, 3, PP 137-143.

NERIO L., OLIVERO-VERBEL J. et STASHENKO E., 2009. Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). *J. Stored Prod. Res.*, 45 (3), PP 212-214.

NGAMO L., et HANCE T., 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. Tropicultura. PP215-220.

NORRIS M., 1957. The effects of density and grouping on sexual maturation, feeding and activity in caged *Schistocerca Gregaria*. *Anti.Locust.Bul.* 28, 26p.

NYABYENDA P., 2005. Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Ed. Tec et Doc, les Presses Agronomique de Gembloux. P 38-42.

OFUYA T. I., 1990. Oviposition deterrence and ovicidal properties of some plant powders against *Callosobruchus maculatus* in stored cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds, *J. Agric. Sci.*, vol 115, PP 343-345.

OUEDRAOGO E., 2004. L'utilisation des insecticides naturels dans la protection des cultures au Burkina Faso. Communication faite au CTR de l'INERA Di. 20-22 déc. 2004 Ouagadougou CEAS, 56 p. in. BAMBARA D et TIEMTORE J., 2008- Efficacité biopesticide de *Hyptis spicigera* Lam, *Azadirachta indica* A. Juss. et *Euphorbia balsamifera* Ait. sur le niébé *Vigna unguiculata* L. Walp. TROPICULTURA, vol 26 (N°1), PP 53-55.

PERON J.Y., 2006. Productions légumières. 2^{ème} édition. Lavoisier. 389 p.

PERRIS F., 1874. Biologie de quelques coléoptères- *Ann. Soc. Ent. France.* 171p.

PICHARD B., LEROI B., et BONET A., 1991. Comparaison des cycles d'*A. obtectus* et *A. obvelatus* (Coleoptera: Bruchidae) à Tepoztlan Mexique. *Acta Oecologica* 122, PP 185-201.

PIERRARD G., 1984. Management and control of insect pests of stored grain legumes in proc. Int. Workshop on Ipc for grain legumes gotania, Goias (Brésil). PP 276-286.

POLLIEN P., OTT A., FAY L.B., MAIGNIAL L. et CHAINTREAU A., 1998. Simultaneous distillation-extraction: preparative recovery of volatiles under mild conditions in batch or continuous operations. *Flavour and fragrance Journal* 13, PP 413-423.

POUZAT J., 1983. La répartition des œufs pondus par *A. obtectus* entre des graines identiques de *P.vulgaris*. *Biology of Behaviour*. PP215-230.

RAJAPAKSE R.H.S., 1996. The effect of four botanicals on the oviposition and adult emergence of *Callosobruchus maculatus* .F. *Entomol* 21, PP 211-215.

RAJAPAKSE R. H. S., SENANAYAKAE S. G. J. N. et RATNASEKERA D., 1998. Effect of five botanicals on oviposition, adult emergence and mortality of *Collosobruchus maculatus* Fabr. (Coleoptera: Bruchidae). *J. Ent. Res.* Vol 22 (N°2), PP 1-6.

RAYNAUD J., 2006. Prescription et conseil en aromathérapie. Ed. Tec. et Doc., Lavoisier. 96p.

REGNAULT-ROGER C. et HAMRAOUI A., 1993. Efficiency of plants from the south of France used as traditional protectants of *Phaseolus vulgaris* L. against its bruchid *Acanthoscelides obtectus* (Say). *J. stored Prod. Res.*, 29, PP 259-264.

REGNAULT-ROGER C. et HAMRAOUI A., 1994 a. Inhibition of reproduction of *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera), a kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) bruchid, by aromatic essential oils. *Crop Protection*, 13 (8), PP 624-628.

REGNAULT-ROGER C. et HAMRAOUI A., 1994 b. Modification of physiological behaviour of *Acanthoscelides obtectus* Say, Bruchidae, Coleoptera, by flafonoids and phenolic acid. In: *Polyphenols 1994*. R. Brouillard, M. Jay & A. Scalbert (Eds.). *Les Colloques de l'INRA*, 69, PP 417-418.

REGNAULT-ROGER C. et HAMRAOUI A., 1995. Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Stored Prod. Res.*, 31, PP 291-299.

