



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Larbi Tébessa –Tébessa

Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie



Département : Biologie des êtres vivants

DOMAINE : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

SPECIALITE : Ecophysiologie animale

MEMOIRE Présenté en vue de l'obtention de diplôme de MASTER

Thème :

Etude de l'efficacité comparée des extraits hydroalcooliques d'une plante médicinale à l'égard des ravageurs des denrées stockées

Présenté par : BENDJEDDOU Bilal

HALAIMIA Abderrahmane

Devant le jury :

Dr. TINE. S.	M.C.A	Université de Tébessa	Encadreur
Pr. TINE-DJEBBAR. F	M.C.A	Université de Tébessa	Présidente
Dr. BOUABIDA. H	M.C.A	Université de Tébessa	Examinatrice
Me SAYADA. N	Doctorante	Université de Tébessa	Co-encadreur

Date de soutenance : 26/06/2019

Année Universitaire : 2018-2019

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier le bon Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Une recherche, tant nominative soit elle, est avant tout un travail de réflexion collective, donc au terme de ce travail, il m'est à la fois un plaisir et un devoir de remercier sincèrement toutes les personnes qui ont participé à sa réalisation.

*On remercie **Professeur TINE-DJEBBAR Fouzia** d'avoir accepté de présider ce jury, qu'elle trouve ici toutes nos expressions respectueuses. Merci vivement pour vos conseils, pour l'excellence de l'encadrement et de l'accompagnement durant la réalisation de notre projet de recherche.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur Docteur **TINE Samir**, qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail, sa disponibilité malgré ses multiples occupations, ses conseils pertinents nous ont permis de mener à terme ce travail.*

*Nous remercions également notre Co-promotrice, M^{elle} **SAYADA Nardjes** pour sa disponibilité, son orientation et son aide précieuse tout au long de la réalisation de ce travail*

*Nos vifs et sincères remerciements à Docteur **BOUABIDA Hayette** d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Merci aux doctorants de Physiologie Animale Appliquée à la santé et l'environnement, spécialement **BENKHDIM Khouloud**.*

***Un grand Merci** à toute l'équipe d'ingénieurs de laboratoire de biologie pour leur assistance technique.*

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre	Page
1	Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald <i>et al.</i> (1970).	26
2	Screening phytochimique de <i>Lavandula angustifolia</i> .	28
3	Le rendement des différents extraits de <i>L.angustifolia</i> .	30
4	Teneur en Polyphénols totaux (mg EAG /g MS), Flavonoïdes (µg EQ/mg MS), et Tannins (µg EQ/mg MS) des extraits hydro-alcoolique de <i>L.angustifolia</i> .	31
5	La capacité antioxydante totale réductrice du molybdate (TAC) (mg EAA/ g MS) des extraits hydro-alcoolique de <i>L. angustifolia</i> .	31
6	Capacité des extraits de <i>L.angustifolia</i> à piéger le radical DPPH.	32
7	Effet de l'extrait méthanolique de <i>L. angustifolia</i> appliqué par fumigation à l'égard des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus).	34
8	Efficacité de l'extrait méthanolique de <i>Lavandula angustifolia</i> appliqué par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> à 1, 2, 3, 6, 12 et 24h après traitement. Analyse des probits.	35
9	Effet de l'extrait éthanolique de <i>L. angustifolia</i> appliqué par fumigation à l'égard des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus).	36
10	Efficacité de l'extrait éthanolique de <i>Lavandula angustifolia</i> appliqué par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> à 1, 2, 3, 6, 12 et 24h après traitement. Analyse des probits.	37
11	Effet de l'extrait aqueux de <i>L. angustifolia</i> appliqué par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> , sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus).	38
12	Efficacité de l'extrait aqueux de <i>L. angustifolia</i> appliqué par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> , <i>S. granarius</i> à 1,2, 3, 6,12 et 24h après traitement. Analyse des probits	39
13	Effet de l'extrait acéteñoique de <i>L. angustifolia</i> appliquées par fumigation à l'égard les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus	40
14	Efficacité de l'extrait acéteñoique de <i>L. angustifolia</i> appliqué par fumigation sur les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> à différentes périodes après traitement. Analyse des probits	41
15	Efficacité comparée des différents extraits de <i>L. angustifolia</i> , à l'égard de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> après 24h de traitement.	42
16	Pouvoir répulsif (%) de l'extrait méthanolique de <i>L. angustifolia</i> testé sur les adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> (m ± SEM).	43
17	Pouvoir répulsif (%) de l'extrait éthanolique de <i>L. angustifolia</i> testé à l'égard des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> (m ± SEM).	44
18	Pouvoir répulsif de l'extrait aqueux de <i>L. angustifolia</i> testé à l'égard des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> (m ± SEM).	45
19	Pouvoir répulsif de l'extrait acéteñoique de <i>L. angustifolia</i> testé à l'égard des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. granarius</i> (m ± SEM)	46
20	Classement de l'effet répulsif des extraits étudiés selon Mc Donald (1970).	46
21	Comparaison de la teneur en polyphénols des extraits de trois espèces de lavande.	52

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
1	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius, 1792) (GX 45)	3
2	Différents stades du cycle de vie du Capucin des grains	5
3	Dégâts causés par <i>Rhyzopertha dominica</i>	6
4	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, 1758) (GX 45)	7
5	Différents stades du cycle de vie de <i>Sitophilus granarius</i>	8
6	Dégâts causés par <i>Sitophilus granarius</i>	9
7	Collecte, Tri et Elevage des insectes étudiés	10
8	<i>Lavandula angustifolia</i> (Miller, 1768)	11
9	Broyage de la matière végétale	12
10	Screening phyto-chimique de la plante	16
11	Préparation des extraits hydroalcooliques	18
12	Protocole de dosage des composés phénoliques	21
13	Evaluation de l'activité antioxydante des extraits	23
14	Essais toxicologiques des extraits appliqués par fumigation	25
15	Test de répulsion des extraits	27
16	Extraits de <i>Lavandula angustifolia</i>	30
17	Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait méthanolique à différentes périodes chez <i>R. dominica</i> (A) et <i>S. granarius</i> (B).	33
18	Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait éthanolique à différentes périodes chez <i>R. dominica</i> (A) et <i>S. granarius</i> (B).	36
19	Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait aqueux à différentes périodes chez <i>R. dominica</i> (A) et <i>S. granarius</i> (B).	39
20	Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait acétonique à différentes périodes chez <i>R. dominica</i> (A) et <i>S. granarius</i> (B).	41

SOMMAIRE

N°	Contenu	Page
1.	INTRODUCTION	
2.	MATERIEL ET METHODES	
2.1.	Présentation des insectes utilisés	3
2.1.1.	<i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius, 1792)	3
2.1.1.1.	Cycle biologique de <i>Rhyzopertha dominica</i>	4
2.1.1.2.	Dégât et importance économique	6
2.1.2.	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, 1758)	6
2.1.2.1.	Cycle biologique de <i>Sitophilus granarius</i>	7
2.1.2.2.	Dégât causé par l'insecte	9
2.2.	Elevage au laboratoire	9
2.3.	Présentation de <i>Lavandula angustifolia</i> (Miller, 1768)	10
2.3.1.	Description botanique	10
2.3.2.	Répartition géographique et utilisation de la plante	12
2.3.3.	Récolte et préparation de la plante	12
2.3.4.	Screening phytochimique de la plante	13
2.3.4.1.	Recherche des flavonoïdes et des leucoanthocyanes	13
2.3.4.2.	Recherche des quinones	13
2.3.4.3.	Recherche de saponines	14
2.3.4.4.	Recherche des tanins	14
2.3.4.5.	Recherche des terpénoïdes et des stéroïdes	15
2.3.4.6.	Recherche des alcaloïdes	15
2.4.	Préparation des extraits hydroalcooliques	17
2.5.	Dosage des composés phénoliques	19
2.5.1.	Dosage des polyphénols totaux	19
2.5.2.	Dosage des flavonoïdes	19
2.5.3.	Dosage des tanins condensés	20
2.6.	Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de <i>Lavandula angustifolia</i>	22
2.6.1.	Activité réductrice du molybdate	22
2.6.2.	Activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH	22
2.7.	Traitement et essai insecticide	23
2.8.	Test de répulsion	26

3.	RESULTATS	28
3.1.	Screening phytochimique	28
3.2.	Rendement des extraits de <i>Lavandula angustifolia</i>	29
3.3.	Teneur des extraits en composés phénoliques	30
3.3.1.	Teneur en polyphénols totaux	30
3.3.2.	Teneur en flavonoïdes	31
3.3.3.	Teneur en tannins	31
3.4.	Evaluation du potentiel antioxydant des extraits	31
3.4.1.	Activité réductrice du molybdate	32
3.4.2.	Activité « scavenger » du radical DPPH	32
3.5.	Essais toxicologiques	32
3.5.1.	Toxicité de l'extrait méthanolique	33
3.5.2.	Toxicité de l'extrait éthanolique	35
3.5.3.	Toxicité de l'extrait aqueux	37
3.5.4.	Toxicité de l'extrait acétonique	40
3.5.5.	Efficacité comparée des extraits de <i>L. angustifolia</i>	42
3.6.	Essai de répulsion	42
3.6.1.	Pouvoir répulsif de l'extrait méthanolique	42
3.6.2.	Pouvoir répulsif de l'extrait éthanolique	43
3.6.3.	Pouvoir répulsif de l'extrait aqueux	44
3.6.4.	Pouvoir répulsif de l'extrait acétonique	45
3.6.5.	Classement du pouvoir répulsif des extraits	46
4.	DISCUSSION	47
4.1.	Screening phyto-chimique de la plante	47
4.2.	Rendement des extraits de <i>Lavandula angustifolia</i>	49
4.3.	Teneur des extraits en composés phénoliques	51
4.3.1.	Teneur en polyphénols	51
4.3.2.	Teneur en flavonoïdes	53
4.3.3.	Teneur en tannins	54
4.4.	Potentiel antioxydant des extraits	54
4.5.	Toxicité des extraits de <i>L.angustifolia</i>	56

4.6.	Effet répulsif des extraits	59
5.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	63
	RESUME	
	ABSTRACT	
	الملخص	
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE.	

1. INTRODUCTION

L'agriculture et, par le fait même, l'alimentation constituent des enjeux importants pour l'humanité et deviendront de plus en plus critiques dans les décennies à venir. La croissance démographique ne cesse à augmenter et le nombre de population est estimé à plus de 9 milliards d'individus vers 2050 (FAO, 2009).

La conservation des récoltes demeure l'un des facteurs clés de la sécurité alimentaire d'un pays. En effet, la production agricole est généralement saisonnière, alors que les besoins des consommateurs s'étendent sur toute l'année (Adeoti *et al.*, 2002). Donc la mise en place d'une politique phytosanitaire adéquate pour épargner les populations des risques de pénurie alimentaire pendant l'intersaison agricole, s'avère nécessaire (Zuoxin *et al.*, 2006). Cette politique est basée sur l'augmentation des rendements, la diminution des pertes post-récolte ainsi que la recherche de produits agricoles à valeur nutritive consistante et rassurante (Stamoulis & Zezza, 2003).

Les pertes post-récoltes sont causées par plusieurs agents tels que les insectes (44%), les rongeurs (30%) et les champignons (26%) (Foua-Bik, 1989). Les insectes représentent une cause importante d'altération des récoltes soit par la consommation directe des réserves alimentaires stockées, soit par la dégradation de leur qualité nutritive et organoleptique, ce qui affecte sensiblement leur valeur commerciale (Nyamador, 2010).

Pour augmenter la production post-récolte, réduire la pression de toutes sortes de ravageurs, et pour mettre une limite à ses dégâts, les agriculteurs et les paysans utilisent différentes méthodes de lutte (Haubrugue *et al.*, 1989). L'utilisation d'insecticides chimiques de synthèse ou de fumigants est l'une des méthodes de lutte efficace contre ces ravageurs (Haubrugue *et al.*, 1998; Relinger *et al.*, 1988), et la mieux adaptée pour traiter à la fois les formes externes (adultes et œufs) et les formes qui se développent à l'intérieur de la graine (larves et nymphes) (Zettler & Arthur, 2000). Malheureusement, cette lutte chimique a présenté plusieurs inconvénients qui a limité son utilisation, notamment l'accumulation des résidus dans les denrées, le développement de souches d'insectes résistants, la pollution de l'environnement, et nombreux cas d'intoxication et d'empoisonnement signalés dans certains pays (Kumar, 1991). Tous ces effets nocifs ont conduit l'OMS à interdire leur application.

Face à la demande croissante du développement durable et de la protection de l'environnement, des méthodes alternatives sont préconisées. Dans le cas des pays en voie de développement, il est urgent de mettre l'accent sur l'exploitation des pratiques locales (Kossou *et al.*, 2001), et l'orientation vers des moyens de lutte qui font appel aux produits naturels (végétal) pouvant être à l'origine de traitements préventifs et curatifs (Mehaoua, 2014).

Les biopesticides végétaux sont souvent efficaces en faible quantité et leurs molécules bioactives ont plusieurs modes d'action (Deravel *et al.*, 2014). L'usage de ces substances naturelles, telles que les huiles essentielles et les extraits végétaux, a fait l'objet d'un grand nombre d'investigations en vue d'explorer leurs activités biologiques à l'égard de différents insectes ravageurs des denrées stockées (Ahmed *et al.*, 1999; Kellouche *et al.*, 2004; Bamaiyi *et al.*, 2006; Kellouche *et al.*, 2010). Leurs activités s'expriment de différentes manières, ovicide, larvicide, répulsif, et anti-appétant (Keïta *et al.*, 2000).

Le présent travail consiste à tester au laboratoire l'effet insecticide et répulsif de différents extraits hydroalcooliques d'une plante médicinale appartenant à la famille des Lamiacées, *Lavandula angustifolia* vis-à-vis deux insectes Coléoptère ravageurs des denrées stockées, *Rhyzopertha dominica* et *Sitophilus granarius*. Pour répondre à ces objectifs, la méthodologie suivie consiste à :

1. Rechercher les grands groupes chimiques présents dans la plante étudiée, par la réalisation d'un screening phytochimique.
2. Déterminer les teneurs en composés phénoliques
3. Déterminer l'activité antioxydante de chaque extrait.
4. Evaluer le pouvoir insecticide et répulsif des extraits à l'égard des insectes ciblés.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation des insectes utilisés

Notre étude est portée sur les adultes de deux espèces d'insectes ravageurs des denrées stockées : *Rhyzopertha dominica*, et *Sitophilus granarius*.

2.1.1. *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792)

L'adulte est brun, de forme cylindrique avec des côtés nettement parallèles, caractéristiques des Bostrychidae. C'est un insecte de petite taille de 2,2 à 3 mm de longueur avec un prothorax qui couvre entièrement la tête d'où le nom du « capucin des grains ». Cet insecte présente des antennes en massues comprenant 3 articles. Au niveau de la face dorsale, le pronotum se termine par une rangée de dents régulières (12 à 14), et des tubercules aplatis en arrière. Les élytres sont bien développés et ponctués longitudinalement (Delobel & Tran, 1993) (Fig. 1).



Figure 1. *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (GX 45).

A : face dorsale ; **B** : face ventrale (photo personnelle, 2019).

Le capucin est vraisemblablement originaire d'Asie du Sud-Est, il est actuellement répandu dans l'ensemble des zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes. Il est devenu cosmopolite, en raison de sa tolérance à de nombreux insecticides. Il s'attaque aux céréales mais également au manioc et à la patate douce. Ce sont surtout les adultes qui font des ravages en s'attaquant au germe et à l'albumen qu'ils réduisent en farine.

Selon **Benkhellat (2002)**, les adultes consomment par semaine une quantité de blé d'environ 5 à 6 fois supérieure à leur poids. Ils causent des pertes huit fois plus supérieures à celles des larves qui s'alimentent de la farine formée par les adultes (**Delobel & Tranc, 1993**).

Selon (**Fabricius, 1792**), la classification de *Rhyzopertha dominica* est la suivante :

Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Sous-embranchement	Hexapoda
Classe	Insecta
Sous-classe	Pterygota
Infra-classe	Neoptera
Ordre	Coleoptera
Sous-ordre	Polyphaga
Infra-ordre	Bostrichiformia
Super-famille	Bostrichoidea
Famille	Bostrichidae
Sous-famille	Dinoderinae
Genre	<i>Rhyzopertha</i>
Espèce	<i>Rhyzopertha dominica</i> F. 1792

2.1.1.1. Cycle biologique de *Rhyzopertha dominica*

Les adultes s'accouplent et pondent à plusieurs reprises (**Steffan, 1978**). L'accouplement et la ponte ont lieu en avril ou mai, quand les températures sont élevées (**Lepigre, 1951**). La durée du cycle est en moyenne de 38 jours. Par ailleurs, la durée de développement sur le blé à 14% de teneur en eau du grain et à 30°C varie de 30 à 40 jours et de 58 jours à 26°C (**Potter, 1935**). La température optimale pour le développement de *Rhyzopertha dominica* est d'environ 28°C. L'espèce est plus sensible au froid, une température de 21°C arrête sa croissance et les adultes ne survivent pas à 3°C. L'adulte peut supporter des températures assez élevées, mais une exposition de 3 min à 50°C suffit pour les tuer (**Lepesme, 1944**).

a. Ponte et éclosion

Les femelles s'accouplent plusieurs fois au cours de leur vie qui peut atteindre 8 mois et elles pondent en conditions favorables de 300 à 400 œufs environ. Avant la ponte, la femelle produit une grande quantité de farine non digérée qui permet l'établissement des larves néonates (**Flaurat, 1982**).

Les œufs sont pondus, soit isolément, soit en petits amas à l'intérieur des grains attaqués ou à leur surface, parfois parmi les débris qui gisent entre eux. La durée moyenne d'incubation est de 15 jours à 26°C et 65% d'humidité relative (Potter, 1935) (Fig. 2).

b. Evolution larvaire

Après l'éclosion, les larves s'introduisent dans les grains en creusant des tunnels aux alentours du germe et continuent leur développement à l'intérieur (Thomson, 1966). Au cours de son développement, la larve passe par 4 stades (Balachowsky, 1962).

Les larves du 1er stade sont de type Chrysomélien (pourvues de pattes) ; les trois (3) derniers stades sont apodes de type Rhynchophorien.

Au 1^{er} âge, elle mesure de 1 à 1,5 mm de long. Au dernier stade, elle atteint 2,5 à 3 mm, fortement incurvée et épaisse, blanche avec des soies foncées, segment anal renflé, tête grosse et brune ornée de poils bruns, pattes assez grandes brunes (Thomson, 1966) (Fig. 2). Les larves de ces insectes ont un régime Clétophage exclusivement car elles vivent dans les grains (Flaurat, 1982).

c. La nymphose

A la fin du dernier stade larvaire, la larve s'immobilise, cesse de se nourrir et se transforme en nymphe immobile. La nymphe est libre dans la galerie creusée dans le grain par la larve à la fin de son dernier stade. Elle se nymphose au bout de vingt jours. Durant sa vie nymphale, l'insecte subit une métamorphose interne et externe complète qui mène au stade adulte (Amari, 2014) (Fig. 2).

Les adultes apparaissent de 5 à 8 jours plus tard et se reproduisent aussi tôt (Fleuraat, 1982).

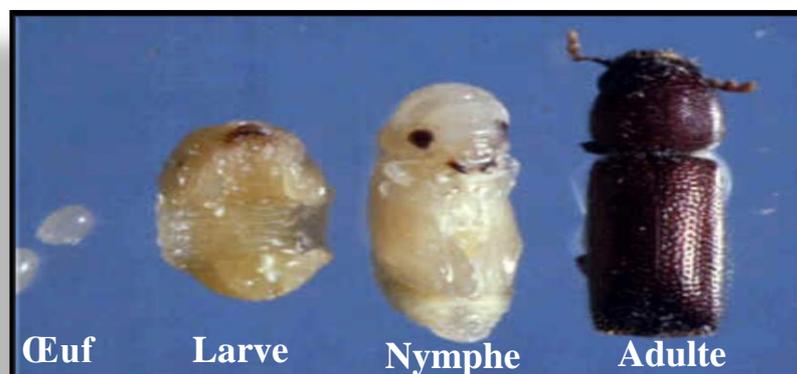


Figure 2. Différent stades du cycle de vie du Capucin des grains

Source : www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepote

2.1.1.2. Dégât et importance économique

Rhyzopertha dominica est considéré comme le plus grand ennemi des grains après *Sitophilus oryzae*. Ce sont les adultes qui causent le plus de dégâts. Ils attaquent directement les grains à l'aide de leurs mandibules et arrivent à les vider complètement de leur contenu (Fig. 3).

Les femelles sont particulièrement voraces avant la ponte. Elles ne consomment d'ailleurs pas tout ce qu'elles rongent et on retrouve une certaine quantité de farine intacte mêlée à leur excrément (Kassem, 2014).

Des différences de sensibilité à *R. dominica* ont été mises en évidence chez le blé, le maïs, l'orge et les variétés de riz, hors des greniers, l'insecte vit dans le bois de diverses essences ligneuses, dans des fruits secs, des roseaux (au niveau des nœuds) (Delobel & Tran, 1993).



Figure 3. Dégâts causés par *Rhyzopertha dominica* (photo personnelle, 2019).

2.1.2. *Sitophilus granarius* (Linnaeus, 1758)

Sitophilus granarius est un petit Coléoptère appartenant à la famille des Curculionidae, de 3,5 à 5 mm de long, de couleur brun foncé, anciennement connu sous le nom de Calandra, communément appelé charançon du blé (Lepesme, 1944). Caractérisé par la présence d'un rostre renflé triangulaire, portant les antennes, à sa base équipé de pièces buccales broyeuses. Le prothorax est aussi long, les élytres sont rainurés et l'insecte ne vole jamais (absence d'ailes postérieures membraneuses) (Fig. 4). *S. granarius* se reproduit dans les graines sèches et causent beaucoup de dommages aux stocks (Delobel & Tranc, 1993).



Figure 4. *Sitophilus granarius* (Linnaeus, 1758) (G : X 45).

A : Face dorsale ; B : Face ventrale (photos personnelles, 2019).

Selon **Linnaeus, (1758)**, la classification de *Sitophilus granarius* est la suivante :

Règne	Animalia
Embranchement	Arthropoda
Sous-embranchement	Hexapoda
Classe	Insecta
Sous-classe	Ptérygota
Infra-classe	Neoptera
Ordre	Coleoptera
Sous-ordre	Polyphaga
Famille	Curculionidae
Sous-famille	Dryphorinae
Genre	<i>Sitophilus</i>
Espèce	<i>Sitophilus granarius</i> (Linnaeus, 1758)

Sitophilus granarius a une aire de répartition quasi-cosmopolite. C'est une espèce adaptée aux climats tempérés, et plus rare dans les pays tropicaux. Ce charançon peut néanmoins causer des dégâts dans les stocks de céréales dans les pays chauds, même s'il ne survit pas (Thomson, 1966).