REGNAULT-ROGER C., HAMRAOUI A., 1997. Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allélochimiques. Ed. *Acta bot. Gallica*, PP 401-412.

REGNAULT- ROGER C., BERNARD J.R. ET PHYLOGENE C.V., 2002. Biopesticides d'origine végétale. Tec et Doc Eds, Paris, 337p.

REMBOLD H., 1997. *Melia volkensii*: a natural insecticide against Desert locusts. In: *New Strategies in Locust Control* (eds. S. Krall, R. Peveling, D. Ba Diallo), Birkhäuser Verlag, Basel, PP 185-191.

RIGHI F., 2010. Etude de la relation plante-insecte chez les Bruchidées. cas de la bruche du pois chiche. Thèse de Doctorat en biologie. Éco Ani. Univ. Mascara. 124 P.

- ROLAND J. C., 2002.** Des plantes et des hommes. Ed. Vuibert. PP 45-46.
- SANON A. GARBA M. AUGER J. et HUIGNARD J., 2002.** Activity of methylisothiocyanate on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) and its parasitoid *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae). J. Stor. Prod. Res. 38, PP 129-138p.
- SECK D., SIDIBED HABRUGE E. et GASPARD C.H., 1991.** La protection chimique des stocks de niébé et de maïs contre les insectes au Sénégal. Med. Fac. Univ LHNDBOWW. RIJK Univ. Gent.56/3, PP 1225-1233.
- SERPEILLE A., 1991.** La bruche du haricot : un combat facile ? Bulletin semences N°116, Ed. FNAMS, Paris. P 32-34.
- SHAAYA E., KOSTJUKOVSKI M., EILBERG J. et SUKPRAKARN C., 1997.** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. J. Stored Prod. Res. 33, pp: 7-15.
- SILUE S., JACQUEMIN J. et BAUDOIN J., 2010.** Utilisation des mutations induites pour l'étude de l'embryogenèse chez le haricot *P. vulgaris* L. et deux plantes modèles, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Et *Zea mays* L. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. PP195-205.
- SINGH H.R. et TAYLOR T.A., 1978.** Pest of grains legumes ecology a- And control. Ed. Singh S.R. Vanenden F. And Taylor T.A. Academic press, b- New York, 454p.
- SMITH C. M., 2005.** Plant resistance to arthropods. Edition Springer, the Netherlands: 423p.
- SOUKEYNA C., 1999.** Evaluation de la résistance variétale du niébé *Vigna unguiculata*. *Callosobruchus maculatus* L. Mém. D'Ing. En production végétale. Ecole Nat. Sup. D'Agro. SENEGAL. 58P.
- STAMOPOULOS D. et HUIGNARD J., 1980.** L'influence de diverses parties de la graine de haricot *P.vulgaris* sur le développement des larves d'*A. obtectus* (Coleoptera: Bruchidae). Ent. AMSTERDAM, Exp et Appl 28. PP38-46.
- 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, PP 395-402.
- TAPONDJOU L. A., ADLER C., BOUDA H., et 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 d'études et de recherches francophones, Agricultures, 12 (6), PP 401-407.

TEUGWA M. C., PIAM G., TANE P., AMVAM ZOLLO P. H., 2002. Activité insecticide des extraits d'*Ageratum houstonianum*, de *Clausena anisata* et de *Croton macrostachyus* sur la bruche du niébé (*Vigna unguiculata* Walp). Food Africa. PP 1-4.

TUNÇ L., BERGER B. et DAGLI F., 2000. Oviidal activity of essential oils from five plants against two stored- product insects J., Stored prod.Res.36, PP 87-102.

VANHUIS D., 1991. Biological method of Bruchid control in the tropic. Areviewe insect scion. Applic. 12(1-2-3), PP 87-102.

WEAVER D. K., DUNKEL F. V., NTEZURUBANZA L., JACKSON L. L. et STOCK D. T., 1991. The efficacy of linalool, a major component of freshly-milled *Ocimum canum* Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by certain stored product Coleoptera. J. stored Prod. Res, 27 (4), PP 213-220.

VENKATRAO S., 1960. Effect of insect infestation on stored field bean (*Dolchos lablab*) and black gram *Phaseolus mungo*. The United Nations University Press, Food and Nutrition Bulletin, Volume 3, Num 1. 98P.