2.1.2.1. Cycle biologique de *Sitophilus granarius*

Le charançon du blé ne peut se reproduire que dans les grains où le taux d'humidité est supérieur à 9,5 % et une fourchette de température allant de 13 jusqu'à 35°C (Thomson, 1966). Le développement complet se fait entre 25 à 35 jours dans les conditions optimales, lorsque la température se situe entre 26 °C et 30 °C, et la teneur en eau est de 14 % (Potter, 1935). Le charançon développe son cycle complètement à l'intérieur des grains. L'adulte possède un appendice nasal distinctif dont il se sert pour creuser dans le grain (Thomson, 1966).

a. Ponte et éclosion

La femelle pond environ 200 œufs, à une vitesse de 2 ou 3 par jour, en fonction de la température et de l'humidité, en plaçant chacun d'eux dans un petit trou creusé dans le grain et en scellant celui-ci avec un bouchon de salive mucilagineux (**Fig. 5**). Entre 18 et 20°C, les œufs éclosent après 8 à 11 jours pour donner naissance à de petites larves blanches (**Potter, 1935**).

b. Evolution larvaire

Dès qu'elle apparaît, la larve creuse au travers du grain une galerie qu'elle va élargir au fur et à mesure de sa croissance (**Bekon & Fleurat, 1989**). Dépourvues de pattes, avec une longueur de 2,5 à 3 mm, et de couleur blanche, les larves se nourrissent de l'albumen et achèvent leur croissance à l'intérieur des grains (**Potter, 1935**) (**Fig. 5**). Une seule larve se développe par petit grain comme le blé et le riz, mais les plus gros grains comme le maïs supportent le développement de plusieurs spécimens. Les larves ne vivent jamais à l'air libre et se développent entièrement à l'intérieur du grain où elle mue quatre fois (**Lepesme, 1944**).

c. La nymphose

La larve se transforme en nymphe au sein des grains, après 6 à 8 semaines. Les adultes émergent après 5 à 16 jours supplémentaires et vivent environ 9 mois. Ils percent des trous sur le côté des grains pour en sortir (**Lepesme, 1944**) (**Fig. 5**). S'ils sont dérangés, ils feignent la mort en repliant leurs pattes sur leur corps et en restant dans cette position. A une température de 15°C et avec un taux d'humidité du grain égal à 11,3%, le cycle de vie complet s'étend sur six mois (**Potter, 1935**).



Figure 5. Différent stades du cycle de vie de *Sitophilus granarius*

Source : www.grainscanada.gc.ca/storage-entrepote.

2.1.2.2. Dégâts causés par l'insecte

Sitophilus granarius est l'un des insectes qui attaquent et déprécient les grains du stockage et de la conservation. Il est considéré comme l'une des espèces les plus nuisibles des stocks dans les pays tropicaux. Il cause aux diverses céréales entreposés des dégâts jugés importants (Bekon & Fleurat, 1989) (Fig. 6).



Figure 6. Dégâts causés par *Sitophilus granarius* (photo personnelle, 2019).

2.2. Elevage au laboratoire

L'élevage en masse est prélevé de l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (OAIC) et de la station de stockage d'El Aouinet-Tébessa. Les individus d'insectes sont ramenés au laboratoire de Biologie Animale, où ils ont subi un tamisage à l'aide d'un tamis à mailles de dimensions 2mm pour la sélection d'espèces ciblées.

Les insectes sélectionnés sont déposés séparément dans des bocaux en verre dont chacun contient 300g de grains de blé dur sains non infestés ou traités, utilisés comme substrat alimentaire. Les bocaux sont recouverts d'un morceau de tulle maintenu par un élastique à une température de 27 ± 1 °C, une humidité relative de $65 \pm 5\%$ et une photopériode de 12heures (Fig. 7). L'élevage est suivi quotidiennement et les adultes nouvellement exuviés sont utilisés pour toutes les expérimentations.

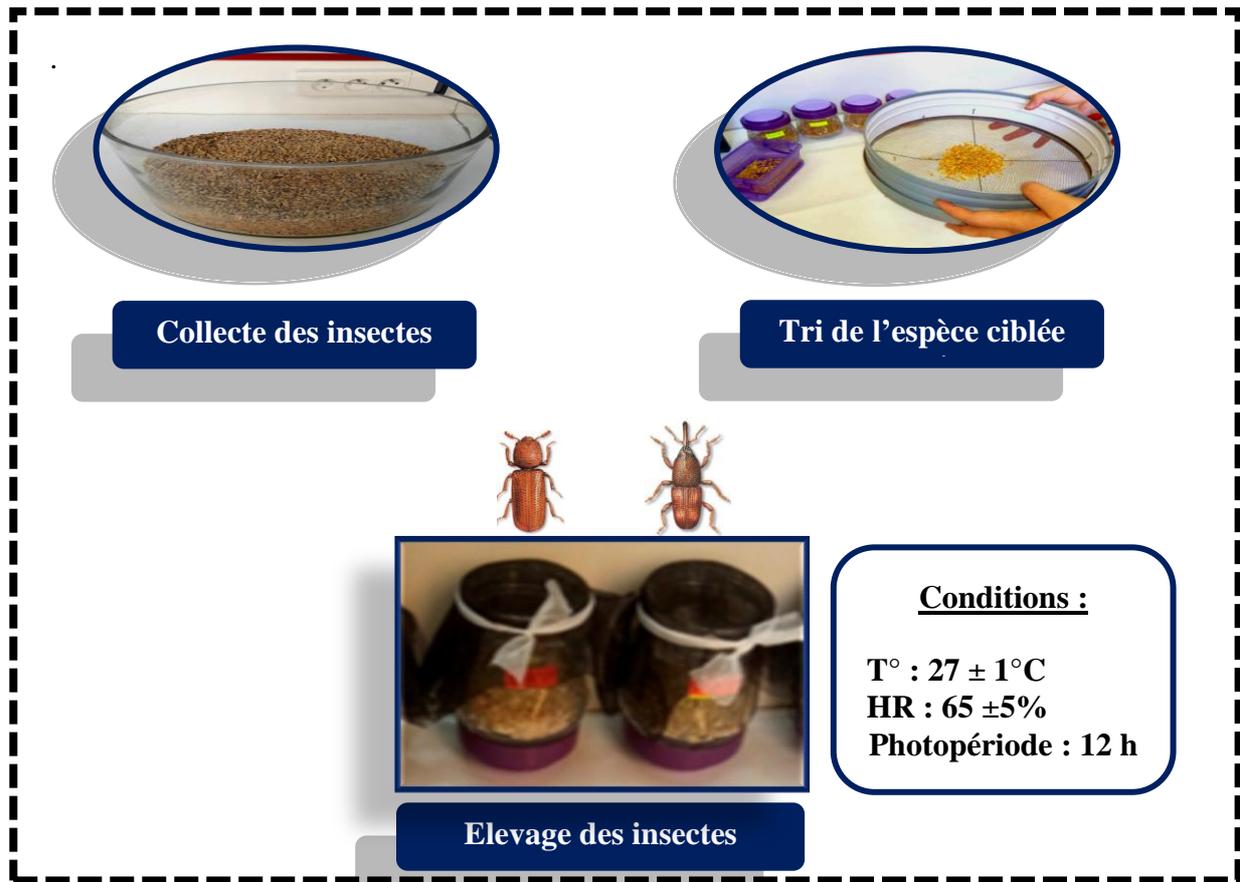


Figure 7. Collecte, Tri et Elevage des insectes étudiés (photos personnelles, 2019).

2.3. Présentation de *Lavandula angustifolia* (Miller, 1768)

Le mot *Lavandula* dérive du latin : lavare, qui signifie : laver (Chu & Kemper, 2001). La plante, *Lavandula angustifolia* (Lavande vraie, ou lavande fine), appelée communément par la population locale « khzama », choisie pour réaliser cette étude, est originaire de Tébessa. Le critère de choix du matériel végétal repose sur la disponibilité de la plante en Algérie car elle pousse à l'état spontané et son usage est bien connu en pharmacopée traditionnelle locale.

2.3.1. Description botanique

Cette plante pousse dans les montagnes calcaires de 500 à 1800 m d'altitude et il semble que l'altitude accentue encore la suavité de son odeur (Kothe, 2007). C'est une espèce de sous arbrisseau de 20 à 80 cm croissant en masse. La racine est pivotante et il y'a quelques-unes traçante. Les tiges ont une longueur qui varie de 15 à 20 cm et sont dépourvues de feuilles au-dessous des inflorescences. La plante se compose de hampes florales courtes et fines ne portant qu'un seul épi (Botineau, 2010) (Fig.8). Les feuilles sont étroites ou ovales, longues de 2 à 5 cm, les bractées sont d'un brun jaunâtre, marquées de 5 à 7 nervures principales très

distinctes, dont le contour est triangulaire, se détachant facilement de l'axe de l'épi (Lieutaghi, 2004) (Fig. 8). Les fleurs sont courtement pédonculées et disposées en épis de six ou dix groupes dont les plus inférieurs sont séparés des supérieurs. Elles sont portées par des bractées aussi larges que longues (Botineau, 2010). Elles sont hermaphrodites, les sépales sont au nombre de cinq et sont soudés pour former le calice tubulaire (Fabiani *et al.*, 2002) brièvement cotonneux. On observe la présence de quatre étamines didynames surmontées d'anthères ovoïdes (Gilly, 1997) (Fig.8).

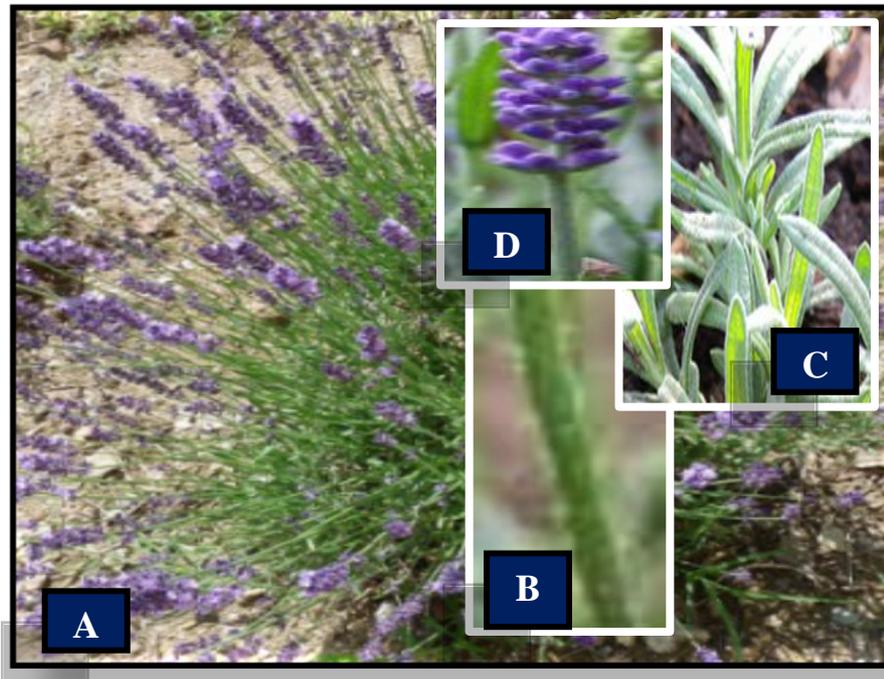


Figure 8. *Lavandula angustifolia* (Miller, 1768) (Photos personnelles, 2019).

A : Plante, B : Tige, C : Feuilles disposées sur la tige, D : Fleurs.

Selon Miller (1768), *Lavandula angustifolia* est classée dans le règne végétal comme suit :

Règne	Plantae
Sous Règne	Plantes vasculaires
Embranchement	Spermaphytes
Sous Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotyledones
Sous Classe	Dialypétales
Ordre	Lamiales (Labiales)
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Lavandula</i>
Espèce	<i>Lavandula angustifolia</i> M, 1768

2.3.2. Répartition géographique et utilisation de la plante

Elle pousse à l'état indigène dans certaines îles de l'Atlantique et depuis le bassin méditerranéen jusqu'au nord de l'Afrique tropicale, au Moyen Orient, à l'Arabie saoudite et en Inde (Small & Deutsch, 2001). Certaines se plaisent dans les collines incultes, d'autres préfèrent les bordures de forêts de chênes verts ou les lisières de bois d'oliviers. Leurs stations naturelles s'étendent du bord de mer jusqu'à des altitudes de 2500 m. Mais toutes aiment les terrains secs, légers, sablonneux et pierreux, bien drainés (Vialard, 2008). La lavande contient diverses molécules qui ont un intérêt médical, dont le linalool, l'acétate de linalyle, du limonène, du cinéole, de l'eugénol....

Généralement, la fleur est distillée afin d'obtenir de l'huile essentielle qui a de multiples vertus. Seule l'huile essentielle provenant de cette espèce (*Lavandula angustifolia*) bénéficie de l'appellation d'origine contrôlée (AOC), cette espèce est inscrite dans la Pharmacopée française (Xème édition) (Meunier, 1999). Ainsi, la lavande peut être utilisée comme calmant, antidépresseur et sédatif. Elle est aussi utilisée comme antalgique, anti-inflammatoire, antiseptique et cicatrisant. Elle a également des propriétés antibactériennes (Elharas et al., 2013) et ses qualités hypotensives et antispasmodiques sont appréciées (Schauenberg et al., 2010).

2.3.3. Récolte et préparation de la plante

Lavandula angustifolia est prélevée entre mars et avril 2019, fraîchement collectée, lavée à l'eau courante pendant 5 min afin d'éliminer le sol, puis séchée sur du papier propre à l'ombre dans un endroit sec et aéré pendant 10 jours. Afin de réaliser les différentes expérimentations qui nécessitent une matière végétale en poudre, la partie aérienne de la plante séchée est finement broyée à l'aide d'un broyeur pour matériel végétal (Fig. 9), puis conservé dans des flacons en verre fumé hermétiquement fermé.



Figure 9. Broyage de la matière végétale (Photo personnelle, 2019).

2.3.4. Screening phytochimique de la plante

En vue de mettre en évidence les grands groupes chimiques présents dans la plante, un screening phytochimique a été réalisé. La colorimétrie et la gravimétrie sont deux principales voies d'identification de ces groupes de substances en solution.

Pour notre travail, le screening phytochimique a été effectué sur la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* séchée et broyée selon la technique de **Harborne (1998)**.

Il s'agit des tests chimiques de caractérisation des alcaloïdes par révélation par le réactif de Dragendorff ; des flavonoïdes par le test à la soude ; des saponines par l'indice de mousse ; des tanins par réaction au chlorure ferrique 1 % ; des terpénoïdes par réaction à l'anhydride acétique et acide sulfurique concentré (**Fig.10**).

2.3.4.1. Recherche des flavonoïdes et des leucoanthocyanes

En présence d'hydroxyde de sodium (NaOH) (1N), de l'acide chlorhydrique (HCl) concentré et des copeaux de Magnésium (Mg), les flavonoïdes donnent des réactions de coloration caractéristique.

La même réaction effectuée au bain marie en absence de copeaux de Magnésium, provoque l'apparition de la coloration rouge qui confirme la présence des leucoanthocyanes.

Mode opératoire :

-5 g de matériel végétal placés dans un Erlen-Meyer, sont infusés dans 50 ml d'eau distillée pendant 30 minutes.

-Après filtration, prélever 6 ml d'infusé et les introduire dans 3 tubes à essai à raison de 2 ml par tube.

-Additionner respectivement à l'infusé contenu dans les 3 tubes à essai, 1 ml de NaOH, 1ml d'eau distillée et 1ml d'HCl concentré et de copeaux de Magnésium.

En présence des flavonoïdes, les colorations suivantes : rouge, jaune-rougeâtre, rouge à rouge-violacé, rouge-foncé au violet ou bleu, jaune et rose peuvent être observées. Ces couleurs correspondent respectivement aux anthocyanes, flavones, flavonels, flavonones, isoflavones et leucoanthocyanes.

2.3.4.2. Recherche des quinones

En présence de NaOH à 10 %, les solutions des quinones présentent une coloration caractéristique virant du rouge au violet.

Mode opératoire :

- 5 g de matériel végétal est humecté avec quelques gouttes d' HCl.
- Mettre à macération ce matériel végétal pendant une heure ou 24 heures dans un Erlen-Meyer fermé et contenant 10 ml d'éther de pétrole.
- Après filtration, 2 ml de filtrat sont agités avec 2 ml de NaOH à 10 %. La coloration rouge virant au violet apparaît en présence des quinones.

2.3.4.3. Recherche de saponines

Par agitation, une mousse persistante dont la hauteur est mesurable, apparaît dans les solutions de saponines.

Mode opératoire :

- 5 g de matériel végétal trituré sont mis dans un Erlen-Meyer dans lequel on y ajoute 50 ml d'eau distillée pour réaliser une décoction pendant 30 minutes.
 - Après refroidissement, filtrer et prélever 5 ml du décocté et les introduire dans un tube à essai de 16 mm de diamètre et 160 mm de hauteur après agitation.
- L'apparition d'une mousse persistante indique la présence des saponines. Cependant, en cas d'une faible mousse, le décocté est testé avec un mélange à volume égal d'acide sulfurique (H_2SO_4) 1N et Chrome de potassium (K_2CrO_3) à 10 %.

2.3.4.4. Recherche des tanins

En présence de Chlorure ferrique à 1% ; les extraits aqueux tanniques donnent des colorations bleu-vert, bleu-sombre et verte ou des précipités.

Mode opératoire :

- 5g de matériel végétal sont infusés dans 50 ml d'eau bouillante contenue dans un Erlen-Meyer pendant 30 minutes.
 - 2 ml de l'infusé sont prélevés et mis dans un tube à essai dans lequel on ajoute quelques gouttes de chlorure ferrique à 1%.
- L'apparition d'une coloration où la formation d'un précipité indique la présence des tanins catéchiques.
- Prendre encore 2 ml de l'infusé et les placer dans un tube à essai saturé en acétate de sodium et y ajouter quelques gouttes de $FeCl_3$.
- La formation d'un précipité indique la présence des tanins galliques.

2.3.4.5. Recherche des terpénoïdes et des stéroïdes

En présence de l'acide acétique anhydre et de l'acide sulfurique concentré (réactif de Lieberman-Burchard), l'extrait organique étheré contenant les stéroïdes donne des colorations mauves et vertes. L'identification des terpénoïdes suit le même schéma en plus de l'ajout du réactif de Hirschson (acide trichloracétique). La couleur jaune virant au rouge indique la présence de terpénoïdes.

Mode opératoire :

-Prendre 1g de matériel végétal qu'on met à macération pendant 24 heures dans l'éther de pétrole ou dans le benzène.

-Après filtration et introduction dans un Erlen-Meyer de 100 ml, le solvant est évaporé au bain de sable.

-Le résidu est récupéré dans un 1 ml de chloroforme, 1 ml d'anhydride acétique et 3 gouttes d'acide sulfurique concentré.

Il se produit une coloration violette devenant progressivement verte. La coloration verte se stabilise au bout de 30 minutes et indique la présence des stéroïdes.

Par ailleurs, 2ml de la solution acidifiée sont traités par quelques gouttes de réactif de Hirschson. L'apparition d'une coloration rouge indique la présence des terpénoïdes.

2.3.4.6. Recherche des alcaloïdes

La mise en évidence des alcaloïdes consiste à les précipiter à l'aide de six réactifs de précipitation à savoir : réactif de Dragendorff, Mayer, Hager, Bertrand, Wagner et le réactif de Sonnenschein.

Mode opératoire :

- 1g de poudre de la matière végétale sèche a été soumis à une macération dans 10 ml de méthanol à une température ambiante pendant 24 heures, puis à l'étuve à 50 °C pendant 4 heures.

- La solution obtenue est filtrée, lavée avec des portions de méthanol chaud. Ensuite, on évapore à sec la solution obtenue, à l'étuve à 50°C. Le résidu est recueilli deux fois par 2 ml de solution chaude d'acide chlorhydrique 1% et est filtré.

- La solution acide obtenue est basifiée par l'ammoniaque concentrée dans une ampoule à décanter. On y ajoute 15 ml de Chloroforme qui sera évaporé à sec, à l'air libre et le résidu obtenu, est repris dans 0,5 ml de HCl à 1% et agité.

-Ainsi, les alcaloïdes ayant été protonés sont supposés être passés en phases aqueuses. La phase aqueuse au-dessus est prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur. Six gouttes sont déposées sur une lame porte-objet.

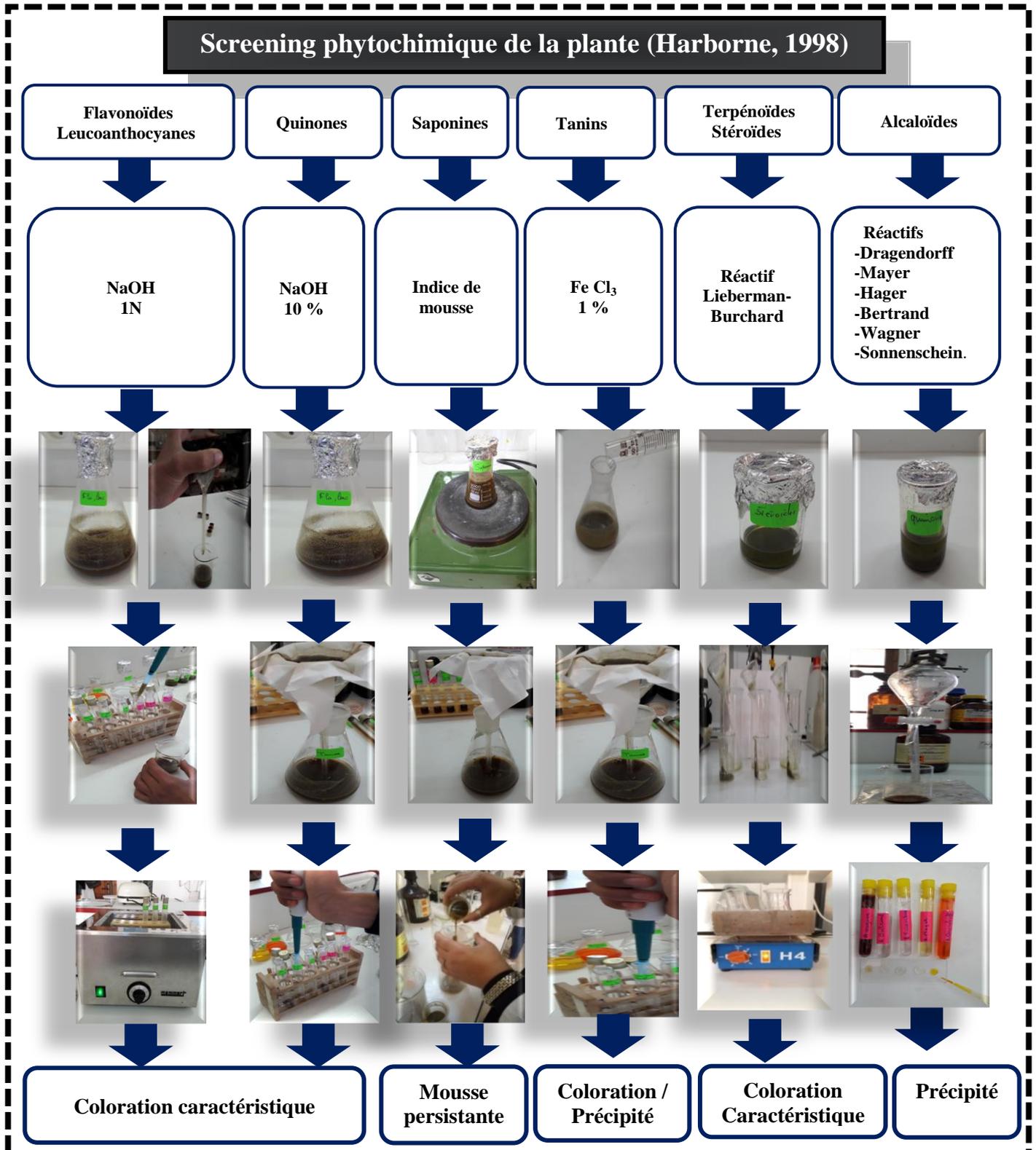


Figure 10. Screening phyto-chimique de la plante (photos personnelles, 2019).

2.4. Préparation des extraits hydroalcooliques

La préparation des extraits a été réalisée par la méthode d'extraction par épuisement solide /liquide décrite par **Romani et al. (2006)** avec différents solvants organiques : méthanol, éthanol, acétone (80%) et eau distillée avec un rapport ratio solide : liquide 1/10 (mg / ml) (**Michel, 2011**).

Il s'agit d'extraire une substance présente dans un solide pour la faire passer dans un solvant. Les cas les plus simples correspondent à la décoction, l'infusion et la macération. (**Gheorghide et al., 2006**). L'intérêt de la macération est généralement la conservation des principes actifs durant le procédé (**Sophie et al., 2003**), ce qui justifie notre choix de la méthode d'extraction dans la présente étude. Le choix des solvants d'extraction repose sur l'avantage d'extraire le maximum de composés phénoliques hydrophiles avec le minimum de sucre. Ils sont également faciles à éliminer sous vide (**Liégeois et al., 2000 ; Boizot et al., 2006**).

Une quantité de 10 g de la poudre végétale broyée de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* a été mélangé avec 100ml de chaque solvant. Le mélange est maintenu sous une agitation magnétique pendant 24 h à température ambiante. La solution obtenue est ensuite filtrée sur papier filtre (Wattman N°2 de diamètre 0,2 µm), le filtrat a été ensuite récupéré. Le but de la filtration est de séparer les constituants du mélange liquide-solide par le passage à travers un milieu filtrant. Ensuite les solvants contenus dans les filtrats sont éliminés par évaporation dans un évaporateur rotatif utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation, le ballon qui contient le filtrat mélangé avec le solvant est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé à 50°C. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. L'abaissement de la pression permet d'évaporer le solvant à température réduite, évitant ainsi la dégradation thermique éventuelle des composés. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. Après l'évaporation des solvants, les extraits secs sont ensuite récupérés à 30% avec de l'eau distillée stérile, puis étiquetés et conservés à l'abri de la lumière à 4 °C dans des tubes à essai en verre jusqu'à l'utilisation (**Fig.11**).

La pesée des ballons avant et après l'évaporation a été effectuée afin de calculer le rendement exprimé en (%) à partir du poids de chaque extrait déterminé à partir de trois répétitions, selon la formule suivante :

$$R (\%) = [P_1 / P_0] \times 100$$

P₁ : poids de l'extrait sec exprimé en gramme.

P₀ : poids initial de la poudre végétale exprimé en gramme.

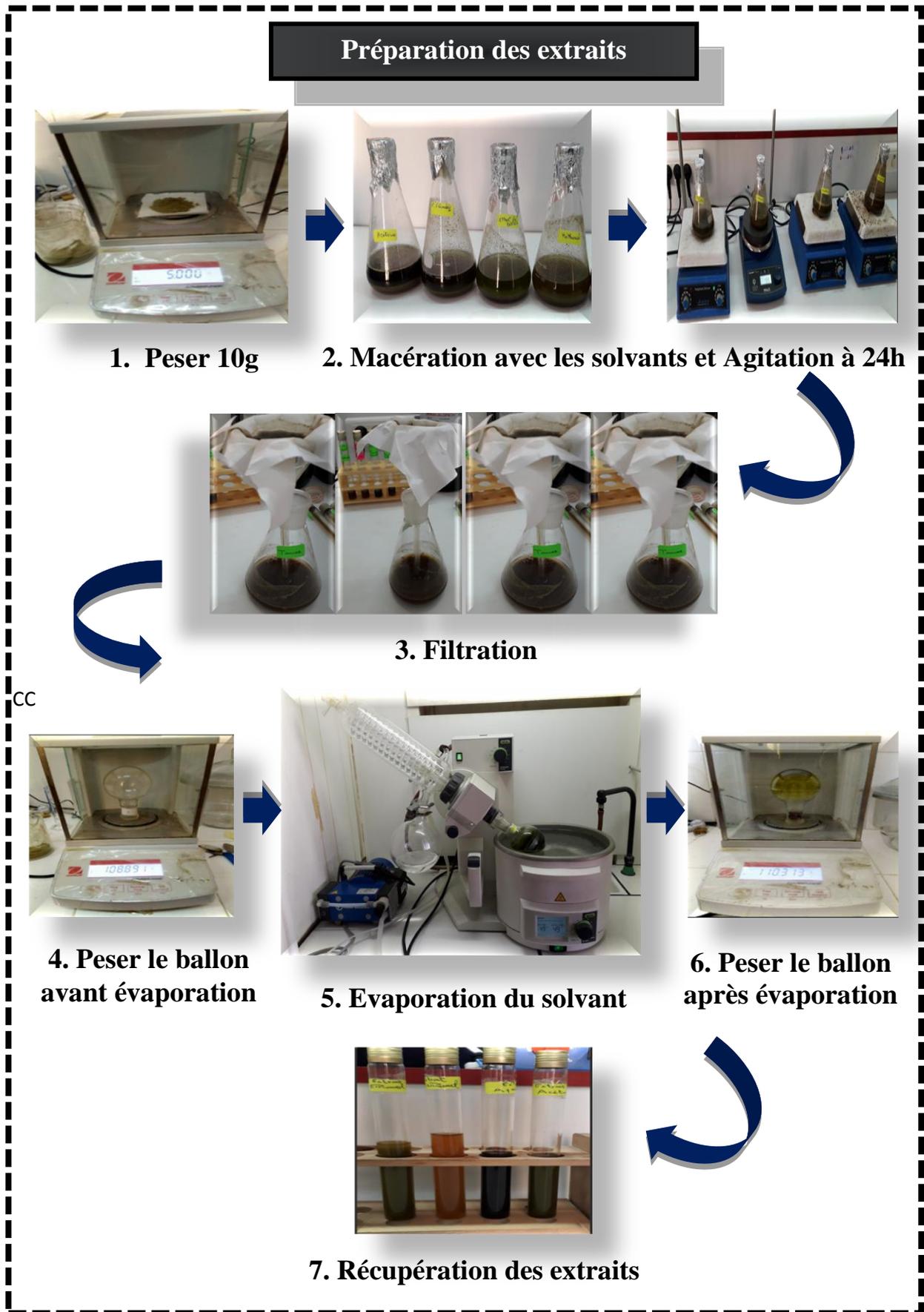


Figure 11. Préparation des extraits hydroalcooliques (photos personnelles, 2019).

2.5. Dosage des composés phénoliques

2.5.1. Dosage des polyphénols totaux

Les analyses quantitatives des polyphénols totaux des différents extraits sont réalisées. La principale raison pour le choix de ces substances réside dans le fait que la majorité des propriétés antioxydante, antimicrobienne et insecticide des plantes leur sont attribués. Le dosage des polyphénols totaux dans les différents extraits a été réalisé par la méthode de **Singleton & Ross (1965)** in **Wong et al. (2005)**, utilisant le réactif de Folin–Ciocalteu.

Ce réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), il est réduit par les phénols en un mélange d'oxydes bleues de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) (**Ribéreau-Gayon et al., 1982**). Cette coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans le milieu, donne un maximum d'absorption à 760 nm (**Lapornik et al., 2005**).

Mode opératoire :

Un volume de 0,2 ml de chaque extrait préparé est introduit dans des tubes à essais, auquel il a été ajouté 1 ml de Folin Ciocalteu et 0,8 ml de carbonate de sodium à 7,5 %. Par la suite, les tubes sont agités et conservés durant 2h à une température ambiante. L'absorbance est mesurée en utilisant le spectrophotomètre à une longueur d'onde 765 nm avec un blanc préparé de la même manière en remplaçant l'extrait par le méthanol (**Fig.12**).

Les teneurs en polyphénols totaux pour chaque échantillon sont calculées à partir de l'équation de régression d'une gamme d'étalonnage en milieu aqueux (0 à 200 $\mu\text{g/ml}$), établie avec l'acide gallique dans les mêmes conditions opératoires que les extraits.

Les résultats ont été exprimés en milligramme (mg) équivalent d'acide gallique par gramme (g) du poids de la matière sèche (mg EAG/ g MS).

2.5.2 Dosage des flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les différents extraits méthanolique, éthanolique, acétonique et aqueux de *Lavandula angustifolia* a été réalisée par la méthode de **Bahorun et al. (1996)**.

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau-Gayon et al., 1982**).

Mode opératoire

1 ml de chaque extrait a été mis dans un tube à essai, auquel il a été ajouté 1ml de la solution méthanolique de chlorure d'aluminium (AlCl_3 à 2%). Après incubation pendant 15 mn à température ambiante, la mesure de l'absorbance a été effectuée à 430 nm (**Fig.12**).

Lors de la préparation du blanc, l'extrait a été remplacé par le méthanol. Les concentrations des flavonoïdes des différents extraits sont estimées à partir de la gamme d'étalonnage (0-40 $\mu\text{g/ml}$), établie avec la quercétine, et sont exprimées en microgrammes équivalents de quercétine par milligramme du poids de la matière sèche ($\mu\text{g EQ/mg MS}$).

2.5.3. Dosage des tannins condensés

Le dosage des tannins condensés est basé sur la condensation des composés polyphénoliques (flavanes -3-ols) avec la vanilline en milieu acide (**Price et al., 1978**).

Mode opératoire

La méthode d'estimation de la teneur en tannins condensés a été proposée par **Swain & Hillis (1959)**, qui consiste à mélanger 2 ml du réactif de la vanilline à 1 ml d'extrait. Après incubation à 50°C pendant 20 min, l'absorbance est mesurée à 500nm (**Fig.12**).

Les résultats sont exprimés en gramme équivalent d'acide tannique par gramme de matière sèche (mg EAT/g MS) à partir de la courbe d'étalonnage.

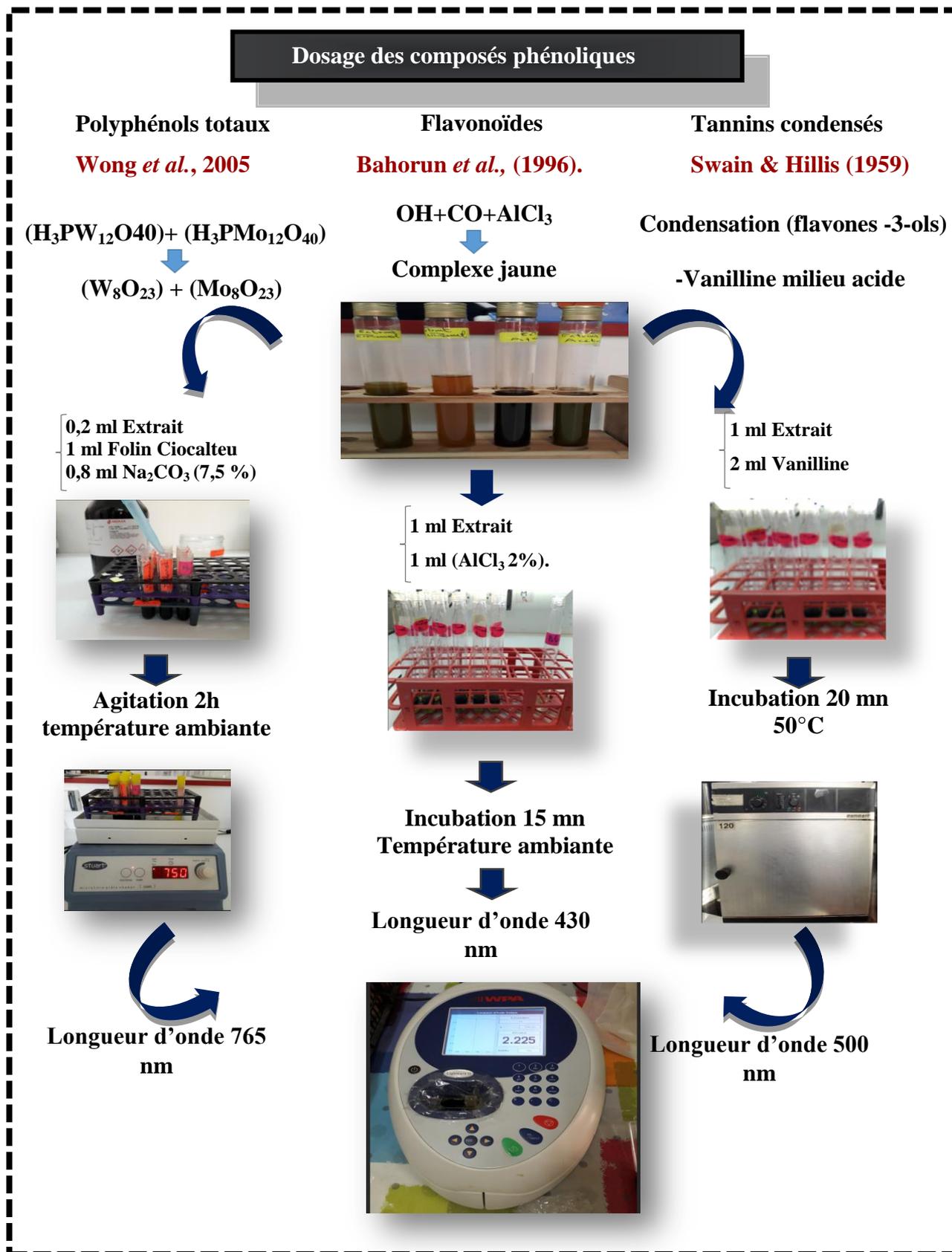


Figure 12. Protocole de dosage des composés phénoliques (photos personnelles, 2019).

2.6. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de *Lavandula angustifolia*

2.6.1. Activité réductrice du molybdate

Cette technique est basée sur la réduction du molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate MoO_4^{2-} à molybdène Mo (V) sous la forme MoO_2^+ en présence de l'extrait pour former un complexe vert de phosphate/ Mo (V) à pH acide (Prieto *et al.*, 1999).

Mode opératoire

La capacité antioxydante totale (TAC) des différents extraits préparés est évaluée par la méthode de Phosphomolybdène de Prieto *et al.* (1999).

Un volume de 0,3 ml de chaque extrait a été mélangé avec 3 ml d'une solution préparée en mélangeant 0,6 M acide sulfurique, 28 mM phosphate de sodium et 4 mM molybdate d'ammonium. Les tubes ont été incubés à 95°C pendant 90 min. Après refroidissement, l'absorbance des solutions a été mesurée à 695 nm. Un blanc a été préparé dans les mêmes conditions que l'échantillon qui a été remplacé par le méthanol (Fig.13). La capacité antioxydante totale est exprimée en milligramme équivalent d'acide ascorbique par gramme de la matière sèche (mg EAA/ g MS) à partir d'une courbe d'étalonnage.

2.6.2. Activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre stable utilisé pour remplacer les radicaux libres produits en réponses à des stress internes ou externes en présence d'un antioxydant, la couleur violette caractéristique du DPPH est transformée en une couleur jaune (Brand *et al.*, 1995). L'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons, elle est mesurée à 517 nm (Sanchez-Moreno, 2002).

Selon le protocole décrit par Mansouri *et al.* (2005), la solution de DPPH est préparée par solubilisation de 2,4 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol. 25 µl des solutions de chaque extrait (ou d'acide ascorbique) sont ajoutés à 975 µl DPPH, le mélange est laissé à l'obscurité pendant 30 min et la décoloration par rapport au contrôle négatif contenant la solution de DPPH et du méthanol est mesurée à 517 nm (Fig.13).

L'activité antiradicalaire est estimée selon l'équation :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{contrôle}}] \times 100$$

A : absorbance.

IC50 (concentration inhibitrice de 50 %), aussi appelée EC50 (Efficient concentration 50), est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH. Les IC50 sont calculées graphiquement à l'aide de la courbe des pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des extraits testés (Torres, 2006).

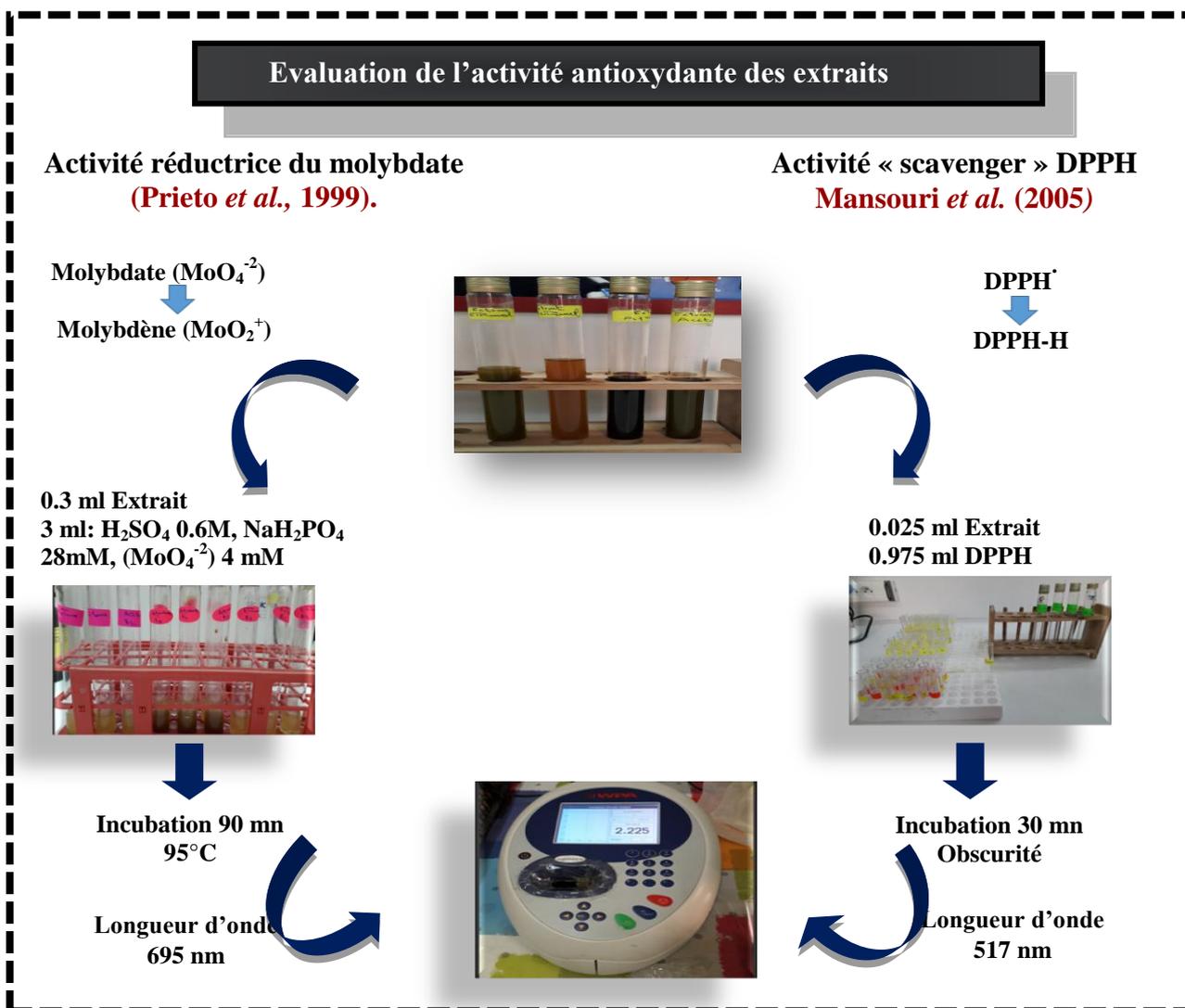


Figure 13. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits (photos personnelles, 2019).

2.7. Traitement et essai insecticide

Les tests de toxicité ont pour objet d'évaluer le degré de sensibilité des espèces animales ou végétales à l'égard d'une substance toxique. En pratique, ils cherchent à déterminer les différentes formes de toxicité (par ingestion ; par inhalation ou par contact) et à évaluer quantitative les principaux effets létaux ou sublétaux (Ramade, 2007).

Afin de mettre en évidence l'efficacité des différents extraits préparés : méthanolique, éthanolique, acétonique, et aqueux issus de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* et de définir les concentrations létales (CL₅₀, CL₉₀) à l'égard des insectes adultes de *Rhyzopertha dominica* et *Sitophilus granarius*, on a réalisé un essai toxicologique basé sur l'application de ces extraits par fumigation sur les deux espèces d'insectes ciblées.

Après un screening préalable, l'essai est conduit en utilisant différentes concentrations pour chaque extrait : 200, 400, 800, 1000 et 1200 µl /L air qui sont appliqués à l'aide d'une micropipette sur un papier filtre (whatman n°2) coupé en cercle de 2,5 cm de diamètre. Ces disques sont suspendus à l'aide d'un fil à la face interne du couvercle des flacons stériles à usage unique de 60ml de volume, contenant chacun 10 adultes non sexés et 10gr de blé sain (**Fig. 14**). Trois répétitions ont été réalisées pour chaque concentration testée par espèce. Par ailleurs, une série témoin sans aucun traitement est conduite en parallèle. La mortalité des individus témoins et traités est enregistrée après 1, 2, 3, 6, 12, et 24 heures après traitement. Les insectes incapables de bouger la tête et les antennes sont considérés comme morts.

Les mortalités observées ont été corrigées selon la formule d'**Abbott (1925)** afin d'éliminer les mortalités naturelles non liées au traitement.

$$MC (\%) = (M - MT) / (100 - MT) \times 100$$

MC (%) : pourcentage de mortalité corrigée.

M (%) : pourcentage de morts dans la population traitée.

MT (%) : pourcentage de morts dans la population témoin.

Les concentrations létales et sous létales ainsi que leurs intervalles de confiance ont été calculées grâce à un Logiciel Graph Pad Prism 7.