Lien. <http://archive.unu.edu/unupress/food/8F031e/8F031E00.htm#Contents>.

WEIDNER H. et G. RACK G., 1984. Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds, GTZ, Eschborn, 148 p.

WEINZEIR I., 1997. Botanicals insecticides, soops and oils. In; Rechcigl N A Biological, biotech. Biological Control of insect pest in. Lewis Publ. Boca Raton. Florida. PP101-121.

ZACHARIAE G., 1959. Das vorhalten des speisebohnenkafers *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera : Bruchidae) im freienin norddeutschland. (Z, angew. Ent.43). PP 345-365.

ZAGHOUANE O., 1997. La situation actuelle et les perspectives de développement des légumineuses en Algérie ; Revue Céréaliculture, 34, PP 27-30.

Annexes I

Tableau 1 : Longévité moyenne en jours (\pm écart type) des adultes d'*A.obtectus* selon la dose et le type de l'huile utilisée.

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	12,00 \pm 2.08	8,00 \pm 2.21	6,75 \pm 1.70	4,00 \pm 1.41	1,75 \pm 0.81	0,50 \pm 0.50
ORANGE	11,50 \pm 0.57	9,00 \pm 0.81	7,25 \pm 0.50	5,50 \pm 0.57	2,25 \pm 0.95	1,25 \pm 0.50
PAMPLEMOUSSE	11,00 \pm 0.81	8,75 \pm 0.95	7,25 \pm 0.95	5,75 \pm 0.50	2,00 \pm 0.81	0,75 \pm 0.95
BIGARADE	11,75 \pm 0.5	3,5 \pm 0.57	1,75 \pm 0.5	0.00	0.00	0.00

Tableau 2 : Longévité moyenne en jours (\pm écart type) des adultes d'*A.obtectus* selon la dose et le type de la poudre utilisée.

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	11,25 \pm 0,5	6,5 \pm 0,57	6 \pm 2	5,75 \pm 0,95	5 \pm 0,81	4,75 \pm 0,95
ORANGE	11 \pm 0,57	7 \pm 2,00	6,75 \pm 2,30	6,25 \pm 3,82	5,5 \pm 3,26	5 \pm 3,26
PAMPLEMOUSSE	11,5 \pm 0,5	7,5 \pm 2,30	7 \pm 2,00	6,5 \pm 4,00	6 \pm 3,26	5,5 \pm 2,30
BIGARADE	11,25 \pm 0,57	4,25 \pm 2,00	3,75 \pm 2,00	2,25 \pm 2,30	0,75 \pm 2,00	0,00

Tableau 3 : Fécondité moyenne (\pm écart type) des adultes d'*A.obtectus* selon la dose et le type de l'huile utilisée.

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	160,75 \pm 15,94	94,75 \pm 12,5	53 \pm 8,98	29,5 \pm 5,80	2,25 \pm 1,25	00
ORANGE	163,00 \pm 10,42	143,25 \pm 7,84	80,25 \pm 9,03	44,50 \pm 7,18	19,25 \pm 7,41	00
PAMPLEMOUSSE	159,75 \pm 12,52	137,75 \pm 8,26	76,25 \pm 8,53	38,50 \pm 7,04	16,25 \pm 5,31	00
BIGARADE	152,50 \pm 17,97	51,50 \pm 8,58	11,75 \pm 0,95	00	00	00

Tableau 4 : Fécondité moyenne (\pm écart type) des adultes d'*A.obtectus* selon la dose et le type de la poudre utilisée.

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	158,25 \pm 8.73	107 \pm 14.28	86,5 \pm 5.00	65,25 \pm 8.53	57,25 \pm 4.50	48,75 \pm 3.40
ORANGE	147,25 \pm 10.43	113,5 \pm 6.75	88,75 \pm 3.20	69,25 \pm 4.11	58,75 \pm 12.21	52,5 \pm 6.75
PAMPLEMOUSSE	149,50 \pm 6.45	117,00 \pm 2.58	89,00 \pm 7.87	69,25 \pm 3.77	60,00 \pm 1.82	53,75 \pm 5.85
BIGARADE	150,25 \pm 5.05	37,75 \pm 4.03	28,50 \pm 4.79	20,25 \pm 3.40	9,50 \pm 3.41	0.00

Annexes I

Tableau 5 : Nombre moyen d'œufs éclos (\pm écart type) chez *A.obtectus* en fonction des huiles et des doses utilisées.