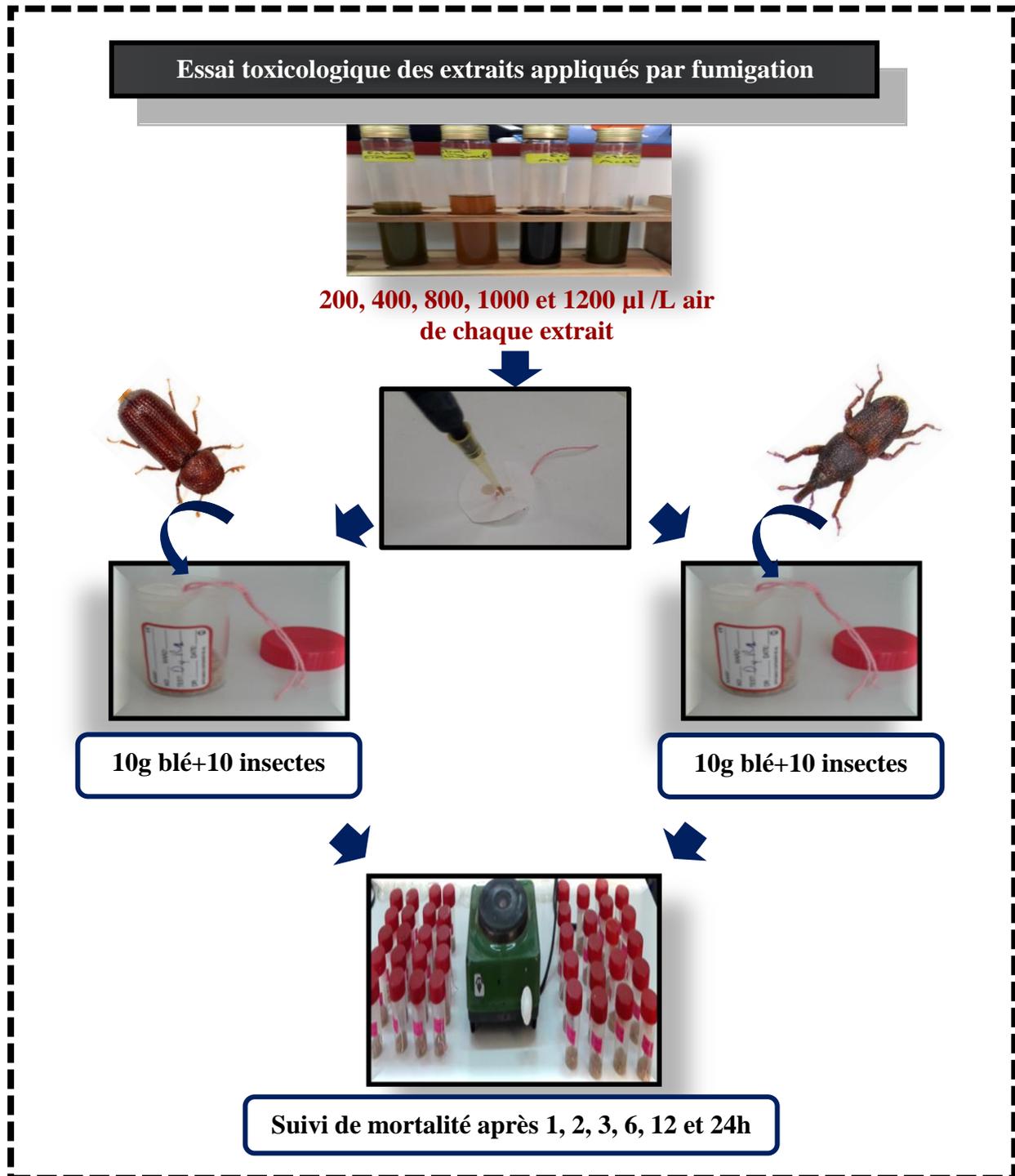


Figure 14. Essais toxicologiques des extraits appliqués par fumigation (Photos personnelles, 2019).

2.8. Test de répulsion

Ce test est utilisé pour calculer le pourcentage de répulsion des extraits méthanolique, éthanolique, aqueux et acétonique du *L. angustifolia* à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius*, d'après la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre décrite par **McDonald et al. (1970)** qui consiste les étapes suivantes :

- Des disques du papier filtre Wattman n°2 de 9 cm de diamètre sont coupés en deux parties égales.
- Quatre concentrations ont été préparées (4, 8, 16, et 32 µl/ml d'acétone) pour chaque extrait.
- Ensuite, 0,5 ml de chacune des solutions ainsi préparées a été appliquées uniformément sur une moitié du disque tandis que l'autre moitié a reçu uniquement 0,5 ml d'acétone. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque concentration.
- Après quinze minutes, temps nécessaire pour l'évaporation complète du solvant, les deux moitiés des disques ont été attachées au moyen d'une bande adhésive.
- Le disque de papier filtre ainsi reconstitué, a été placé dans une boîte de Pétri en plastique et un lot de 10 individus d'insectes de chaque espèce a été placé au centre de chaque disque (**Fig.15**).

Le nombre d'insectes présents sur la partie de papier filtre traitée avec les différents extraits (**Nt**) et le nombre de ceux présents sur la partie témoin (avec l'acétone seulement) (**Nc**) ont été relevés après 30min, 3h, 6h et 24h.

Le pourcentage de répulsion (**PR**) a été calculé en utilisant la formule ci-dessous et attribué à l'une des différentes classes répulsives variant de 0 à V (**McDonald et al., 1970**) qui sont présentés dans le tableau 1

$$PR = (Nc - Nt) / (Nc + Nt) \times 100$$

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

Classes	Taux de répulsion	Propriétés
Classe 0	(RP < 0,1%)	N'est pas répulsive
Classe I	(RP = 0,1% - 20,0%)	Très faiblement répulsive
Classe II	(RP = 20,1% - 40,0%)	Faiblement répulsive
Classe III	(RP = 40,1% - 60,0%)	Modérément répulsive
Classe IV	(RP = 60,1% - 80,0%)	Répulsive
Classe V	(RP = 80,1 % - 100%)	Très répulsive

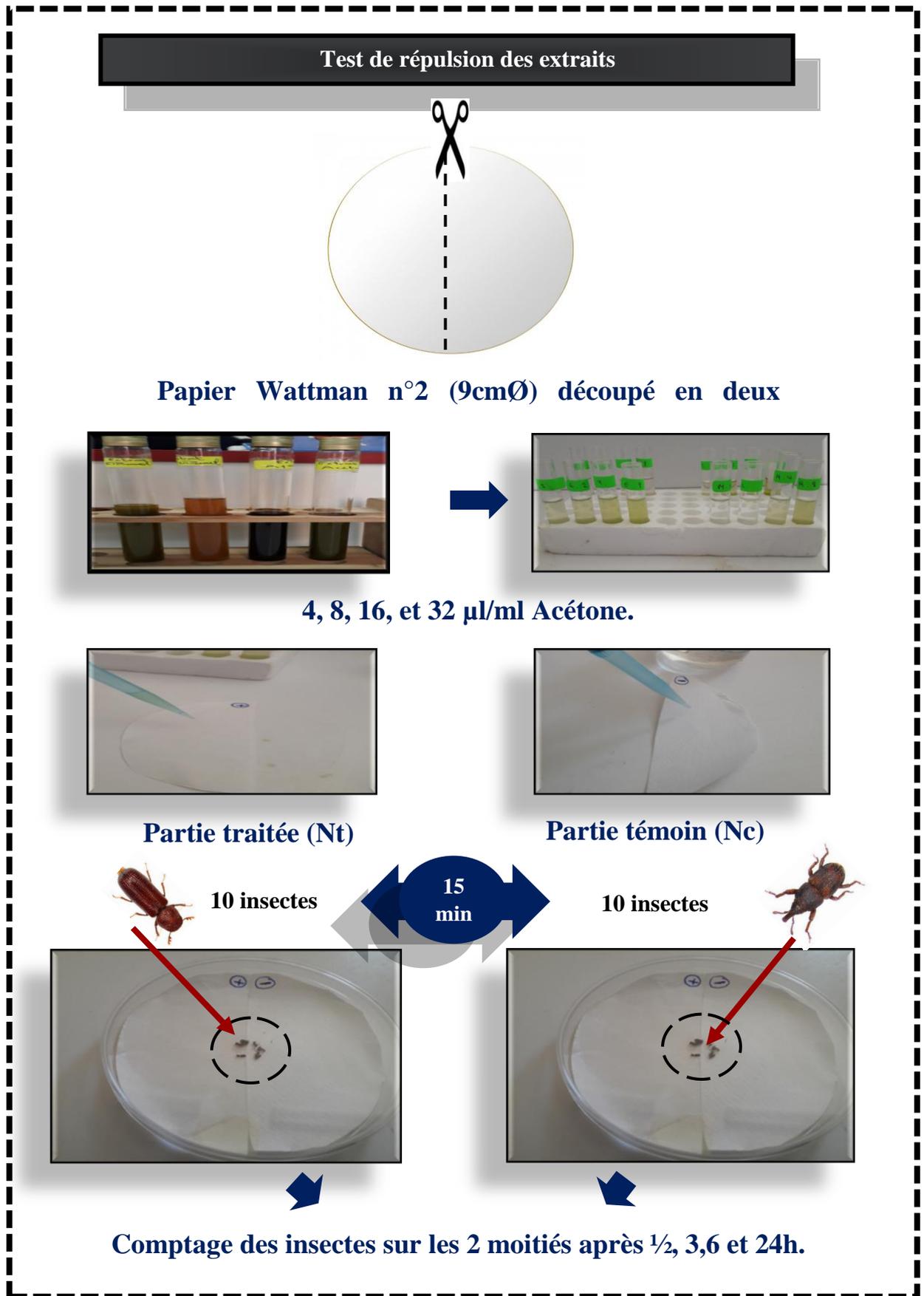


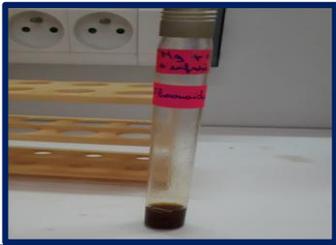
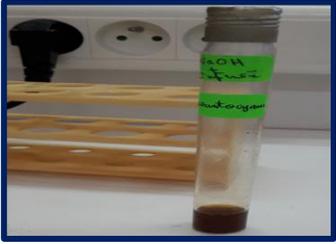
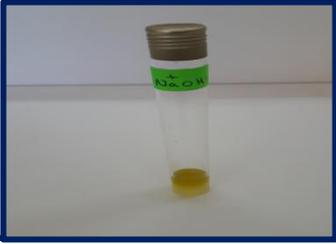
Figure 15. Test de répulsion des extraits (photos personnelles, 2019).

3. RESULTATS

3.1. Screening phytochimique

Les tests phytochimiques consistent à détecter les différentes familles de composés existants au niveau de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* sur le plan qualitatif. Cette détection chimique est basée sur des réactions de précipitation, de turbidité et de coloration. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Screening phytochimique de *Lavandula angustifolia*.

Familles		Résultats
Flavonoïdes	Couleur jaune rougeâtre (+) flavones	
Leucoanthocyanes	Couleur rouge (+)	
Quinones	Pas de couleur Rouge-violacé (-)	
Saponines	Apparition de mousse (+)	
Tanins Tanins galliques	Précipité et couleur bleue (+)	

Terpénoïdes	Couleur rouge (+)	
Stéroïdes	Couleur verte (+)	
Alcaloïdes	Pas de précipité (-)	

(+) : *Test positif* (-) : *Test négatif*.

D'après les résultats du screening phytochimique, on constate que la plante étudiée ne contient ni les quinones, ni les alcaloïdes, tandis qu'elle renferme des flavonoïdes de types flavones, des tannins, des leucoanthocyanes, des saponines, des terpénoïdes et des Stéroïdes.

3.2. Rendement des extraits de *Lavandula angustifolia*

Dans ce travail, les extraits ont été préparés à partir de la poudre de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia*, par épuisement solide /liquide, utilisant plusieurs solvants : éthanol, méthanol, acétone à 80% et l'eau distillée avec un rapport ratio solide : liquide 1/10 (mg / ml). Les extraits obtenus présentent des couleurs différentes selon le solvant d'extraction (**Fig. 16**). Le rendement des différents extraits obtenus varie entre 15,637 à 23,335% et sont reportés dans le tableau 3.

Nous constatons que le rendement le plus élevé est celui de l'extrait méthanolique avec un taux de 23,33%, suivi de l'extrait éthanolique avec une valeur de 19,33% puis l'extrait aqueux (16,37%), alors que le rendement le plus faible est obtenu pour l'extrait acétonique (15,63%).

*

Tableau 3. Rendement des différents extraits de *Lavandula angustifolia*.

Partie de la plante	Solvant d'extraction	Couleur	Rendement (%)
Partie aérienne	Méthanol	Marron jaunâtre	23,33
	Ethanol	Vert clair	19,33
	Eau distillée	Marron foncé	16,37
	Acétone	Vert foncé	15,63

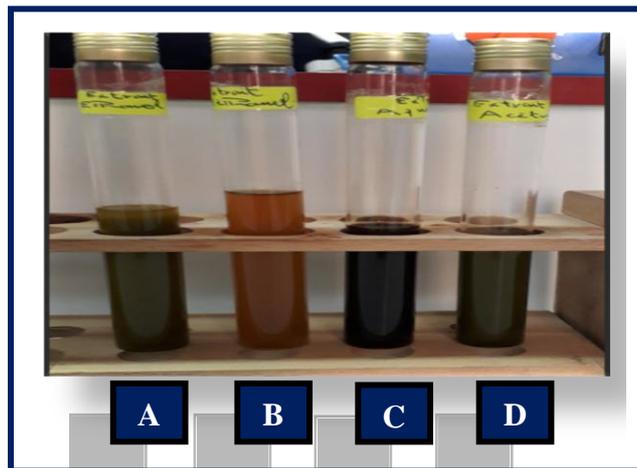


Figure 16. Extraits de *Lavandula angustifolia*

A : Extrait éthanolique, **B** : Extrait méthanolique, **C** : Extrait aqueux, **D** : Extrait acétonique.

3.3. Teneur des extraits en composés phénoliques

Les résultats du dosage des polyphénols totaux, flavonoïdes et tannins des différents extraits de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* sont illustrés dans le tableau 4.

3.3.1. Teneur en polyphénols totaux

Les résultats indiquent clairement des différences au niveau des teneurs. Ils dévoilent également que la valeur la plus élevée est observée dans l'extrait méthanolique ($23,51 \pm 2,88$ mg E AG/g), suivie par l'extrait éthanolique ($17,79 \pm 1,77$), acétonique ($12,78 \pm 1,27$) et aqueux avec une valeur de $12,18 \pm 0,20$ respectivement. Ces variations de teneurs pourraient être dues à la nature du solvant.

Les résultats révèlent également que l'extrait méthanolique présentant une teneur plus élevée en polyphénols totaux a montré également un rendement plus supérieur comparativement aux autres extraits utilisés.

3.3.2. Teneur en flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux des extraits hydro-alcoolique de la plante testée a été déterminée selon la méthode du trichlorure d'aluminium. Les résultats sont exprimés en terme d'équivalent de quercétine ($\mu\text{g EQ/mg MS}$) et calculés à partir d'une courbe d'étalonnage. Les résultats obtenus sont répertorié dans le tableau 4, qui montre que le méthanol a également présenté des teneurs les plus élevés en flavonoïdes de l'ordre de $14,49 \pm 0,18 \text{ mg EQ/g MS}$. Par ailleurs, l'extrait éthanolique et aqueux ont montré des teneurs en flavonoïdes comparables ($9,62$ et $9,38 \text{ mg EQ/g MS}$ respectivement). Par contre, on note que l'acétone a marqué une faible teneur en flavonoïdes comparativement aux autres extraits testés.

3.3.3. Teneur en tannins

L'analyse des résultats mentionnés dans le tableau 4, révèle une variation de la teneur en tannins en fonction du solvant d'extraction. Ainsi l'éthanol semble le meilleur solvant pour l'extraction de ces composés par rapport aux autres, avec une moyenne de $10,56 \pm 1,28 \text{ mg EAT/g MS}$, suivi de l'extrait aqueux qui a enregistré une teneur de $6,80 \pm 0,82 \text{ mg EAT/g MS}$. Enfin, l'extrait méthanolique et acétonique ont marqué les teneurs les plus faibles affichant des valeurs de $3,07 \pm 0,53$ et $2,06 \pm 0,24 \text{ mg EAT/g MS}$ respectivement. Au vu des résultats obtenus, il ressort que, l'extraction des composés phénoliques est une étape cruciale pour la valorisation des principes actifs et qui dépend du solvant d'extraction.

Tableau 4. Teneur en Polyphénols totaux (mg EAG /g MS), Flavonoïdes ($\mu\text{g EQ/mg MS}$), et Tannins ($\mu\text{g EQ/mg MS}$) des extraits hydro-alcooliques de *L. angustifolia* ($m \pm \text{SEM}$).

Extraits	Polyphénols totaux (mg EAG/g MS)	Flavonoïdes ($\mu\text{g EQ/mg MS}$)	Tannins (mg EAT/g MS)
Méthanolique	$23,51 \pm 2,88$	$14,49 \pm 0,18$	$3,07 \pm 0,53$
Ethanolique	$17,79 \pm 1,77$	$9,62 \pm 0,38$	$10,56 \pm 1,28$
Aqueux	$12,18 \pm 0,20$	$9,38 \pm 0,04$	$6,80 \pm 0,82$
Acétonique	$12,78 \pm 1,27$	$6,12 \pm 00,39$	$2,06 \pm 0,24$

3.4. Evaluation du potentiel antioxydant des extraits

Dans la présente étude, l'activité antioxydante des extraits de *Lavandula angustifolia* a été déterminée en utilisant deux tests différents à savoir ; l'activité réductrice du molybdate, et l'activité « scavenger » du radical DPPH.

3.4.1. Activité réductrice du molybdate

Les résultats du pouvoir réducteur du molybdate des extraits testés présentent des variations en fonction du solvant utilisé. Il a été constaté que l'extrait méthanolique a affiché la meilleure capacité antioxydante qui est de l'ordre de $27,39 \pm 1,00$ mg EAA/g MS, par rapport aux autres extraits utilisés, alors que la plus faible capacité antioxydante a été enregistrée avec l'extrait éthanolique soit une valeur de $15,95 \pm 0,10$ mg EAA/g MS (Tableau 5).

Tableau 5. La capacité antioxydante totale réductrice du molybdate (TAC) (mg EAA/ g MS) des extraits hydro-alcooliques de *L. angustifolia*.

Extraits	TAC (mg EAA/ g MS)
Méthanolique	$27,39 \pm 1,00$
Ethanolique	$15,95 \pm 0,10$
Aqueux	$25,98 \pm 1,63$
Acétonique	$20,70 \pm 1,54$

3.4.2. Activité « Scavenger » du radical DPPH

Les résultats de la capacité des extraits de *L. angustifolia* à piéger le radical DPPH en fonction de la concentration et du solvant sont présentés dans le tableau 6.

On peut constater que l'extrait méthanolique est le plus actif comparativement aux autres extraits avec une concentration de $38,31 \pm 5,93 \mu\text{g/ml}$ pour piéger 50% du radical libre DPPH, suivi de l'extrait aqueux avec une CI50 de $47,83 \pm 9,10 \mu\text{g/ml}$ puis l'extrait acétonique et éthanolique avec des concentrations de $51,51 \pm 3,75$ et $85,33 \pm 4,18 \mu\text{g/ml}$ pour la dose la plus forte (16 μl).

Tableau 6. Capacité des extraits de *L. angustifolia* à piéger le radical DPPH.

Extraits	CI50/ DPPH ($\mu\text{g/ml}$)			
	Doses (μl)			
	2	4	8	16
Méthanolique	$73,11 \pm 1,24$	$62,96 \pm 4,44$	$55,14 \pm 7,08$	$38,31 \pm 5,93$
Ethanolique	$96,47 \pm 0,97$	$94,96 \pm 1,32$	$91,68 \pm 0,48$	$85,33 \pm 4,18$
Aqueux	$84,02 \pm 2,91$	$75,82 \pm 4,45$	$65,06 \pm 3,47$	$47,83 \pm 9,10$
Acétonique	$89,44 \pm 2,28$	$83,89 \pm 3,66$	$66,37 \pm 8,22$	$51,51 \pm 3,75$

3.5. Essais toxicologiques

Les essais toxicologiques ont permis de déterminer l'efficacité des extraits méthanolique, éthanolique, aqueux et acétonique de *Lavandula angustifolia*, évaluée à partir de la mortalité enregistrée chez les adultes de deux espèces d'insectes : *R. dominica*, *S. granarius*, à différentes périodes : 1, 2, 3, 6, 12 et 24 h après traitement.

3.5.1. Toxicité de l'extrait méthanolique

L'extrait méthanolique de *L. angustifolia* a été testé par fumigation avec différentes concentrations : 200, 400, 800, 1000, et 1200 $\mu\text{l/L}$ air, à l'égard des adultes des deux insectes.

Les résultats des mortalités enregistrées après les périodes de traitement : 1, 2, 3, 6, 12 et 24h sont répertoriés dans le tableau 7, affichant des valeurs allant de 10 ± 00 % pour la plus faible dose jusqu'au $97,5 \pm 3,75$ et 100% pour la plus forte dose chez *R. dominica* et *S. granarius* respectivement à partir de la première heure jusqu'à 24h après traitement.

On note également une augmentation du taux de mortalité en fonction des concentrations appliquées et le temps d'exposition chez les deux espèces d'insectes (**Fig. 17**). Ainsi *S. granarius* marque un taux de mortalité plus élevé par rapport au *R. dominica* estimé à 100 % chez les séries traitées avec la plus forte dose depuis la 6^{ème} heure du traitement jusqu'à 24h.

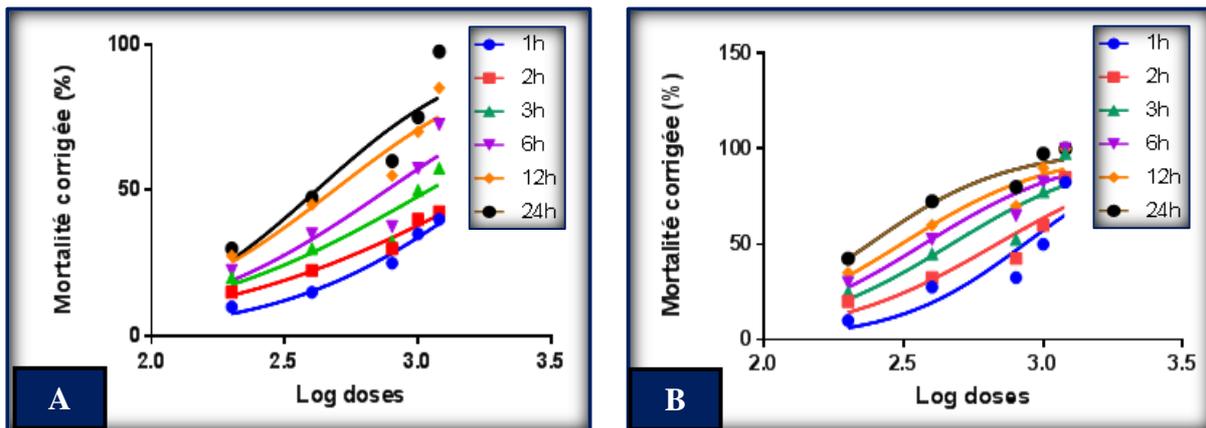


Figure 17. Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait méthanolique à différentes périodes chez *R. dominica* (A) et *S. granarius* (B).

Tableau 7. Effet de l'extrait méthanolique de *L. angustifolia* appliqué par fumigation à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes ($m \pm$ SEM, $n= 3$ répétitions comportant chacune 10 individus).

Temps (h)	Dose (μ L/L)	<i>R. dominica</i>	<i>S. granarius</i>
1	200	10,00 \pm 0,00	10,00 \pm 0,00
	400	15,00 \pm 5,00	27,20 \pm 3,75
	800	25,00 \pm 5,00	32,50 \pm 3,75
	1000	35,00 \pm 5,00	50,00 \pm 0,00
	1200	40,00 \pm 5,00	82,50 \pm 7,50
2	200	15,00 \pm 7,50	20,00 \pm 5,00
	400	22,50 \pm 3,75	32,50 \pm 3,75
	800	30,00 \pm 5,00	42,50 \pm 3,75
	1000	40,00 \pm 0,00	60,00 \pm 5,00
	1200	42,50 \pm 7,50	85,00 \pm 5,00
3	200	20,00 \pm 5,00	25,00 \pm 5,00
	400	30,00 \pm 5,00	45,00 \pm 5,00
	800	32,50 \pm 7,50	52,50 \pm 7,50
	1000	50,00 \pm 5,00	77,50 \pm 3,75
	1200	57,50 \pm 3,75	97,50 \pm 3,75
6	200	22,50 \pm 3,75	30,00 \pm 0,00
	400	35,00 \pm 5,00	52,50 \pm 3,75
	800	37,50 \pm 3,75	65,00 \pm 5,00
	1000	57,50 \pm 3,75	82,50 \pm 3,75
	1200	72,50 \pm 3,75	100,0 \pm 0,00
12	200	27,50 \pm 3,75	35,00 \pm 5,00
	400	45,00 \pm 5,00	60,00 \pm 5,00
	800	55,00 \pm 7,50	70,00 \pm 0,00
	1000	70,00 \pm 5,00	90,00 \pm 5,00
	1200	85,00 \pm 5,00	100,0 \pm 0,00
24	200	30,00 \pm 0,00	42,50 \pm 3,75
	400	47,50 \pm 3,75	72,50 \pm 3,75
	800	60,00 \pm 0,00	80,00 \pm 0,00
	1000	75,00 \pm 5,00	97,50 \pm 3,75
	1200	97,50 \pm 3,75	100,0 \pm 0,00

Les concentrations sous létales (CL₁₀ et CL₂₅) et létales (CL₅₀ et CL₉₀) au cours de différentes périodes des deux espèces, ainsi que le Slope, le coefficient de détermination et l'intervalle de confiance ont été calculés par le logiciel GRAPH PAD PRISM 7 (Tableau 8).

Tableau 8. Efficacité de l'extrait méthanolique de *Lavandula angustifolia* appliqué par fumigation sur les adultes de *R. dominica* et *S. granarius* à 1, 2, 3, 6, 12 et 24h après traitement. Analyse des probits.

Période (h)	R ²	Slope	CL ₂₅ (µL/L) IC (95%)	CL ₅₀ (µL/L) IC (95%)	CL ₉₀ (µL/L) IC (95%)
<i>Rhyzopertha dominica</i>					
1	0,96	1.12	684 (531,60-830,20)	1811 (1369-3241)	12689 (4804-8008)
2	0,96	0.82	478,30 (322,50-621,90)	1809 (1323-3499)	25875 (8262-2781)
3	0,84	0.90	326,50 (11,73-638,40)	1099 (674,30-1395)	12451 (2605-6427)
6	0,79	1.08	276,20 (0,0054-680,20)	762,50 (320,90-1521)	5812 (15859,288e+015)
12	0,89	1.22	197 (24,97-397,20)	483,90 (236,60-751,90)	2920 (1261-5356)
24	0,84	1.41	191,80 (02,55-460,00)	416,20 (83,25-733,60)	1960 (733,10-2466)
<i>Sitophilus granarius</i>					
1	0,79	1.86	475,00 (0,0244-1020)	854,90 (373,80-1842)	2769 (995,58,471e+017)
2	0,81	1.46	321,30 (1,374-838,80)	680,40 (250,10-2294)	3052 (1148-3078)
3	0,82	1.54	230,00 (0,2814-660,70)	468,10 (52,52-903,40)	1939 (669,20-7849)
6	0,88	1.56	184,70 (15,79-388,70)	372,60 (126,00-616,5)	1516 (628-1716)
12	0,89	1.58	154,50 (18,42-302,20)	309,50 (111,00-495,10)	1242 (535,30-7401)
24	0,93	1.75	127,30 (33,17-211,70)	238,00 (116,60-340,10)	832,40 (413,30-220)

3.5.2. Toxicité de l'extrait éthanolique

L'évolution de la mortalité induite par le traitement avec les extraits éthanolique en fonction du temps chez les insectes des deux espèces est présentée dans le tableau 9.

Chez *S. granarius*, les faibles taux de mortalités sont enregistrés après 1 h d'exposition chez les séries traitées avec la faible dose (200 µL/L) de l'extrait éthanolique. Par ailleurs, on note que cette mortalité atteint une valeur de 100% chez les séries *traité* avec la dose de 1200 µL/L après 12 et 24h de traitement. Par contre chez *R. dominica*, l'application de cet extrait a provoqué un maximum de mortalité de 97.5±3.75% obtenu uniquement chez les séries traitées avec la plus forte dose après 24h de traitement.

On note également une augmentation du taux de mortalité en fonction de la relation dose-réponse chez les deux espèces testées (**Fig. 18**).

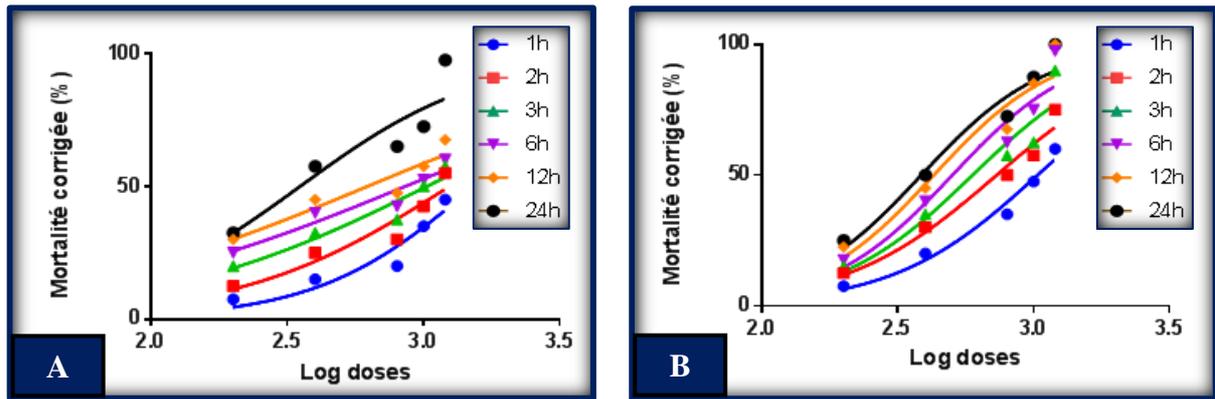


Figure 18. Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait éthanolique à différentes périodes chez *R. dominica* (A) et *S. granarius* (B).

Tableau 9. Effet de l'extrait éthanolique de *L. angustifolia* appliqué par fumigation à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus).

Temps (h)	Dose (µl/L)	<i>R. dominica</i>	<i>S. granarius</i>
1	200	07,50 ± 3,75	07,50 ± 3,75
	400	15,00 ± 5,00	20,00 ± 0,00
	800	20,00 ± 0,00	35,00 ± 5,00
	1000	35,00 ± 5,00	47,50 ± 3,75
	1200	45,00 ± 5,00	60,00 ± 5,00
2	200	12,50 ± 3,75	12,55 ± 3,75
	400	25,00 ± 5,00	30,00 ± 5,00
	800	30,00 ± 5,00	50,00 ± 0,00
	1000	42,50 ± 3,75	57,50 ± 7,50
	1200	55,00 ± 5,00	75,00 ± 5,00
3	200	20,00 ± 5,00	15,00 ± 7,50
	400	32,50 ± 3,75	35,00 ± 5,00
	800	37,50 ± 3,75	57,50 ± 7,50
	1000	50,00 ± 5,00	62,50 ± 3,75
	1200	57,50 ± 3,75	90,00 ± 5,00
6	200	25,00 ± 5,00	17,50 ± 7,50
	400	40,00 ± 5,00	40,00 ± 5,00
	800	42,50 ± 3,75	62,50 ± 3,75
	1000	52,50 ± 3,75	75,00 ± 5,00
	1200	60,00 ± 0,00	97,50 ± 3,75
12	200	30,00 ± 0,00	22,50 ± 3,75
	400	45,00 ± 10,00	45,00 ± 5,00
	800	47,50 ± 3,75	67,50 ± 3,75
	1000	57,50 ± 3,75	85,00 ± 7,50
	1200	67,50 ± 7,50	100,00 ± 0,0
24	200	32,50 ± 3,75	25,00 ± 5,00
	400	57,50 ± 7,50	50,00 ± 0,00
	800	65,00 ± 5,00	72,50 ± 3,75
	1000	72,50 ± 7,50	87,50 ± 3,75
	1200	97,50 ± 3,75	100,00 ± 0,00

Les concentrations sous létales et létales (CL₂₅, CL₅₀ et CL₉₀) au cours de différentes périodes des deux espèces, ainsi que le Slope, le coefficient de détermination et l'intervalle de confiance ont été calculés par le logiciel GRAPH PAD PRISM 7 (Tableau 10).

Tableau 10. Efficacité de l'extrait éthanolique de *Lavandula angustifolia* appliqué par fumigation sur les adultes de *R. dominica* et *S. granarius* à 1, 2, 3, 6, 12 et 24h après traitement. Analyse des probits.

Période (h)	R ²	Slope	CL ₂₅ (µl/L) IC (95%)	CL ₅₀ (µl/L) IC (95%)	CL ₉₀ (µl/L) IC (95%)
<i>R. dominica</i>					
1	0,90	1.49	733,80 (420-1014)	1528 (1103-7034)	6628 (1806-7580)
2	0,89	1.12	468,70 (160,30-753)	1246 (865,60-4480)	8797 (2401-15001)
3	0,91	0.87	292,70 (83,80-492,60)	1029 (726,30-2235)	12723 (3750-7501)
6	0.90	0.72	189,60 (25,85-362,50)	857 (576,70-1802)	17500 (4431-33582)
12	0.88	0.73	140,80 (5,596-310)	622,70 (345,20-1143)	12184 (3197-7575)
24	0.84	1.29	150,40 (0,5486-357,50)	352,10 (38,72-629,80)	1931 (668,40-4630)
<i>S. granarius</i>					
1	0,97	1.62	527 (369,40-690,60)	1034 (874,80-1323)	3986 (2225-1113)
2	0,96	1.55	360,20 (209,90-524,80)	731,60 (572,90-926,70)	3017 (1789-8408)
3	0,91	1.72	316,10 (91,90-600,40)	596,90 (356,10-886,10)	2128 (1081-1501)
6	0.92	1.90	282,30 (93,90-519,20)	502,80 (297,50-738)	1594 (827,40-6394)
12	0.93	1.93	243,50 (83,36-433,30)	429,60 (251-633,40)	1338 (695,20-4330)
24	0.95	1.91	217,90 (94,10-353,90)	386,60 (248,60-541,60)	1217 (684,70-2927)

3.5.3 Toxicité de l'extrait aqueux

Le pourcentage de mortalité induit par l'application de l'extrait aqueux au cours des périodes testées est répertorié dans le tableau 11.

Les résultats obtenus montrent que cet extrait a provoqué une activité insecticide chez les adultes des deux espèces avec un effet dose-temps (**Fig. 19**). Le taux de mortalité marque des valeurs variant de $7,5 \pm 3,75$ et $12,5 \pm 3,75\%$ pour la dose la plus faible (200 µl/L) après 1h jusqu'à $97,5 \pm 3,75$ et 100% avec la plus forte dose (1200 µl/L) après 24h de traitement *R. dominica* et *S. granarius* respectivement.

Tableau 11. Effet de l'extrait aqueux de *L. angustifolia* appliqué par fumigation sur les adultes de *R. dominica* et *S. granarius*, sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes ($m \pm SEM$, $n= 3$ répétitions comportant chacune 10 individus).

Temps (h)	Dose μL	<i>R. dominica</i>	<i>S. granarius</i>
1	200	07,50 \pm 3,75	12,50 \pm 3,75
	400	25,00 \pm 5,00	17,50 \pm 3,75
	800	32,50 \pm 3,75	40,00 \pm 0,00
	1000	37,50 \pm 3,75	57,50 \pm 3,75
	1200	47,50 \pm 7,50	70,00 \pm 0,00
2	200	17,50 \pm 3,75	20,00 \pm 0,00
	400	30,00 \pm 0,00	27,50 \pm 3,75
	800	42,50 \pm 7,50	45,00 \pm 7,50
	1000	47,50 \pm 12,50	60,00 \pm 5,00
	1200	62,50 \pm 3,75	82,50 \pm 7,50
3	200	25,00 \pm 5,00	25,00 \pm 5,00
	400	35,00 \pm 5,00	32,50 \pm 3,75
	800	55,00 \pm 7,50	47,50 \pm 7,50
	1000	67,50 \pm 3,75	67,50 \pm 3,75
	1200	72,50 \pm 7,50	90,00 \pm 5,00
6	200	30,00 \pm 0,00	32,50 \pm 3,75
	400	42,50 \pm 7,50	37,50 \pm 3,75
	800	60,00 \pm 5,00	60,00 \pm 5,00
	1000	75,00 \pm 5,00	75,00 \pm 5,00
	1200	80,00 \pm 0,00	95,00 \pm 5,00
12	200	32,50 \pm 3,75	37,50 \pm 3,75
	400	45,00 \pm 5,00	45,00 \pm 5,00
	800	67,50 \pm 3,75	65,00 \pm 5,00
	1000	80,00 \pm 10,00	85,00 \pm 5,00
	1200	87,5 \pm 3,75	97,50 \pm 3,75
24	200	35,00 \pm 5,00	40,00 \pm 0,00
	400	47,50 \pm 3,75	52,50 \pm 3,75
	800	70,00 \pm 0,00	72,50 \pm 7,50
	1000	90,00 \pm 0,00	90,00 \pm 5,00
	1200	97,50 \pm 3,75	100,00 \pm 0,00

Le tableau 12 présente les concentrations sous létales et létales (CL_{25} , CL_{50} et CL_{90}) au cours de différentes périodes à l'égard des deux espèces, ainsi que le Slope, le coefficient de détermination et l'intervalle de confiance calculés par le logiciel GRAPH PAD PRISM 7.

Tableau 12. Efficacité de l'extrait aqueux de *L. angustifolia* appliqué par fumigation sur les adultes de *R. dominica*, *S. granarius* à 1,2, 3, 6,12 et 24h après traitement. Analyse des probits

Période (heures)	R ²	Slope	CL ₂₅ (µl/L) IC (95%)	CL ₅₀ (µl/L) IC (95%)	CL ₉₀ (µl/L) IC (95%)
<i>R. dominica</i>					
1	0,94	1.06	519,60 (306,80-718,50)	1452 (1068-3167)	11334 (3789-18661)
2	0,94	1.05	331,30 (146,50-513,70)	938,20 (705,20-1497)	7527 (3010-78637)
3	0,96	1.20	238,70 (128,40-353,60)	594,70 (462,60-744,40)	3692 (2123-10348)
6	0,95	1.21	187,90 (73,45-309,10)	464,20 (316-619,60)	2835 (1546-9968)
12	0,95	1.36	179,50 (68,21-298,40)	400,40 (258-546,10)	1992 (1125-5958)
24	0,89	1.60	179,30 (20,02-373,40)	355,70 (128,60-577,80)	1399 (625,10-10472)
<i>S. granarius</i>					
1	0,95	1.96	496 (275,40-745,10)	868 (680,90-1132)	2659 (1460-9657)
2	0,86	1.56	350,10 (35,53-790,50)	705,90 (371,70-1393)	2870 (1166-3249)
3	0,81	1.50	286,10 (0,3655-809,40)	593,30 (133-1435)	2552 (956,50-2111)
6	0,83	1.44	212,90 (0,9682-563,50)	456,10 (73,20-821,40)	2094 (788-1419)
12	0,83	1.42	169,30 (0,6787-427,90)	365,40 (37,80-659,50)	1703 (629,60-2897)
24	0,87	1.50	148,70 (7,604-321,50)	308,30 (74,82-518,80)	1326 (552,20-1402)

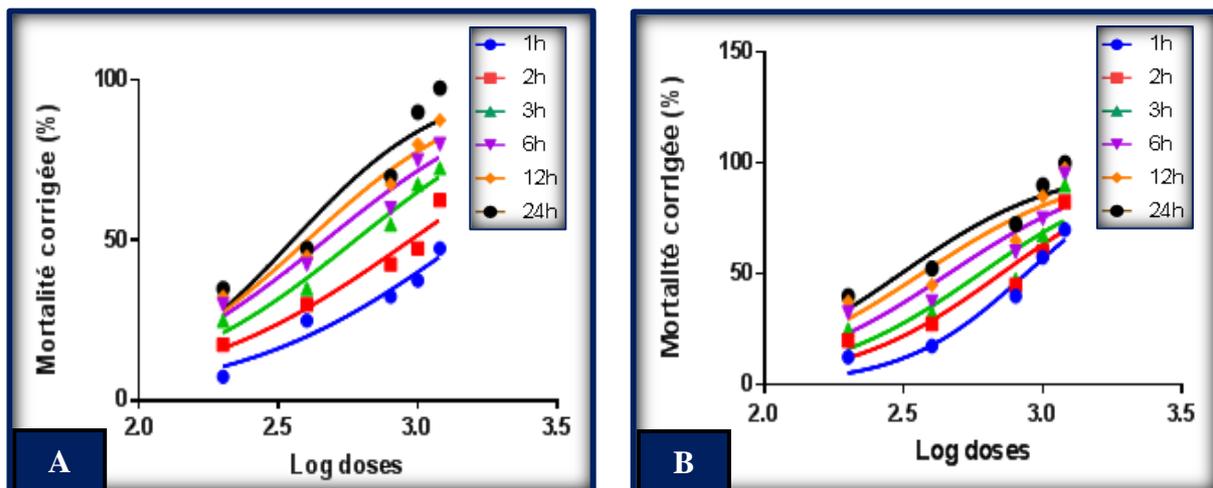


Figure 19. Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) des insectes testés en fonction des logarithmes décimaux des doses de l'extrait aqueux à différentes périodes chez *R. dominica* (A) et *S. granarius* (B).

3.5.4. Toxicité de l'extrait acétonique

Les résultats relatifs aux pourcentages de mortalités des individus traités avec l'extrait acétonique sont mentionnés dans le tableau 13. L'analyse des résultats montre que cet extrait a un effet toxique vis-à-vis des espèces testées au cours des périodes d'étude où on note une augmentation du taux de mortalité en fonction des concentrations appliquées et le temps d'exposition aussi bien chez *R. dominica* que chez *S. granarius* (Fig. 20).

Tableau 13. Effet de l'extrait acétoïque de *L. angustifolia* appliquées par fumigation à l'égard les adultes de *R. dominica* et *S. granarius* sur le taux de mortalité corrigée à différentes périodes (m ± SEM, n= 3 répétitions comportant chacune 10 individus

Temps (h)	Dose µl/L	<i>R. dominica</i>	<i>S. granarius</i>
1	200	15,00 ± 5,00	20,00 ± 0,00
	400	32,50 ± 7,50	32,50 ± 3,75
	800	57,50 ± 7,50	60,00 ± 0,00
	1000	67,50 ± 7,50	77,50 ± 3,75
	1200	92,50 ± 7,50	100,00 ± 0,00
2	200	20,00 ± 5,00	25,00 ± 5,00
	400	35,00 ± 5,00	35,00 ± 5,00
	800	67,50 ± 3,75	67,50 ± 7,50
	1000	77,50 ± 13,75	82,50 ± 7,50
	1200	95,00 ± 5,00	100,00 ± 0,00
3	200	25,00 ± 7,50	30,00 ± 0,00
	400	40,00 ± 5,00	42,50 ± 3,75
	800	70,00 ± 0,00	72,50 ± 7,50
	1000	90,00 ± 5,00	92,50 ± 3,75
	1200	97,50 ± 3,75	100,00 ± 0,00
6	200	30,00 ± 5,00	35,00 ± 5,00
	400	55,00 ± 5,00	47,50 ± 7,50
	800	75,00 ± 5,00	77,50 ± 7,50
	1000	92,50 ± 7,50	95,00 ± 5,00
	1200	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00
12	200	32,50 ± 3,75	40,00 ± 0,00
	400	60,00 ± 5,00	50,00 ± 5,00
	800	80,00 ± 5,00	80,00 ± 10,00
	1000	95,00 ± 5,00	97,50 ± 3,75
	1200	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00
24	200	37,50 ± 3,75	42,50 ± 3,75
	400	62,50 ± 3,75	52,50 ± 3,75
	800	82,50 ± 7,50	85,00 ± 5,00
	1000	97,50 ± 3,75	100,00 ± 0,00
	1200	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00

Le tableau 14 présente les concentrations sous létales et létales (CL₂₅, CL₅₀ et CL₉₀) au cours de différentes périodes à l'égard des espèces étudiées ainsi que le Slope, le coefficient de détermination et l'intervalle de confiance calculés par le logiciel GRAPH PAD PRISM 7.

Tableau 14. Efficacité de l'extrait acétonique de *L. angustifolia* appliqué par fumigation sur les adultes de *R. dominica* et *S. granarius* à différentes périodes après traitement. Analyse des probits

Période (heures)	R ²	Slope	CL ₂₅ (µl/L) IC (95%)	CL ₅₀ (µl/L) IC (95%)	CL ₉₀ (µl/L) IC (95%)
<i>R. dominica</i>					
1	0,92	1.91	334,20 (118-624,60)	592,50 (368,10-844,40)	1862 (1015-8511)
2	0,95	1.99	290,90 (136-477,30)	504,30 (340,80-686,70)	1516 (902,10-3789)
3	0,93	2.02	252,30 (85,77-457,80)	434,50 (251,50-641,20)	1289 (683,30-4059)
6	0.94	1.86	188.7 (73,11-310,70)	340.5 (207,40-483,70)	1109 (606,60-2751)
12	0.96	1.92	174 (86,15-261,50)	308,20 (210,40-411,30)	967.3 (582-1882)
24	0.95	1.87	155,20 (67,31-239,90)	279,10 (177,80-379,70)	902,80 (525,30-1856)
<i>S. granarius</i>					
1	0,89	2.09	316,80 (64,92-738,70)	535,10 (264,10-846)	1527 (721,70-1127)
2	0,90	2.01	274 (60,17-580,70)	472,90 (233,10-739,70)	1409 (669,30-7714)
3	0,90	1.92	222,50 (42,66-452,50)	393,40 (175,90-628,60)	1229 (587,60-6012)
6	0.90	1.82	187,40 (31,05-376)	341,90 (139,30-548,60)	1138 (534,50-5315)
12	0.88	1.73	162,80 (11,24-351,20)	306,40 (79,82-519,10)	1086 (461,50-7893)
24	0.87	1.77	152,30 (9,255-326,20)	282,80 (65,67-480,60)	974,60 (408,60-6401)

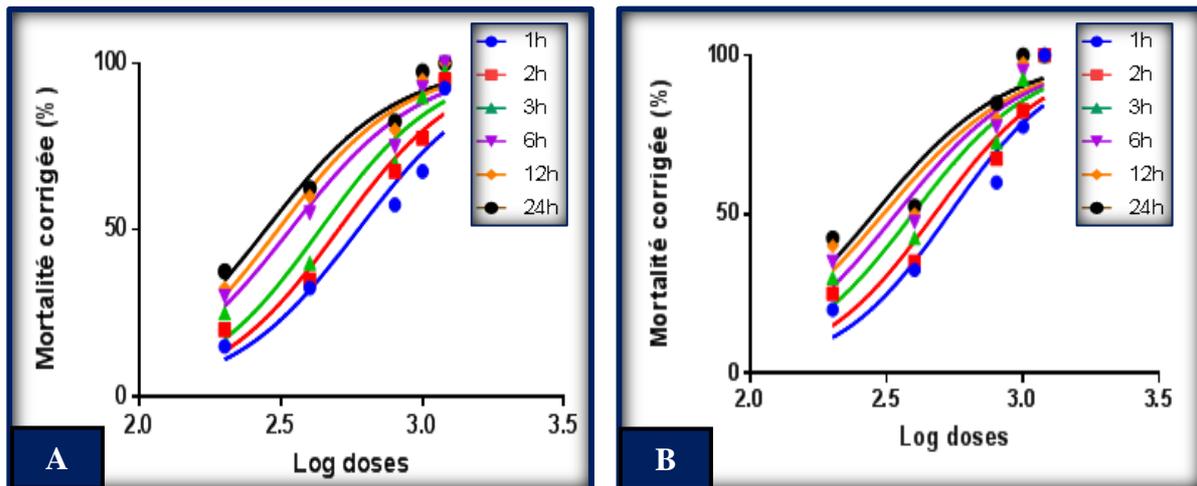


Figure 20. Courbe de référence exprimant les mortalités corrigées (%) des insectes testés en fonction des logarithmes décimaux des doses d'extrait acétonique à différentes périodes chez *R. dominica* (A) et *S. granarius* (B).