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	129,25 \pm 6.23	69,25 \pm 6.02	36,75 \pm 6.39	13,75 \pm 3.50	0,00	0,00
ORANGE	140,75 \pm 3.59	106,50 \pm 9.67	47,25 \pm 3.59	19,00 \pm 3.91	5,00 \pm 2.44	0,00
PAMPLEMOUSSE	128,00 \pm 3.65	103,75 \pm 3.09	50,50 \pm 2.64	20,75 \pm 1.70	6,50 \pm 1.29	0,00
BIGARADE	120,75 \pm 4.71	35,50 \pm 3.31	3,50 \pm 1.29	0,00	0,00	0,00

Tableau 6 : Nombre moyen d'œufs éclos (\pm écart type) chez *A.obtectus* en fonction des poudres et des doses utilisées.

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	120,25 \pm 3.30	74,50 \pm 3.31	57,50 \pm 1.91	39,00 \pm 2.44	30,25 \pm 2.21	19,75 \pm 2.50
ORANGE	107,00 \pm 5.47	77,25 \pm 3.86	57,75 \pm 4.78	42,50 \pm 5.44	34,75 \pm 4.11	26,50 \pm 3.87
PAMPLEMOUSSE	111,25 \pm 8.84	82,75 \pm 3.50	60,75 \pm 3.30	43,75 \pm 5.18	36,50 \pm 2.88	28,75 \pm 3.30
BIGARADE	115,25 \pm 3.30	24,00 \pm 1.41	15,75 \pm 3.30	11,75 \pm 1.70	4,00 \pm 2.94	0,00

Tableau 7 : Nombre moyen d'émergence (\pm écart type) chez *A.obtectus* en fonction des Huiles et des doses utilisées.

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	41,50 \pm 2.08	19,75 \pm 2.21	9,25 \pm 1.70	4,00 \pm 1.41	0,00	0,00
ORANGE	46,00 \pm 3.16	33,00 \pm 3.46	12,75 \pm 3.30	3,75 \pm 0.95	0,00	0,00
PAMPLEMOUSSE	43,25 \pm 4.19	32,25 \pm 2.98	11,50 \pm 2.08	2,75 \pm 0.50	0,00	0,00
BIGARADE	43,50 \pm 1.91	9,50 \pm 1.29	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 8 : Nombre moyen d'émergence (\pm écart type) chez *A.obtectus* en fonction des poudres et des doses utilisées.

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	46,50 \pm 3.87	26,00 \pm 4.32	20,75 \pm 3.30	18,75 \pm 1.70	12,00 \pm 2.16	6,25 \pm 2.21
ORANGE	42,75 \pm 4.99	27,25 \pm 3.59	21,50 \pm 2.51	20,50 \pm 3.87	13,00 \pm 2.16	7,00 \pm 1.82
PAMPLEMOUSSE	42,00 \pm 4.69	27,50 \pm 2.64	22,00 \pm 2.58	21,50 \pm 4.79	14,75 \pm 2.21	8,00 \pm 1.82
BIGARADE	42,25 \pm 0.95	6,25 \pm 0.95	5,50 \pm 1.73	0,00 \pm 0	0,00	0,00

Annexes I

Tableau 9 : les moyennes du poids perdu des graines de *P.vulgaris* (\pm écart type) traitées avec les différentes huiles et doses

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	7,75 \pm 0.95	3,75 \pm 0.5	1,50 \pm 0.57	0,50 \pm 0.57	0,00	0,00
ORANGE	8,75 \pm 0.50	5,25 \pm 0.95	2,50 \pm 1.00	1,50 \pm 0.57	0,00	0,00
PAMPLEMOUSSE	8,00 \pm 0.81	5,00 \pm 0.81	1,75 \pm 0.50	1,00 \pm 0.57	0,00	0,00
BIGARADE	8,50 \pm 0.57	1,75 \pm 0.50	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 10 : les moyennes du poids perdu des graines de *P.vulgaris* (\pm écart type) traitées avec les différentes poudres et doses.