3.5.5. Efficacité comparée des extraits de *L. angustifolia*

Les CL₅₀ des différents extraits de *Lavandula angustifolia*, à 24h après traitement, des variations en fonction du solvant d'extraction et de l'espèce étudiée (Tableau 15).

Tableau 15. Efficacité comparée des différents extraits de *L. angustifolia*, à l'égard de *R. dominica* et *S. granarius* après 24h de traitement.

Extraits	CL ₅₀ (µl/L d'air) /24h	
	<i>R. dominica</i>	<i>S. granarius</i>
Méthanolique	416,20	238,00
Ethanolique	352,10	386,60
Aqueux	355,70	308,30
Acétonique	279,10	282,80

D'après les résultats mentionnés dans le tableau, on remarque que l'extrait acétonique appliqué par fumigation est le plus toxique comparativement aux extraits testés vis-à-vis des deux espèces avec des CL₅₀ de 279,10 et 282,80 µl/L d'air, suivi par l'extrait aqueux dont les CL₅₀ enregistrées sont de : 355,70 et 308,30 µl/L d'air après 24h de traitement pour *R. dominica* et *S. granarius* respectivement. Par contre, l'extrait méthanolique a montré la plus faible toxicité vis-à-vis de *R. dominica* avec une CL₅₀ de 416,20 µl/L d'air, et l'extrait éthanolique contre *S. granarius* (avec une CL₅₀ de 386,60 µl/L). La comparaison entre les deux espèces de ravageur montre que *S. granarius* est l'espèce la plus sensible par rapport à *R. dominica* et cela aux extraits testés.

3.6. Essai de répulsion

Les résultats du pouvoir répulsif des extraits méthanolique, éthanolique, aqueux et acétonique de *L. angustifolia* à l'égard de *R. dominica* et *S. granarius* sont présentés dans les tableaux 16, 17, 18 et 19. Ce pouvoir a été déterminé selon la méthode de **Mc Donald. (1970)**.

3.6.1. Pouvoir répulsif de l'extrait méthanolique

Les résultats mentionnés dans le tableau 16 mettent en évidence un pouvoir répulsif de l'extrait méthanolique appliqué sur les deux espèces testées.

Le pourcentage de répulsion marque une augmentation en fonctions des concentrations appliquées (4, 8, 16 et 32 µl/ml) et une diminution en fonction des temps d'exposition et cela aussi bien chez *R. dominica* que chez *S. granarius*. Par ailleurs, on note que cet extrait montre une efficacité répulsive plus importante chez *S. granarius* par rapport à *R. dominica*.

Ainsi l'extrait méthanolique de *L. angustifolia* appartient à des classes de répulsion qui varie de la classe I (Très faiblement répulsive) jusqu'à la classe 5 (Très répulsive) d'après le classement de **Mc Donald, (1970)** et cela en fonction des concentrations appliquées.

Tableau 16. Pouvoir répulsif (%) de l'extrait méthanolique de *L. angustifolia* testé sur les adultes de *R. dominica* et *S. granarius* (m ± SEM).

Concentrations (µl/ml)	Périodes après traitement(h)	<i>R. dominica</i>		<i>S. granarius</i>	
		PR (%)	Classe	PR (%)	Classe
4	1/2	26,66 ± 8,88	II	40,00±13,33	II
8		53,33 ±17,77	III	46,66 ± 8,88	III
16		66,66 ± 8,88	IV	66,66 ± 8,88	IV
32		73,33 ± 8,88	IV	86,66 ± 8,88	V
4	3	26,66 ± 8,88	II	26,66 ± 8,88	II
8		46,66 ± 8,88	III	40,00 ± 0,00	II
16		60,00 ±13,33	III	53,33 ± 8,88	III
32		66,66 ± 8,88	IV	73,33 ± 8,88	IV
4	6	13,33 ± 8,88	I	26,66 ± 8,88	II
8		26,66 ± 8,88	II	40,00±13,33	II
16		33,33 ± 8,88	II	46,66 ± 8,88	III
32		53,33 ± 8,88	III	60,00±26,66	III
4	24	13,33 ± 8,88	I	26,66 ± 8,88	II
8		20,00±00,00	I	33,33 ± 8,88	II
16		26,66 ± 8,88	II	46,66 ± 8,88	III
32		46,66 ± 8,88	III	60,00±13,33	III

3.6.2. Pouvoir répulsif de l'extrait éthanolique

Les résultats obtenus après application de l'extrait éthanolique de *L. angustifolia* révèlent un pouvoir répulsif appartenant à la classe IV pour *R. dominica* et la classe V pour *S. granarius*, selon le classement de McDonald (1970) (Tableau5). De plus, on note que cet extrait induit une augmentation de l'activité répulsive en fonction des concentrations appliquées et une diminution en fonction du temps d'exposition. Par ailleurs, la répulsion de ce produit est plus importante chez *S. granarius* comparativement à *R. dominica*.

Tableau 17. Pouvoir répulsif (%) de l'extrait éthanolique de *L. angustifolia* testé à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* (m ± SEM).

Concentrations (µl /ml)	Périodes après traitement(h)	<i>R.dominica</i>		<i>S. granarius</i>	
		PR (%)	Classe	PR (%)	Classe
4	1/2	40,00 ± 13,33	II	46,66 ± 8,88	III
8		46,66 ± 8,88	III	53,33 ± 8,88	III
16		53,33 ± 8,88	III	60,00 ± 0,00	III
32		66,66 ± 8,88	IV	93,33 ± 8,88	V
4	3	33,33 ± 8,88	II	40,00 ± 13,33	II
8		40,00 ± 13,33	II	53,33 ± 8,88	III
16		46,66 ± 17,77	III	60,00 ± 0,00	III
32		53,33 ± 8,88	III	73,33 ± 8,88	IV
4	6	26,66 ± 8,88	II	33,33 ± 8,88	II
8		33,33 ± 8,88	II	46,66 ± 8,88	III
16		40,00 ± 0,00	II	53,33 ± 8,88	III
32		46,66 ± 8,88	III	66,66 ± 8,88	IV
4	24	20,00 ± 0,00	I	26,66 ± 8,88	II
8		26,66 ± 8,88	II	33,33 ± 8,88	II
16		33,33 ± 8,88	II	46,66 ± 8,88	III
32		40,00 ± 0,00	II	60,00 ± 13,33	III

3.6.3. Pouvoir répulsif de l'extrait aqueux

L'évaluation de la répulsion des extraits aqueux à différentes concentrations à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* à différentes périodes d'exposition est présentée dans le tableau 18. A l'examen du tableau, il ressort que l'extrait aqueux exerce un effet répulsif à l'égard des adultes de *S. granarius*, et modérément répulsif à l'égard des individus de *R. dominica*. Cependant, on remarque que cet extrait exerce un effet répulsif avec une relation dose-réponse et qui diminue avec le temps d'exposition. De plus, *S. granarius* est l'espèce la plus sensible à la répulsion de cet extrait comparativement à *R.dominica*.

Tableau 18. Pouvoir répulsif de l'extrait aqueux de *L. angustifolia* testé à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* ($m \pm SEM$).

Concentrations (μ l /ml)	Périodes après traitement(h)	<i>R. dominica</i>		<i>S. granarius</i>	
		PR (%)	Classe	PR (%)	Classe
4	1/2	33,33 \pm 8,88	II	26,66 \pm 8,88	II
8		40,00 \pm 26,66	II	40,00 \pm 13,33	II
16		46,66 \pm 17,77	III	53,33 \pm 8,88	III
32		53,33 \pm 8,88	III	73,33 \pm 8,88	IV
4	3	26,66 \pm 22,22	II	20,00 \pm 13,33	I
8		33,33 \pm 8,88	II	33,33 \pm 8,88	II
16		40,00 \pm 13,33	II	53,33 \pm 22,22	III
32		53,33 \pm 8,88	III	66,66 \pm 17,77	IV
4	6	13,33 \pm 8,88	I	20,00 \pm 0,00	I
8		26,66 \pm 8,88	II	26,66 \pm 8,88	II
16		33,33 \pm 8,88	II	46,66 \pm 8,88	III
32		46,66 \pm 22,22	III	60,00 \pm 0,00	III
4	24	13,33 \pm 8,88	I	13,33 \pm 8,88	I
8		20,00 \pm 0,00	I	20,00 \pm 0,00	I
16		26,66 \pm 8,88	II	33,33 \pm 17,77	II
32		40,00 \pm 13,33	II	46,66 \pm 8,88	III

3.6.4. Pouvoir répulsif de l'extrait acétonique

Les pourcentages de répulsion de l'extrait acétonique calculés au cours de notre expérimentation, montrent que contrairement aux extraits méthanolique, éthanolique, et aqueux, l'extrait acétonique présente un effet répulsif plus important chez les populations de *R. dominica* par rapport à *S. granarius*. De plus, cette activité marque une augmentation en fonction des doses et une diminution en fonction des périodes et cela chez les deux espèces testées (Tableau 19).

Tableau 19. Pouvoir répulsif de l'extrait acétonique de *L. angustifolia* testé à l'égard des adultes de *R. dominica* et *S. granarius* (m ± SEM).

Concentrations (µl/ml)	Périodes après traitement(h)	<i>R. dominica</i>		<i>S. granarius</i>	
		PR (%)	Classe	PR (%)	Classe
4	1/2	46,66 ± 22,22	III	33,33 ± 8,88	II
8		53,33 ± 8,88	III	46,66 ± 8,88	III
16		66,66 ± 8,88	IV	53,33 ± 8,88	III
32		73,33 ± 8,88	IV	66,66 ± 8,88	IV
4	3	40,00 ± 13,33	II	26,66 ± 8,88	II
8		53,33 ± 8,88	III	33,33 ± 8,88	II
16		60,00 ± 0,00	III	40,00 ± 0,00	II
32		66,66 ± 8,88	IV	60,00 ± 0,00	III
4	6	33,33 ± 8,88	II	20,00±26,66	I
8		40,00 ± 0,00	II	26,667±8,88	II
16		46,66 ± 8,88	III	33,33±17,77	II
32		60,00 ± 26,66	III	53,33 ± 8,88	III
4	24	26,66 ± 17,77	II	0,00 ± 0,00	0
8		33,33 ± 8,88	II	20,00 ±13,33	I
16		40,00 ± 13,33	II	26,66 ± 8,88	II
32		53,33 ± 8,88	III	46,66 ± 8,88	III

3.6.5. Classement du pouvoir répulsif des extraits

A la lumière des résultats obtenus, on note que la répulsion des extraits varie en fonction de différents facteurs à savoir l'espèce testée, le solvant d'extraction, la dose appliquée et la durée d'exposition (Tableau 20). Par ailleurs, on remarque que les extraits éthanolique, méthanolique et aqueux ont un pouvoir répulsif plus important chez *S. garnarius*, seul l'extrait acétonique qui marque une répulsion élevée chez *Rhyzopertha*.

Tableau 20. Classement de l'effet répulsif des extraits étudiés selon **Mc Donald (1970)**.

Extraits	Durée (min)	PR (%)	Classe	Effet	Insecte
Ethanolique	30	93,33 ± 8,88	V	Très répulsif	<i>S. granarius</i>
Méthanolique		86,66 ± 8,88	V	Très répulsif	<i>S. granarius</i>
Aqueux		73,33 ± 8,88	IV	Répulsif	<i>S. granarius</i>
Acétonique		73,33 ± 8,88	IV	Répulsif	<i>R. dominica</i>

4. DISCUSSION

4.1. Screening phytochimique de la plante

La phytochimie ou la chimie des végétaux est la science qui étudie la structure, le métabolisme et la fonction ainsi que les méthodes d'analyse, de purification et d'extraction des substances naturelles issues des plantes (**Kalishe, 2014**). Ce sont des techniques et des réactions chimiques qui permettent de déterminer les différents groupes chimiques contenus dans un organe végétal et d'identifier la présence des substances chimiques (**Hamidi, 2012**).

Nos résultats obtenus révèlent l'absence des alcaloïdes et des quinones et la présence de différents groupes chimiques, les flavonoïdes de type flavones, les tannins, les leucoanthocyanes, les saponines, les terpénoïdes et les stéroïdes. Ces composés sont connus pour leurs propriétés bioactives (**Bruneton, 2009; Bimakr et al, 2011**).

La présence effective de certains groupes chimiques et l'absence d'autres n'exclut pas les propriétés de la plante (**Kabran et al., 2011**). La composition chimique des plantes aromatiques est complexe et constituée de deux fractions. La première fraction dite volatile est composée de métabolites secondaires (**Cisowski, 1985**) et la résistance des plantes repose sur ces molécules. Les végétaux produisent une très grande quantité de ces métabolites et donc ont de multiples possibilités en termes de défense chimique. Ces derniers peuvent être de différentes classes : Terpénoïdes, stéroïdes, Alcaloïdes, glycosides cryogénique, phénols, etc... Certains d'entre eux sont communs à toutes les espèces végétales tandis que d'autres sont spécifiques d'un genre ou d'une famille particulière (**Mithofer & Boland, 2012**). La deuxième fraction non volatile de la plante, est composée essentiellement de flavonoïdes (**Cisowski, 1985**), composés acétyléniques et de lactones sesquiterpéniques phénols ou polyphénols jouant un rôle fondamental dans l'activité biologique de la plante (**Kubeczka et al., 1982**). Les flavonoïdes désignent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (**Seyoum et al., 2006**), ils sont considérés comme des pigments quasiment universels des végétaux. Presque toujours hydrosolubles, ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Tel est le cas des flavonoïdes jaunes (chalcones, aures, flavonol jaunes), des anthocyanosides rouges, bleus ou violets. Ils peuvent être subdivisés en plusieurs classes dont les plus importantes sont : flavones, isoflavandiols, flavanols, flavondiols, aures, chalcones, anthocyanins (**Effendi et al., 2008**).

Ils interviennent probablement pour protéger les plantes des herbivores et contrôler le transports des auxines (**Judd et al., 2002**). Certains ont aussi des propriétés anti-inflammatoire, antioxydante, anti-enzymatique et hépatoprotectrice ; ils jouent un rôle important dans le système de défense et antivirales (**Iserin, 2001**).

Dans notre expérimentation, les tanins sont présents avec une coloration bleu noire qui révèle l'existence des tanins galliques. Ils représentent un groupe hétérogène assez difficile à définir de façon rigoureuse et concise car il n'y a pas de structure chimique de base. Leurs structures chimiques sont en effet variées et rassemblées en famille en fonction d'activités communes (**Dahmani, 2013**).

La famille des lamiacées est l'une des familles les plus répandues dans le règne végétal avec plus de 7200 espèces réparties en environ 240 genres et 7 sous-familles (**Braüchler et al., 2010**). Les principaux métabolites secondaires décrits dans cette famille sont les terpènes, les composés phénoliques, les flavonoïdes ou encore les iridoïdes glycosidiques (**Kulišić et al., 2006; Taskova et al., 1997**).

Le terme terpénoïde désigne un ensemble de substances présentant le squelette des terpènes avec une ou plusieurs fonctions chimiques (alcool, aldéhyde, cétone, acide, lactone, etc.). De nombreux terpénoïdes ont la particularité de dégager de fortes odeurs, le menthol et le limonène.

Parmi les principaux constituants de nombreuses plantes médicinales, les saponines qui doivent leur nom au fait que, comme le savon, elles produisent de la mousse quand on les plonge dans l'eau. Les saponines existent sous deux formes, les stéroïdes et les triterpénoïdes. (**Benayache, 2013**).

Les alcaloïdes figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et en médecine (**Guignard, 2000**). Ce sont des substances organiques azotées, à propriétés basiques ou amers et ayant des propriétés thérapeutiques ou toxiques. Ils ont des structures très diverses et dérivent de différents acides aminés ou de l'acide mévalonique en passant par différentes voies biosynthétiques (**Judd et al., 2002**).

Les quinones sont des composés oxygénés qui correspondent à l'oxydation de dérivés aromatiques avec deux substitutions cétoniques. Elles sont caractérisées par un motif 1,4-dicéto cyclohexa- 2,5- diénique (para-quinones) ou, éventuellement, par un motif 1,2-dicéto cyclohexa-3,5- diénique (ortho-quinones) (**Bruneton, 2009**). Elles sont ubiquitaires dans la nature, principalement dans le règne végétal et sont fortement réactifs (**Cowan, 1999**).

En général, les familles chimiques détectées chez *Lavandula angustifolia* dans notre étude sont confirmées par les travaux de **Baptista et al. (2015)** ; **Harborne et al. (2002)** pour les flavonoïdes, **Ezzoubi et al. (2014)** pour les tannins et les tanins catéchiques, les flavonoïdes et les stéroïdes et **Teixeira et al. (2013)** pour les terpènes.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus au cours des travaux réalisés sur *Lavandula officinalis* menées par **Shafaghat et al. (2012)**, qui ont confirmé la présence de tanins, de flavonoïdes, idem pour *Lavandula dentata* rapporté par **Nevein et al. (2014)**. Les mêmes observations ont été faites chez *Lavandula latifolia* et qui mettent en évidence la présence des flavonoïdes, des phénols, des saponines et des tanins (**Balakrishnan et al., 2015**).

La présence d'une famille chimique ou son absence au sein de la même espèce peut-être due à l'influence de plusieurs facteurs comme la variation de la constitution génétique, les conditions météorologiques et l'emplacement géographique des plantes, la partie de la plante étudiée ou leurs produits phytochimiques (**Malik et al., 2012; Sujana et al., 2013; Akhtar et al., 2015**).

4.2. Rendement des extraits de *Lavandula angustifolia*

La préparation des extraits à partir de la poudre de la partie aérienne de *Lavandula angustifolia* a été effectuée par macération à température ambiante par quatre solvants éthanol, méthanol, acétone à 80% et l'eau distillée avec un rapport ratio solide : liquide 1/10 (mg / ml). Cette préparation nous a permis d'obtenir un rendement qui varie d'un extrait à un autre.

D'après **Dai & Mumper (2010)** divers solvants, tels que le méthanol, l'éthanol, l'hexane, l'acétone, l'acétate d'éthyle, et le chloroforme sont couramment utilisés pour l'extraction soit à l'état pur, soit après dilution dans de l'eau distillée. Le choix du solvant dépend principalement de la solubilité des constituants bioactifs (**Jones et al., 2003**). L'utilisation de solvants à polarités différentes permet de séparer les composés de l'extrait brut selon leur degré de solubilité dans le solvant d'extraction. Cette méthode d'extraction menée à température ambiante permet d'extraire le maximum de composés et de prévenir leur dénaturation ou modification probable dues aux températures élevées dans d'autres méthodes d'extraction. (**Penchev, 2010**).

Les résultats obtenus au cours de notre travail, montrent que l'extrait méthanolique et éthanolique présentent les rendements les plus élevés suivi par les extraits aqueux et acétonique.

Le rendement obtenu de l'extrait méthanolique dans notre étude est supérieur à celui de l'espèce *Lavandula stoechas* originaire de la Turquie (9,4%) (Giray *et al.*, 2008), et de la région de Tizi-Ouzou (19,29 %) (Menaceur, 2011). Concernant le rendement de l'extrait aqueux de notre plante est supérieur à celui obtenu dans les travaux de Bachiri *et al.* (2016) avec un rendement de 9,1% et 13,4% pour *L. dentata* et *L. stoechas* respectivement.

Il est difficile de comparer nos résultats avec ceux trouvés dans la bibliographie en terme de rendement, puis que plusieurs facteurs entrent en jeu et influencent ce paramètre même pour la même espèce végétale notamment la température, la méthode d'extraction utilisée, la granulométrie de la poudre et le temps de macération (Naczk & Shahidi, 2004 ; Hayat *et al.*, 2009). D'après Hayouni *et al.* (2007), la nature de la matière première utilisée détermine la différence du rendement des extraits obtenus par deux méthodes d'extraction. En effet, selon Naczk & Shahidi (2004) et Levizou *et al.* (2004), une meilleure extraction est obtenue avec le plus petit calibre. D'ailleurs, Silva *et al.* (2007), ont montré que le meilleur rendement est obtenu lors d'utilisation des particules plus fines ce qui est probablement due à l'augmentation de la surfaces de contact avec le solvant. De plus, les résultats de Bachiri *et al.* (2016) montrent que le rendement des extraits bruts de la partie aérienne des deux types de lavande *L. dentata* et *L. stoechas* obtenus par infusion est plus élevé que celui obtenu par macération et par décoction. D'après les mêmes auteurs, le rendement d'extraction varie en fonction de l'espèce végétale et de son contenu en métabolites, de l'organe utilisé dans l'extraction, des conditions de séchage et de la nature du solvant utilisé dans l'extraction. Notons aussi que le volume du solvant, la durée de macération et le poids initial de la poudre influencent l'extraction (Mompou *et al.*, 1998 ; Hadj Salem, 2009). Par ailleurs, La variation du rendement est attribuée à la polarité des différents composés, les solvants employés et leur degré de pureté (Naczk & Shahidi, 2004 ; Hayat *et al.*, 2009). Les rendements les plus élevés ont été obtenus en utilisant des solvants polaires (Hayouni *et al.*, 2007).

Selon Mohammedi & Atik (2011) l'utilisation de solvants mixtes (avec de l'eau distillée) aboutit à un très fort rendement. Svoboda & Hampson (1999); Smallfield (2001); Atmani *et al.* (2009) rapportent que les conditions environnementales, la période de récolte, l'âge du matériel végétal et le type du microclimat peuvent influencer les rendements d'extraction. De plus, les espèces végétales n'ont pas toutes le même potentiel ; certaines familles botaniques offrant des rendements plus élevés que d'autres (Smallfield, 2001). Il est difficile de développer une procédure d'extraction souhaitable pour tous les métabolites secondaires ou pour une classe spécifique de ces composés (Robbins, 2003 ; Naczk & Shahidi, 2006).

4.3. Teneur des extraits en composés phénoliques

4.3.1. Teneur en polyphénols

Les composés phénoliques sont des molécules issues du métabolisme secondaire des végétaux pour se défendre contre les agressions environnementales, ils peuvent être définis comme des molécules indirectement essentielles à la vie des plantes (d'où leur nom de métabolites secondaires) (Zeghad, 2009). Comme la majorité des métabolites secondaires, les polyphénols sont produits par les plantes afin d'accomplir des fonctions précises comme la défense contre les phytopathogènes, la protection contre les rayonnements UV et phénomène d'allélopathie (Akroum, 2011).