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	8,75 \pm 0.95	4,25 \pm 0.50	3,25 \pm 0.50	3,00 \pm 0.57	2,25 \pm 0.5	1,25 \pm 0.50
ORANGE	8,50 \pm 0.57	4,25 \pm 0.50	3,25 \pm 0.50	3,25 \pm 0.50	2,50 \pm 0.57	1,75 \pm 0.50
PAMPLEMOUSSE	7,75 \pm 0.95	4,75 \pm 0.50	3,75 \pm 0.50	3,25 \pm 0.50	2,75 \pm 0.50	2,25 \pm 0.50
BIGARADE	8,00 \pm 0.81	1,25 \pm 0.50	0,75 \pm 0.50	0,00	0,00	0,00

Tableau 11 : Taux moyen de germination des graines de *P.vulgaris* (\pm écart type) en fonction des huiles et des doses utilisées

Huile \ Dose	0 μ L	2 μ L	4 μ L	6 μ L	8 μ L	10 μ L
CITRON	7,00 \pm 2.00	52,00 \pm 3.26	68,00 \pm 3.26	82,00 \pm 2.30	88,00 \pm 3.26	93,00 \pm 2.00
ORANGE	10,00 \pm 2.30	23,00 \pm 3.82	59,00 \pm 6.00	81,00 \pm 2.00	83,00 \pm 2.00	87,00 \pm 2.00
PAMPLEMOUSSE	11,00 \pm 2.00	41,00 \pm 2.00	66,00 \pm 2.30	82,00 \pm 2.30	86,00 \pm 2.30	90,00 \pm 2.30
BIGARADE	10,00 \pm 0.57	67,00 \pm 2.00	97,00 \pm 2.00	98,00 \pm 3.82	97,00 \pm 2.00	98,00 \pm 2.00

Tableau 12 : Taux moyen de germination des graines de *P.vulgaris* (\pm écart type) en fonction des poudres et des doses utilisées

Poudre \ Dose	0%	2%	4%	6%	8%	10%
CITRON	12,00 \pm 0	42,00 \pm 2.30	46,00 \pm 4.00	48,00 \pm 4.61	70,00 \pm 2.30	82,00 \pm 2.30
ORANGE	11,50 \pm 0.57	41,00 \pm 2.00	46,00 \pm 2.30	47,00 \pm 3.82	68,00 \pm 3.26	80,00 \pm 3.26
PAMPLEMOUSSE	11,25 \pm 0.50	42,00 \pm 2.30	45,00 \pm 2.00	46,00 \pm 4.00	65,00 \pm 6.00	78,00 \pm 2.30
BIGARADE	11,50 \pm 0.57	69,00 \pm 2.00	81,00 \pm 2.00	95,00 \pm 3.82	97,00 \pm 2.00	97,00 \pm 2.00

Annexes II

Tableau 1 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre longévité des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre huiles des *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	393,9766	23	17,1294				
VAR.FACTEUR 1	42,0912	3	14,0304	8,4226	0,00169		
VAR.FACTEUR 2	326,8985	5	65,3797	39,2483	0		
VAR.RESIDUELLE 1	24,9869	15	1,6658			1,2907	25,34%

Tableau 2 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre longévité des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre poudres des *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	205,25	23	8,9239				
VAR.FACTEUR 1	48,6042	3	16,2014	18,4865	0,00003		
VAR.FACTEUR 2	143,5	5	28,7	32,748	0		
VAR.RESIDUELLE 1	13,1458	15	0,8764			0,9362	15,28%

Tableau 3 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre fécondité des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre huiles des *Citrus*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	86713,78	23	3770,164				
VAR.FACTEUR 1	5671,422	3	1890,474	6,6013	0,00472		
VAR.FACTEUR 2	76746,7	5	15349,34	53,5984	0		
VAR.RESIDUELLE 1	4295,656	15	286,3771			16,9227	28,31%