L'extraction des principes actifs à haute valeur ajoutée à partir de la matière végétale, notamment le cas des polyphénols, qui suscitent actuellement beaucoup d'intérêt grâce à leur pouvoir antioxydant, est une étape très importante dans l'isolement aussi bien que dans l'identification des composés phénoliques (Bonnaillie *et al.*, 2012; Jokić *et al.*, 2010). En conséquence, de nombreux travaux issus de la littérature traitant des conditions expérimentales optimales de l'extraction de polyphénols optent pour une utilisation de solvants mixtes acétone/eau ou méthanol/eau (Kim *et al.*, 2004; Gonzalez-Montelongo *et al.*, 2010). Notre étude révèle que la méthode d'extraction adoptée (épuisement liquide-solide) par l'utilisation de différents solvants à 80% a montré que le méthanol est le meilleur solvant à extraire ces composés avec une teneur de $23,51 \pm 2,88$ mg E AG/g, par contre l'acétone est le solvant qui induit de plus faible teneur. Ces résultats concordent avec ceux d'autres travaux qui ont confirmé que le méthanol est le solvant approprié pour une forte récupération des polyphénols (Falleh *et al.*, 2008 ; Barchan *et al.*, 2015). Par ailleurs, une teneur plus élevée en polyphénols totaux (184,02 mg EAG/g) est enregistrée dans l'extrait aqueux de la lavande dentée marocaine (Bachiri *et al.*, 2016). Toutefois, l'eau et le méthanol restent les meilleurs solvants d'extraction (Bonnaillie *et al.*, 2012). La présence d'eau dans ces derniers augmenterait la perméabilité des tissus végétaux et favoriserait le phénomène de diffusion de masse dans l'étape d'extraction (Arimboor & Arumughan, 2011). Néanmoins, ceci n'est pas toujours le cas, car Ozen et ses collaborateurs (2011) ont trouvé que l'extrait aqueux de *Thymus praecox* était plus riche en polyphénols que l'extrait méthanolique. Cela peut être expliqué par la présence d'un grand nombre de molécules solubles dans l'eau et non solubles dans l'alcool.

La teneur phénolique d'une plante dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétique) et extrinsèques (origine géographique, conditions climatiques, les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage) (Amaral *et al.*, 2010).

Les métabolites secondaires constituent une large gamme de molécules végétales, dont leur nature chimique et teneurs sont extrêmement variables d'une espèce à une autre (Skoula, *et al.*, 1996). La comparaison des résultats obtenus avec la littérature est assez difficile car des variations ont été observées et qui pourraient être attribuées aux différentes variétés de lavande, du solvant d'extraction, la température et à la technique utilisée (Kasote *et al.*, 2011). Le tableau 21 résume les résultats du dosage des polyphénols totaux des extraits de différentes espèces du genre *Lavandula*.

Tableau 21. Comparaison de la teneur en polyphénols des extraits de trois espèces de lavande.

Espèces	Provenance	Teneur en polyphénols (mg EAG/g MS)	Référence
<i>L. stoechas</i>	Tizi-ouzou	132,3	Menaceur (2011)
<i>L. vera</i>	Bulgarie	85,6	Elena <i>et al.</i> (2008)
<i>L. dentata</i>	Maroc	18,6	Imelouane <i>et al.</i> (2009)

D'autres travaux ont signalé que la teneur en polyphénols est variable également en fonction de l'organe de la même plante. Bettaieb *et al.* (2017) ont trouvé une teneur en polyphénols totaux plus élevée (42,57 mg EAG/ g) chez la racine de *Lavandula dentata* par rapport aux feuilles (39,58 mg EAG/g) et aux tiges (16,17 mg EAG/g). La variabilité saisonnière du contenu phénolique des plantes peut être due aux effets de facteurs climatiques tels que l'exposition solaire. La littérature a rapporté que la température peut être corrélée positivement ou négativement à l'accumulation de polyphénols pendant la croissance de plusieurs espèces de plantes (Treutter, 2010). Un exemple remarquable de l'effet de la température et de la lumière a été constaté sur les composés phénoliques trouvés dans la graine et la peau des baies d'hiver par rapport aux baies d'été (Xu *et al.*, 2011).

Un large éventail de stimuli abiotiques, tels que la salinité et la sécheresse, sont capables de déclencher des changements dans le métabolisme de la plante et ces changements améliorent la production de produits secondaires végétaux (Khan *et al.*, 2011).

4.3.2. Teneur en flavonoïdes

Concernant la teneur en flavonoïdes de la plante testée, Il est bien remarquable à partir des résultats obtenus que l'extrait méthanolique de cette plante présente la teneur en flavonoïdes la plus forte par rapport aux autres extraits.

Une forte teneur en flavonoïdes a été signalée dans l'extrait méthanolique de *Lavandula dentata* (Bachiri *et al.*, 2016 ; Bettaieb *et al.*, 2017). Une variation de ce paramètre s'observe dans la même plante en fonction de l'organe testé, il est de l'ordre de 30,06 mg EC/g dans la racine, 17,36 mg EC/g dans la feuille, et 10,74 mg EC/g dans la tige. En effet, Doughari (2006) a rapporté que différents solvants ont la capacité d'extraire les flavonoïdes selon leurs solubilités et leurs polarités. Les études effectuées par Prosper-Cabral *et al.* (2007) ont également révélé une différence entre la composition et la concentration en flavonoïdes des extraits méthanolique, éthanolique et aqueux de différentes espèces. Cette différence pourrait être expliquée par la variation de la composition chimique d'un organe à un autre au sein de la même plante. En effet, l'étude phytochimique réalisée par Belmokhtar & Kaid Harche (2009) sur l'espèce *Retama monosperma* montre que les flavonoïdes obtenus à partir des fleurs et des racines accumulent majoritairement des flavones, ceux obtenus à partir des graines sont plutôt riches en flavonone, alors que les feuilles et les tiges comportent des flavonoles et des flavanonoles. D'autre part, la répartition de ces composés au sein de la même plante varie d'un organe à un autre et selon les stades physiologiques de leur développement (Falleh *et al.*, 2008). D'après les résultats de Menaceur (2011), l'extrait de *L. stoechas* possède une fraction importante de flavonoïdes par rapport à l'extrait issu de *L. dentata*, estimé à 41,58 µg EQ/mg MS. De plus, les travaux de Imelouane *et al.* (2009) montre un rendement en flavonoïdes de 15,3 µg EQ/mg MS de l'extrait éthanolique de *L. dentata*. La teneur en flavonoïdes peut varier d'une espèce à une autre et d'un organe végétale à un autre, et qui est influencée par plusieurs facteurs tels que, le lieu géographique de la récolte, le stade de croissance et les conditions de culture de la plante (Khan *et al.*, 2011).

Naczki *et al.* (2004) ont constaté que la synthèse et l'accumulation des flavonoïdes et des polyphénols dans les plantes est généralement stimulée en réponse aux stress biotique, et abiotique comme la salinité qui stimule la production des composés phénoliques. D'après Winekl-Shirley (2002), les organes des végétaux les plus exposés aux rayonnements ultraviolets (UV) sont les plus riches en flavonoïdes tels que les couches cellulaires épidermiques des feuilles, le pollen et le méristème apical. Par ailleurs, Lattanzio *et al.* (2006) suggèrent que les plantes des zones tropicales et haute altitude contiennent des proportions plus élevées

de flavonoïdes que les zones tempérées, cela probablement en raison des différences de régimes climatiques.

4.3.3. Teneur en tannins

Les résultats du dosage montrent aussi que la proportion en polyphénols est nettement supérieure à celle des flavonoïdes, ceci suggère que les polyphénols présents ne sont pas tous des flavonoïdes, il peut y avoir présence d'autres polyphénols tels que les coumarines et les tanins, ces derniers ont été mis en évidence dans notre expérimentation. Le dosage a montré que l'éthanol semble être le meilleur solvant à extraire ces composés par rapport aux autres testés, avec une moyenne de $10,56 \pm 1,28$ mg EAT/g MS.

Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par **Bachiri et al. (2016)**, qui ont enregistré une teneur en tanins condensés de 21,56mg/g dans l'extrait aqueux, et 17,53mg/g dans l'infusion de la même plante testée. Cette différence semble due à la méthode d'extraction ainsi que la polarité du solvant utilisé. Les tanins se dissolvent dans l'eau, mais leur solubilité varie selon le degré de polymérisation : elle diminue lorsque celui-ci augmente. Ils sont également solubles dans les alcools. Les variations peut aussi s'expliquer par les conditions opératoires (**Deba et al., 2008**), et même de la période de récolte ainsi d'après les résultats obtenus par **Bensikaddour et al. (2017)**, la teneur en tanins du mélange feuille, fleurs et brindilles de *Thymelaea hirsuta* montre des différences significatives et ce sont les mois de Janvier et Avril qui ont enregistré les valeurs les plus élevées. La composition phénolique en tannin varie considérablement à la fois qualitativement et quantitativement d'une espèce à une autre et entre les individus de la même espèce (**Treutter, 2010**).

4.4. Potentiel antioxydant des extraits

Un antioxydant peut agir de diverses manières : il peut empêcher l'oxydation d'un autre substrat en s'oxydant lui-même plus rapidement que celui-ci et en le préservant ainsi de l'oxydation, il peut arrêter la réaction en chaîne qui préside la multiplication des radicaux libres (**Nur Alam et al., 2013**).

Dans la présente étude, il a été constaté que l'extrait méthanolique montre le meilleur pouvoir antioxydant qui est de l'ordre de $27,39 \pm 1,00$ mg EAA/g MS en moyenne.

Lors d'une étude menée sur *Lavandula angustifolia* par **Biljana et al. (2010)**, il a été rapporté que les capacités antioxydantes totales les plus élevées ont été déterminées pour les extraits de

fleurs et de feuilles avec des valeurs de 261,50 et 274,18 mg AAE/g d'extrait sec respectivement. La richesse en polyphénols et en flavonoïdes de *Lavandula angustifolia* pourrait justifier l'activité réductrice du molybdate de l'extrait méthanolique

Notre expérimentation a révélé également que l'extrait méthanolique est le plus actif comparativement aux autres extraits avec une valeur de $38,31 \pm 5,93 \mu\text{g/ml}$ pour piéger 50% du radical libre DPPH, suivi par l'extrait aqueux puis l'extrait acétonique et éthanolique avec la dose de l'extrait la plus forte (16 μl).

La méthode DPPH a reçu la plus grande attention en raison de sa rapidité, sensibilité, commodité et de sa reproductibilité (Nur Alam *et al.*, 2013). Plus la concentration est faible plus l'effet antioxydant est élevé (Atoui *et al.*, 2005). Des travaux similaires concernant l'activité antioxydante ont démontré un pouvoir antioxydant moins important chez la lavande dentée testée par Bettaieb *et al.* (2017) dont la CI50 ne dépasse pas 50,36 $\mu\text{g/ml}$, donc la lavande est douée d'un pouvoir antioxydant. Ceci trouve son explication dans la richesse en composés piègeurs de radicaux libres, en particulier les polyphénols qui sont largement présents chez le genre *Lavandula*. En général et d'après la bibliographie, l'effet anti-radicalaire augmente avec l'augmentation de la concentration des polyphénols dans l'extrait. Falleh et ses collaborateurs (2008) ont montré qu'il existe une corrélation très significative entre la teneur en polyphénols (polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins condensés) et l'activité anti-radicalaire contre les radicaux DPPH de l'extrait méthanolique. D'un autre côté, la fraction phénolique n'incorpore pas tous les antioxydants et les interactions synergiques entre les antioxydants dans un mélange fait que l'activité antioxydante dépend non seulement de la concentration, mais également de la structure et la nature des antioxydants (Falleh *et al.*, 2008). L'effet antioxydant d'un extrait peut aussi varier selon la qualité des polyphénols y présents tels les flavonoïdes qui ont montré des activités antioxydantes (Wang & Mazza, 2002). Les flavonoïdes expriment les propriétés antioxydantes par : le piégeage direct des espèces réactives de l'oxygène (ERO), la suppression de la formation des ERO par l'inhibition de quelques enzymes ou par chélation des ions métalliques, impliqués dans leur production, la protection des systèmes de défense antioxydants de l'organisme (Simonpoli, 1993). Les flavonoïdes sont susceptibles de réagir avec la plupart des espèces réactives oxygénées. D'autres études ont montré que les flavonoïdes sont de bons inhibiteurs d'enzymes responsables de la production des radicaux libres comme la xanthine oxydase qui est une source biologique importante du radical super oxyde. Les flavonoïdes sont aussi considérés comme de bons chélateurs d'ions métalliques comme les ions du fer (Fe^{2+}) et du

cuivre (Cu^+) qui sont essentiels pour certaines fonctions physiologiques, mais ils sont aussi responsables de la production du radical hydroxyle par la réduction du peroxyde d'hydrogène (**Simonpoli, 1993**).

L'activité antioxydante peut être liée à d'autres composés présents tels que les tanins, les saponines et les phénanthrènes, dont leur teneur et leur activité antioxydante au niveau des végétaux est non négligeable (**Mota, 1985**). Les tanins sont des molécules biologiques qui ont plusieurs activités pharmacologiques remarquables et des effets sur la santé humaine. Ils ont de grandes capacités oxydantes dues à leurs noyaux phénoliques, et ils ont la particularité d'inhiber la peroxydation des lipides, en agissant comme donneur de proton et accepteur de radicaux libres, stoppant ainsi le mécanisme d'oxydation (**Zerat et al., 2008**).

4.5. Toxicité des extraits de *L.angustifolia*

Les tests toxicologiques ont pour objectif de déterminer le pouvoir insecticide d'une matière active à l'égard d'un insecte donné, ils sont nécessaires pour évaluer les concentrations létales (CL_{50} et CL_{90}).

Les bioessais sont réalisés par fumigation des extraits méthanolique, éthanolique, aqueux et acétonique de la partie aérienne de *L. angustifolia* obtenus par la méthode d'extraction solide-liquide à l'égard des adultes de *S. granarius* et *R. dominica*. Au terme de notre étude, il ressort que ces extraits appliqués présentent une activité insecticide susceptible de contrôler les populations d'insectes ciblées.

En réponse aux multiples agressions subies par les phytophages, de nombreuses plantes ont développé un véritable arsenal chimique permettant de réduire leur consommation par les insectes phytophages. Ces produits allélochimiques (composés de défense des plantes) agissent en repoussant les insectes phytophages (**Baldwin & Karban 1997**). Les produits naturels sont des «bioinsecticides» qui peuvent constituer une source efficace et économique pour lutter contre les insectes nuisibles (**El-Kamali, 2009**). Leur efficacité dépend de l'espèce de la plante et de la partie de plante utilisée (**Vijayaraghavan et al., 2010**).

L'extrait d'hexane d'*Acorus gramineus* à 0,51 mg / cm^2 était toxique pour les adultes de *S. oryzae* (**Park et al., 2003**). D'autres extraits ont également montré une activité insecticide importante sur *T. castaneum* tels que les extraits d'hexane et d'alcool isopropylique d'*Ocimum viride* qui ont réduit la survie de cet insecte nuisible à moins de 25% après 10 jours de traitement à une concentration de 0,1 mg / ml (**Owusu, 2001**).

L'extrait éthanolique d'*Atriplex halimus* et ses phytoconstituants ont été testé pour leurs propriétés insecticides contre *Tribolium castaneum*. Ces phytoconstituants peuvent être des antiappétants, des répulsifs, et des inhibiteurs de croissance (El-Kamali, 2009). Sont nommées insecticides, les substances actives ayant la propriété de tuer les insectes, leurs larves ou leurs œufs. Les cibles potentielles des insecticides sont nombreuses : système nerveux central, le métabolisme respiratoire ou le métabolisme hormonal (Nauen, 2006).

Les molécules insecticides actives des plantes peuvent varier d'une famille de plante à une autre, et à l'intérieur de la même famille et la sensibilité peut varier pour un insecte donné d'un stade à un autre (Gueye et al., 2011). Une même molécule allélochimique n'exerce pas forcément la même activité sur les différents stades du cycle biologique d'un insecte (Dugravot, 2000). Ces molécules peuvent avoir différents effets chez les insectes : répulsif, attractif, perturbateur du développement, inhibiteur de la reproduction, etc. Leur toxicité peut être directe ou indirecte sur les organes cibles (organes sensoriels, système nerveux, système endocrine, appareil digestif, appareil reproductif,... etc.) (Benayad, 2013).

Les composés phytochimiques comme les quinones, les glycosides, les tanins, les flavonoïdes et les saponines pourraient être responsables de l'activité insecticide (Shah et al., 2014; Ullah et al., 2016). Le criblage phytochimique de notre plante révèle la présence des flavonoïdes, des tanins, des terpénoïdes, des stéroïdes et des saponines, la richesse en métabolites secondaires expliquerait probablement leur effet sur la mortalité des insectes ciblés.

Les flavonoïdes partiellement purifiés obtenus à partir de *Caloptropis procarra* se sont avérées plus toxique que les flavonoïdes standards : quercétine sur les adultes et les œufs du bruche *Callosobruchus chinensis* présentant des effets néfastes sur les insectes, car une exposition de 48h à ces flavonoïdes a engendré 100% de mortalité. Ils altèrent la mue chez les insectes et cause la mort (Salunke et al., 2005).

Les terpénoïdes et les stéroïdes caractérisés par leur caractères lipophiles, ne sont pas les seuls composés qui possèdent des propriétés susceptibles de contrôler les insectes ravageurs ; certains acides gras manifestent cette activité et présentent des propriétés inhibitrices de la reproduction et possèdent un pouvoir toxique (Regnault-Roger & Hamraoui, 1995).

Les saponines, montrent dans certains cas des effets de défense contre les insectes, les saponines de graines de soja par exemple inhibent le développement larvaire du bruche *Calosobruchus chinensis* en provoquant la lyse cellulaire. Les stérols par contre agissent sur

la perméabilité de la cellule (Salunke *et al.*, 2005). Zhang *et al.* (2002) et Gilani (2005) suggèrent que l'effet antinutritionnel des polyphénols est dû à leur capacité d'inhiber les enzymes digestives du fait de leurs liaisons aux molécules nutritives empêchant leur assimilation par l'organisme.

Les polyphénols peuvent interagir avec de nombreux types de molécules qui peuvent être des glucides, des enzymes et des polymères synthétiques. Parmi les glucides, l'amidon se caractérise par son habilité à interagir avec les tannins, formant des cavités hydrophobes. (Leinmüller *et al.* 1991). Les tannins sont des molécules fortement hydroxylées qui peuvent former des complexes insolubles lorsqu'ils sont associés aux glucides, aux protéines et aux enzymes digestives tels que les lipases, cellulases, amylases, galactosidases et les protéases (Smigielski *et al.*, 2013) réduisant ainsi la digestibilité des aliments et la diminution de leur dégradation, ce qui entraîne une perte de la valeur nutritive des aliments (Cowan, 1999). La complexation des tannins avec les enzymes et le substrat provoque l'inhibition enzymatique, cette inhibition peut s'effectuer par deux phénomènes simultanés ou non :

- Les tannins liés aux protéines-substrat les rendent moins accessibles aux enzymes en particulier en les insolubilisant ou en masquant les sites de reconnaissance enzymes-substrat.
- Les tannins liés aux enzymes inhibent leur activité directement en se fixant sur les sites actifs ou indirectement par encombrement stérique autour des molécules d'enzymes en les empêchant de se fixer sur les molécules de substrat (Leinmüller *et al.* 1991).

Il existe trois voies d'entrée des substances insecticides dans l'organisme : la voie cutanée, la voie orale, ou la voie respiratoire. La toxicité de la substance dépend de son mode d'absorption, de ses propriétés chimiques, mais aussi de son métabolisme et des mécanismes possibles de détoxification (Moretto & Lotti, 1998). La mort précoce des insectes causée par l'intoxication respiratoire est liée aux composés volatils contenus dans les extraits de la plante (Séri-Kouassi, 2004).

Nos résultats ont montré que l'extrait acétonique est le plus toxique vis-à-vis des deux espèces d'insectes testées, suivi par l'extrait aqueux, ainsi l'extrait méthanolique qui a présenté la plus faible toxicité à l'égard de *R. dominica*, de même, pour l'extrait éthanolique contre *S. granarius*.

On peut donc conclure que la toxicité des extraits botaniques évaluée à partir de la mortalité enregistrée dépend du solvant d'extraction, de l'espèce d'insecte, la dose appliquée et le temps d'exposition d'où on note un effet dose-réponse.

Rajashekar et al. (2010) ont testé plusieurs extraits (hexane, acétate d'éthyle, méthanol, et acétone) de racines de *Decalepis hamiltonii* contre plusieurs ravageurs des grains en post récolte : *R. domonica*, *S. oryzae*, *Stigobium pancieum*, *Tribolium castaneum* et *Callosobruchus chinensis*, ils ont noté que l'extrait méthanolique a la plus forte activité insecticide avec une CL₅₀ de 0,15 à 0.119 mg / cm². **Tavares & Vendramin (2005a)**, ont évalué l'effet insecticide d'extrait aqueux de branches, feuilles et fruits de *C. ambrosioides* sur les adultes de *Sitophilus zeamais*, et ils ont noté une faible mortalité des insectes testés, ainsi **Guzzo et al. (2006)** ont montré que les extraits aqueux obtenus à partir des feuilles et des fruits de *C. ambrosioides*, *C. quinoa* et *C. album* n'affectent pas la survie des adultes et le développement de *R. dominica*. Les mêmes auteurs suggèrent que les composés à activité insecticide présents dans *C. ambrosioides* ne peut pas être extrait par un solvant à forte polarité et doit être pris avec le milieu solvants de faible polarité (tels que le chloroforme et l'hexane). Les meilleures performances anthelminthiques des extraits de plantes avec les solvants organiques par rapport aux extraits aqueux pourraient être dues à une absorption trans-cuticulaire facile des extraits de solvants organiques dans le corps du parasite plus que les extraits aqueux (**Debella. 2002**). **Asrar et al. (2016)** ont évalué l'effet insecticide des extraits de *C. erectus*, obtenus par Soxhlet avec deux solvants (éther de pétrole et éthanol) contre *T. castaneum*, *R. dominica* et *T. granarium*. L'extrait éthanolique a été plus toxique pour *T. castaneum* que les extraits d'éther de pétrole alors que ce dernier est révélé plus toxique pour *R. dominica* et *T. granarium* que l'extrait éthanolique de la même plante. Ces résultats sont conformes avec ceux de **Wakil et al. (2012)** et **Upadhyay et al. (2012)**. D'après ces auteurs, cette activité insecticide de la plante est attribuée au fait qu'elle est riche en antioxydant polyphénolique et flavonoïdes. Les composés antioxydants contenus dans ces extraits de plantes inhibent l'oxydation en éliminant les radicaux dans la cellule qui à son tour cause la mort de la cellule (**Asrar et al., 2016**).

4.6. Effet répulsif des extraits

Tous les organismes vivants doivent connaître le monde environnant afin d'y évoluer et de s'y reproduire, ou tout simplement d'y survivre. Pour analyser le monde qui les entoure, tous les animaux possèdent des facultés sensorielles qui leur permettent de communiquer avec lui. L'olfaction et le goût jouent un rôle vital chez les insectes ; ils recourent à des signaux chimiques dans la détection de nourriture, de nid ou de site d'oviposition, dans l'établissement

de relations inter-individuelles, sociales et sexuelles, et dans l'appréhension du danger (reconnaissance d'un prédateur, d'une substance toxique).

L'activité répulsive est un phénomène physiologique qui s'effectue chez les insectes comme mécanisme de défense contre les toxines sécrétées par les plantes (Benayad, 2013). Ce potentiel de répulsion peut être utilisé pour lutter contre les dégâts causés par ces insectes ravageurs. Les huiles essentielles et les métabolites secondaires extraits de plantes sont utilisés de façon traditionnelle depuis des siècles, et ils sont de plus en plus étudiés pour leur potentiel répulsif envers les arthropodes (SMV & SFP, 2010). De nombreux travaux ont mis en évidence l'effet répulsif des huiles essentielles et des extraits de plantes contre les insectes des stocks.