Tableau 4 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre fécondité des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre poudres des *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	47166,44	23	2050,715				
VAR.FACTEUR 1	10119,84	3	3373,281	21,0393	0,00002		
VAR.FACTEUR 2	34641,61	5	6928,322	43,2123	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2404,984	15	160,3323			12,6622	16,54%

Annexes II

Tableau 5 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre éclosion d'œufs d'*A.obtectus* traités avec les quatre huiles des *Citrus*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	58050,87	23	2523,951				
VAR.FACTEUR 1	2673,48	3	891,1602	5,1982	0,01168		
VAR.FACTEUR 2	52805,82	5	10561,16	61,6035	0		
VAR.RESIDUELLE 1	2571,566	15	171,4378			13,0934	30,31%

Tableau 6 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre éclosion d'œufs d'*A.obtectus* traités avec les quatre poudres des *Citrus*

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	29689,37	23	1290,842				
VAR.FACTEUR 1	4074,781	3	1358,26	13,2908	0,00019		
VAR.FACTEUR 2	24081,65	5	4816,329	47,1284	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1532,938	15	102,1958			10,1092	19,86%

Tableau 7 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre émergence des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre huiles de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6552,914	23	284,9093				
VAR.FACTEUR 1	180,2373	3	60,0791	2,8451	0,0723		
VAR.FACTEUR 2	6055,93	5	1211,186	57,3574	0		
VAR.RESIDUELLE 1	316,7471	15	21,1165			4,5953	35,26%

Tableau 8 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre émergence des adultes d'*A.obtectus* traités avec les quatre poudres de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4563,833	23	198,4275				
VAR.FACTEUR 1	776,1877	3	258,7292	16,4665	0,00006		
VAR.FACTEUR 2	3551,958	5	710,3917	45,2119	0		
VAR.RESIDUELLE 1	235,6873	15	15,7125			3,9639	21,05%

Annexes II

Tableau 9 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre perte en poids des graines de *P.vulgaris* traitées avec les quatre huiles de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	219,8646	23	9,5593				
VAR.FACTEUR 1	5,4688	3	1,8229	3,7076	0,0352		
VAR.FACTEUR 2	207,0208	5	41,4042	84,2119	0		
VAR.RESIDUELLE 1	7,375	15	0,4917			0,7012	29,27%

Tableau 10 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre perte en poids des graines de *P.vulgaris* traitées avec les quatre poudres de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	155,8724	23	6,7771				
VAR.FACTEUR 1	23,3203	3	7,7734	20,5862	0,00002		
VAR.FACTEUR 2	126,888	5	25,3776	67,2069	0		
VAR.RESIDUELLE 1	5,6641	15	0,3776			0,6145	18,26%

Tableau 11 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre germination des graines de *P.vulgaris* traitées avec les quatre huiles de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	23125,33	23	1005,449				
VAR.FACTEUR 1	1378,332	3	459,444	7,8122	0,00234		
VAR.FACTEUR 2	20864,83	5	4172,966	70,9553	0		
VAR.RESIDUELLE 1	882,168	15	58,8112			7,6688	11,68%

Tableau 12 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre germination des graines de *P.vulgaris* traitées avec les quatre poudres de *Citrus*.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	16871,25	23	733,5325				
VAR.FACTEUR 1	3061,529	3	1020,51	15,0886	0,0001		
VAR.FACTEUR 2	12795,2	5	2559,04	37,8363	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1014,518	15	67,6345			8,224	14,80%

Annexes II

Tableau 13 : analyse de la variance au seuil 5 % pour le paramètre mortalité des adultes d'*A.obtectus* par effet d'inhalation des huiles essentielles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	136859	95	1440,622				
VAR.FACTEUR 1	56082,58	3	18694,19	234,3727	0		
VAR.FACTEUR 2	50201,78	5	10040,36	125,8779	0		
VAR.FACTEUR 3	8338,891	3	2779,63	34,8488	0		
VAR.INTER F1*2	15471,25	15	1031,417	12,9311	0		
VAR.INTER F1*3	1051,539	9	116,8377	1,4648	0,18991		
VAR.INTER F2*3	2123,688	15	141,5792	1,775	0,06959		
VAR.RESIDUELLE 1	3589,32	45	79,7627			8,931	23,23%