Les résultats obtenus mettent en évidence que les différents extraits méthanolique, éthanolique, aqueux et acétonique de *L. angustifolia* présentent un effet répulsif variant en fonction de l'espèce d'insecte, du solvant d'extraction, de la période testée (30 min, 3, 6 et 24h), et de la dose appliquée (4, 8, 16 et 32 μ l) vis à vis des adultes de *S. granarius* et *R. dominica*. Ainsi que la plus grande répulsion est obtenue avec les extraits éthanoliques, suivi par les extraits méthanoliques, puis les extraits aqueux et acétoniques. Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par plusieurs auteurs qui ont montré le pouvoir répulsif de plusieurs plantes aromatiques, tels que Talukder & Howse (1994) avec les extraits de *A. polystachya* sur *S. oryzae* et *T. castaneum*. Talukder & Howse (1993) ont également signalés de forts taux de répulsion des extraits sur *S. oryzae*, principalement les extraits éthanolique (67%), méthanolique (60%) et acétonique (57%). Jilani & Su (1983) ont testé l'effet répulsif des extraits de trois plantes originaires de Pakistan sur trois insectes nuisibles aux produits stockés, y compris *Sitophilus granarius* et ils ont trouvé que l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* a eu le plus fort pouvoir répulsif contre les trois espèces étudiées.

Les travaux d'Adriana *et al.* (2008) ont montré que l'extrait éthanolique de *S. argentinum* et *T. recurvata* présente un effet répulsif de 60% (classe 3) contre *S. granarius* qui est plus supérieur à celui de l'extrait obtenu par macération dans le chloroforme et l'hexane. Ukeh *et al.* (2004) ont trouvé que des extraits d'éther di-éthylique d'*Aframomum melegueta* et de *Zingiber officinale* ont un effet très répulsif contre les adultes de *S. zeamais*. De plus, Dwivedi & Shekhawat (2004) ont rapporté que l'extrait acétonique d'*Embllica officinalis*, *Datura alba*, *Ziziphus jujuba* et l'extrait d'éther de pétrole de *Ziziphus jujuba* ont présenté un pouvoir répulsif de 88,66, 77,58, 77,55 et 66,22% contre *Trogoderma granarium* respectivement.

L'extrait acétonique d'*Aphanamixis pofystachya* a montré un pourcentage de répulsion de 100% contre *Tribolium castaneum* (Talukder & Howse 1995). L'effet répulsif d'*A. indica* a été mis en évidence par Echereobia *et al.* (2010), ces auteurs ont montré que l'extrait aqueux à 10 % de cette plante induit une activité répulsive variant de 20 à 100 % selon la durée et la dose appliquée contre *Podagraca unifroma*. Gopal *et al.* (2005) rapporte que l'extrait des feuilles de *Toddalia asiatica* (L.) par macération dans l'éther diéthylique a présenté des pourcentages de répulsion de 50,89, 41,8 et 36,9% contre *C. maculatus*, *S. oryzae* et *T. castaneum* respectivement à une concentration de 20 µl/ml après une exposition de 3 h. Les mêmes auteurs notent que l'extrait d'hexane des fruits de la même plante a montré moins de 50 % d'activité répulsive contre tous les insectes testés à la plus forte concentration (20 µl/ml). Ces études confirment que le solvant d'extraction, la dose et la durée d'exposition influence le pouvoir répulsif de l'extrait.

La détection des molécules odorantes chez les insectes met en jeu des structures particulières, les antennes et les sensilles, qui représentent des micro-organes (ou organules) sensoriels véritablement programmés pour l'olfaction. Ils recouvrent les branches antennaires par milliers et fonctionnent comme des micro-capteurs périphériques des molécules odorantes de l'air environnant. Il existe différents types sensillaires mais tous ont une architecture commune, un système de pores tubulaires qui connecte le milieu extérieur à la lumière sensillaire renfermant les dendrites des neurones sensoriels (deux à trois cellules sensorielles par sensille). En coupe transversale, les pores cuticulaires et l'entrée des molécules odorantes sont séparés des cellules nerveuses cibles par un fluide aqueux protecteur, la « lymphe sensillaire ». Cette lymphe, équivalent chez les insectes du mucus nasal des mammifères, constitue une véritable barrière pour les molécules odorantes très hydrophobes. Chaque sensille répond de façon spécifique à une molécule chimique ou à une famille de molécules chimiques, ce qui explique la grande diversité morphologique (Pelosi, 1994). Le répertoire sensillaire des insectes est donc très varié, répondant parfaitement à la diversité du stimulus chimique et au nombre infini de molécules odorantes et gustatives (Vogt & Riddiford 1986). Pour traverser la lymphe et atteindre les neurones sensoriels, des mécanismes périphériques de solubilisation des molécules odorantes sont nécessaires. De petites protéines acides, très concentrées dans la lymphe, permettraient la solubilisation des molécules odorantes. Ces protéines qui se lient aux molécules odorantes à la périphérie des neurones olfactifs sont appelées *odorant-binding proteins* (OBP) (Pelosi, 1994). Ces OBP sont des chaînes polypeptidiques simples (environ 150 acides aminés) caractérisées par six cystéines reliées

par trois ponts disulfures, donnant aux OBP une structure spécifique (**Breer et al., 1992; Sandler et al., 2000**).

Le mode d'action des répulsifs n'est pas encore clairement établi, car leurs structures chimiques étant très variées (**SMV & SFP, 2010; Combemale, 2001**). D'après **Barnard. (2005)**, l'effet répulsif serait créé par l'odeur repoussante d'un insectifuge, Il provoquerait chez l'insecte une perturbation du système olfactif, ce qui l'empêcherait de repérer son hôte. La spécificité de l'attractivité olfactive d'une plante est basée sur la présence de composés secondaires spécifiques ou sur un ratio particulier de molécules présentes dans une grande variété de plantes (**Pelosi, 1994**). Selon **Abdelaziz et al. (2014)**, l'activité répulsive est liée aux principaux composés actifs et aux autres constituants chimiques présents dans le mélange répulsif. Certains polyphénols ont une action insecticide, d'autre ont un effet attractif. La composition de certains insecticides comprend à la fois une substance insecticide autre qu'un polyphénol et un polyphénol présentant un effet de synergie. Ils attirent les insectes et les immobilisent à proximité de l'autre insecticide à action rapide. L'effet attractif des polyphénols permet de masquer l'effet répulsif des substances insecticides (**Zeghad, 2009**). **Harmel et al. (2008)** suggèrent que certaines substances volatiles sont sécrétées à la surface des plantes, ces composés peuvent être attractifs ou substances répulsives, exemple des sesquiterpènes volatils qui sont relargués par les trichomes glandulaires et ont pour effet de perturber le comportement de l'insecte qui tente de fuir. **El-Kamali (2009)** a testé l'extrait éthanolique des plantes médicinales : *Sonchus oleraceus*, *Ageratum conyzoides* et *ambroisie maritime* ayant un effet insecticide contre le ravageur de stockage *Tribolium castaneum*, il a noté que toutes ces plantes ont a effet répulsif vis-à-vis de l'insecte ciblé grâce à leurs richesse en polyphénols spécifiquement, les flavonoïdes.

Notre étude a montré que l'effet répulsif des différent extraits testés marque une augmentation en fonction des concentrations appliquées ainsi les forts taux de répulsion ont été obtenus chez les individus ayant subi un traitement avec la dose la plus forte (32 µl/ml) après une demi-heure de l'application chez les deux espèces étudiées.

Les répulsifs cutanés appliqués sur les parties découvertes du corps, présentent une protection de durée variable (de l'ordre de quelques heures). La durée d'efficacité varie en effet avec de nombreux facteurs : la concentration en substance répulsive, la formulation du produit répulsif, la nature de la molécule répulsive, le volume appliqué et le rythme des applications, la température extérieure, la sudation, l'application simultanée d'un protecteur solaire, ou encore la baignade (**Ministère en charge de la santé, 2008**).

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'utilisation des insecticides est devenue aujourd'hui une grave préoccupation pour les pouvoirs publics. Pour tenter de répondre à ces interrogations, certaines méthodes de lutte plus respectueuses de l'environnement et plus rassurantes sur la santé, telles que : la lutte biologique, la phytothérapie, la méthode traditionnelle et autres ont été revisitées. L'urgence actuelle est de trouver une alternative à l'usage des pesticides conventionnels, en particulier contre les insectes ravageurs dans les locaux de stockage des denrées alimentaires.

De cette étude, il semblerait que la plante étudiée constitue une bonne source de divers groupes chimiques : flavonoïdes de type flavones, tannins, leucoanthocyanes, saponines, terpénoïdes et stéroïdes qui sont connus par leurs propriétés bioactives.

L'analyse quantitative des composés phénoliques des extraits hydro-alcooliques a présenté des variations en fonction du solvant d'extraction utilisé. Ces extraits ont exercé une activité réductrice du molybdate et une activité anti radicalaire vis-à-vis le radical DPPH, ceci peut être expliqué par la richesse de cette plante en molécules antioxydantes comme les polyphénols qui sont à l'origine des bienfaits de la plante.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que les extraits hydro-alcooliques de la partie aérienne de la plante *L. angustifolia* originaire de Tébéssa possède un caractère insecticide et répulsif contre les adultes de *R. dominica*, et *S. granarius*, qui varie en fonction du solvant d'extraction utilisé, et de l'espèce d'insecte.

Pour valoriser ce travail, d'autres études plus poussées seraient nécessaires pour permettre la caractérisation qualitative des extraits principalement en polyphénols et en flavonoïdes, puis identifier et isoler ses principes actifs responsables des effets antioxydant, insecticide et répulsif.

RESUME

Les pertes post-récoltes des céréales et des légumineuses présentent un problème majeur en Algérie. Les insectes, majoritairement des Coléoptères peuvent causer la perte totale d'un stock. Le moyen le plus courant pour limiter leurs activités est l'usage des pesticides dont les effets indésirables sont malheureusement très nombreux.

Dans le but de rechercher des méthodes de protection des denrées plus sélectives, plus spécifiques et respectueuses de la santé humaine et de l'environnement, le recours aux produits d'origine botanique pour leurs effet insecticide et répulsif, apparait comme la meilleure alternative de lutte propre contre ces ravageurs.

Notre travail entre dans cette thématique et vise à évaluer l'efficacité des extraits hydro-alcooliques d'une plante médicinale, *Lavandula angustifolia* à l'égard des adultes de *Rhyzopertha dominica* et *Sitophilus granarius*, Coléoptères ravageurs des denrées stockées. Plusieurs aspects ont été déterminés :

- Criblage phytochimique de la plante qui a mis en évidence la présence des flavonoïdes de types flavones, des tannins, des leucoanthocyanes, des saponines, des terpénoïdes et des stéroïdes.

- Estimation de la teneur en composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes et tannins) des différents extraits hydro-alcooliques ; le méthanol et l'éthanol ont montré les fortes teneurs.

- Evaluation, *in vitro*, de l'activité antioxydante des différents extraits, réalisée par deux méthodes, à savoir : la capacité antioxydante totale, et le piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ces extraits ont présenté des activités anti radicalaires et anti oxydantes intéressantes dont l'extrait méthanolique est le plus puissant.

- Aspect toxicologique déterminé après application des extraits par fumigation à l'égard des insectes ciblés et qui a permis d'établir les concentrations sous létales et létales (CL₂₅, CL₅₀ et CL₉₀) à 24, 48 et 72h après traitement. Les résultats manifestent une toxicité avec une relation dose-réponse-temps variable en fonction du solvant d'extraction et de l'espèce d'insecte.

- Tests de répulsion ont été réalisés en appliquant la méthode de la zone préférentielle sur papier filtre. La répulsion des extraits varie en fonction de l'espèce d'insecte, du solvant d'extraction, de la dose appliquée et de la durée d'exposition. L'effet répulsif le plus remarquable est enregistré avec la dose la plus forte et après une demi-heure de traitement.

Mots clés : *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius*, *Lavandula angustifolia*, Toxicité, Criblage phytochimique, Extraits hydro-alcooliques, Répulsion, Fumigation, Composés phénoliques, Activité antioxydante.

ABSTRACT

Post-harvest losses of cereals and pulses are a major problem in Algeria. Insect pests of stored products, mostly Coleopteran can cause the total loss of a stock. The most common way to limit their activities is the use of pesticides whose side effects are unfortunately very numerous. In order to seek more selective, more specific methods of protecting stored products that respect human health and the environment, the use of botanical products appears as the best alternative for the clean control of these pests.

Our work is part of this theme and aims to evaluate efficacy of hydro-alcoholic extracts of *Lavandula angustifolia* medicinal plant against adults of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus granarius* Coleoptera pests of stored products.

Several aspects have been evaluated:

- Phytochemical screening of the plant: the following compounds: flavonoids, tannins, leucoanthocyanans, saponins, terpenoids and steroids are detected.
- Estimation of the content of phenolic compounds (polyphenols, flavonoids and tannins) of the various hydro-alcoholic extracts; methanol and ethanol exhibited the high content of polyphenols, flavonoids and tannins respectively.
- Evaluation, in vitro, of the antioxidant activity of the various extracts carried out by two methods: the total antioxidant capacity, and the scavenger of the radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH.). These extracts presented an interesting anti radical and anti-oxidant activities whose methanolic extract is the best.
- Toxicological essay by application of fumigant extracts of the plant have allowed to identify LC₂₅ and LC₅₀ against adults of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus granarius* at 24,48 and 72h after treatment. Results showed that as the concentration and exposure time increased, the mortality also increased and depending on the extraction solvent of the extract and the insect species.
- Repellent tests of the extracts evaluated by application of the preferential zone method on filter paper. The repulsive activity of the extracts varies according to the insect species, the solvent of the extract, the applied dose and the duration of exposure. The most remarkable repellent effect is recorded with the highest dose after half an hour of treatment

Key words: *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus granarius*, *Lavandula angustifolia*, Phytochemical screening, Hydro-alcoholic extracts, Toxicity, Repulsion, Fumigation, Phenolic compounds, Antioxidant activity.

- Abbott, W.B.** (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265 - 267.
- Abdelaziz, N.F., Salem, H.A. & Sasmour, E.A.** (2014). Effet insecticide de certains composés respectueux de l'environnement sur des cochenilles et leurs effets secondaires sur les enzymes antioxydantes des nourrissons de mangue. *Cambre. Phytopathol. Protéger l'usine*, 47: 1-14.
- Adeoti, R.O., Coulibaly, C. & Tamo, M.** (2002). Facteurs affectant adoption des nouvelles technologies du niébé *Vigna unguiculata* en Afrique de l'ouest. *Bulletin de recherche Argonomique du Bénin (N°36)* : 18p.
- Ahmed, K.S., Itino, T. & Ichikawa T.** (1999). Effects of plant oils on oviposition preference and larval survivorship of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: bruchidae) on azuki bean. *Applied Entomology and Zoology*, 34(4): 547-550.
- Akhtar, N., Ihsan-ul-Haq, Bushra Mirza.** (2015). Phytochemical analysis and comprehensive evaluation of antimicrobial and antioxidant properties of 61 medicinal plant species. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Akroum, S.** (2011). Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Thèse de doctorat en physio- toxicologie. Université Mentouri de Constantine. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 112p.
- Amaral, J.S., Valentão, P., Andrade, P.B., Martins, R.C. & Seabra, R.M.** (2010). Phenolic composition of hazelnut leaves. Influence of cultivar, geographical origin and ripening stage. *Scientia horticultrae*, 126(2), 306-313.
- Amari, N.** (2014). Etude du choix de ponte du bruché du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte. Mémoire de magistère.
- Arimboor, R., Arumughan, C.** (2011). Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) proanthocyanidins inhibit in vitro enzymatic hydrolysis of protein. *Journal of Food Science*, 76(6), 130-7.
- Asrar, Muhammad., Naila, Ashraf., Muhammad, Dildar Gogi., Syed, Makhdoom Hussain., Khuram, Zia. and Bilal, Rasool.** (2016). Toxicity and repellence of plant oils against *Tribolium castaneum* (herbst), *Rhyzopertha dominica* (f.) and *Trogoderma granarium* (e.). *Pakistan Entomologist Journal* homepage: www.pakentomol.com.
- Atmani, D., Chaher, N., Berboucha, M., Ayouni, K., Lounis, H., Boudaoud, H., Debbache, N.** (2009). Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chem*, 112: 303–309.

Atoui, A.K., Mansouri, A., Boskou, G. and Kefalas, P. (2005). Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89, 27-36.

-B-

- Bachiri, L., Echchegadda, G., Ibibjijen, J. & Nassiri, L.** (2016). Etude phytochimique et activité antibactérienne de deux espèces de lavande autochtones au Maroc: «*Lavandula stoechas* L. et *Lavandula dentata* L.». *European Scientific Journal*, ESJ, 12(30).
- Bahorun, T., Grinier, B., Trotin, F., Brunet, G., Pin, T., Luncky, M., Vasseur, J., Cazin, M., Cazin, C. and Pinkas, M.** (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-Forschung*, 46(11): 1086–1089.
- Balachowsky, A.S., Mesnil, L.** (1936). Les insectes nuisibles aux plantes cultivées leurs mœurs, leurs destruction. *Traité d'entomologie agricole concernant la France, la Corse, l'Afrique du nord et les régions limitrophes*, 1535-1539.
- Balakrishnan, A., Priya, V., Gayathri, R.** Preliminary Phytochemical Analysis and Antioxidant Activities of Lemongrass and Lavender. *Journal of pharmaceutical sciences and research*, 2015, 448-450.
- Baldwin, I.T., Karban, R.** (1997). *Induced responses to herbivory*. Chicago University Press. Chicago.
- Bamaiyi, L.J., Ndams, I.S., Toro, W.A. & Odekina, S.** (2006). Effect of mahogany *Khay senegalensis* seed oil in the control of *Callosobruchus maculatus* on stored cowpea. *Plant Protection Science*, 42 (4): 130-134.
- Baptista, R., Madureira, A.M., Jorge, R., Adao, R., Duarte, A., Duarte, N. et al.** Antioxidant and antimycotic activities of two native *lavandula* species from Portugal. *EvidenceBased Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 10.
- Barchan, A., Bakkali, M., Arakrak, A., Laglaoui, A.** Effet antibactérien et anti-biofilm de trois espèces de *Mentha*, *Mentha spicata*, *Mentha pulegium* et *Mentha piperita*. *Phytothérapie*, Lavoisier DOI 10.1007/s10298-015-0970-y ,2015.
- Barnard, D. R.** (2005). Biological assay methods for mosquito repellents. *Journal of American Mosquito Control Association*, 21 Suppl: 12-16.
- Bekon, & F. Fleurat Lessard.** « Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire: *Tribolium castaneum* (Herbst), coleoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales. », 1989.

- Belmokhtar, Z. et Kaid Harche, M.** (2009). Evaluation des composés phénoliques de *Retama monosperma* L. in : Symposium sur les composés phénoliques , nutraceutiques ou médicaments, 2009 Déc.17- 18 , Aghadir , Maroc, 2009, pp 1-2.
- Benayache, F., Marchioni, E.,** (2013). Free radical scavenging action of phenolic compounds from *Limonium Bonuelli* (Plumbaginaceae). 2013. Scholars Research Library Der Pharmacia Lettre, 5(5):234-240
- Benayad, N.** (2013). Évaluation de l'activité insecticide et antibactérienne des plantes aromatiques et médicinales Marocaines. Extraction de métabolites secondaires des champignons endophytiques isolés de plantes Marocaines et activité anticancéreuse. Thèse de Doctorat en Chimie. Spécialité : Chimie organique. Université Mohamed V. Agdal. Faculté des Sciences, Rabat. 186 p.
- Benkhellat, O.** (2002). Contribution à l'étude des conditions de manutention du blé et de l'écologie des arthropodes dans les écosystèmes de stockage de la région de Bejaia et essai de lutte contre *rhyzopertha dominica* (Coleoptera : Bostichidae) à base de poudre de plantes. Thèse. Magistère. Science de la nature. Univ. Bejaia,102p.
- Bensikaddour, H. et Bachkat, S.** (2017). Etude phytochimique et activité biologique de mélange (feuilles, fleurs et brindilles) de *Thymelaea hirsuta*. Thèse de master en Valorisation des substances naturelles Végétales, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 37-39p.
- Bettaieb Rebey, I., Bourgou, S., Saidani Tounsi, M., Fauconnier, M.L. & Ksouri, R.** (2017). Etude de la composition chimique et de l'activité antioxydante des différents extraits de la Lavande dentée (*Lavandula dentata*). Journal of New Sciences Agri & Biotech, 39(2), 2096-2105.
- Bijoy, M., Jayati, S., Prabir, K.S.** (2008). Antioxidant activities of soybean as affected by *Bacillus*-fermentation to Kinema. Food Res. Int, **1**: 586-593.
- Biljana, B., Sanda, V-K., Adelheid, B. & Maja, B.S.**(2010).Evaluation of Antioxidant Potential of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka': A Comparative Study with *L. angustifolia* Mill.molecules, 30 août 2010, pp 5979-5980.
- Bimakr, M., R. Abdul Rahman, F. Saleena Taip, A. Ganjloo, L. Md Salleh, J. Selamat and I.S.M. Zaidul.** (2011). Comparison of different extraction methods for the extraction of major bioactive flavonoid compounds from spearmint (*Mentha spicata* L.) leaves. Food and Bioproducts Processing, 89: 67-72.
- Boizot, N. et Charpentier, J.P.** (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'Inra, pp 80-81.

- Bonnaillie, C., Salacs, M., Vassilova, E. and Saykova, I.** (2012). Etude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *Revue de génie industriel*, 7, 35-45.
- Botineau, M.** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Ed. TEC&DOC. Lavoisier, 2010, 1355 pp.
- Bouchet, N., Barrier, L., Fauconneau, B.** Radical scavening activity and antioxidant properties of tannins from *Guiera senegalensis* (combretaceae). *phytotherapy research*, 1998, 12, (3), p.159-162.
- Braüchler, C., Meimberg, H., Heubl, G.** (2010). Molecular phylogeny of Menthinae (Lamiaceae, Nepetoideae, Mentheae). *Taxonomy, biogeography and conflicts. Molecular Phylogenetics and Evolution*, 55 : 501-523.
- Breer, H., Boekhoff, I., Krieger, J. et al.** Molecular mechanisms of olfactory signal transduction. In: Corey DP, Roper SD, eds. *Sensory transduction*. New York : Rockefeller University Press, 1992: 94-108.
- Bruneton, J.** (2009). *Pharmacognosie. phytochimie, plantes médicinales*. Eds Tec&Doc 4ème éd, 1269p.

-C-

- Chu, C.J., Kemper, K.J.** (2001). *Lavender (Lavandula spp.)*. Longwood Herbal Task Force, 32p
- Cisowski, W.** (1985). Flavonoid compound in *Myrrhis odorata* (L.) Scop." *Herba Polonica*, 31: 13-19.
- Combemale, P.** (2001). La prescription des répulsifs. *Revue de Médecine Tropicale* ; 61 ; 99-103.
- Cowan, M.M.** (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Review*. 12(4): 564-582.

-D-

- Dahmani, S.** (2013). Utilisation des Extraits du café, du thé et la farine du caroubier pour l'obtention des nanoparticules de divers métaux. *Mémoire du Master*. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- Dai, Jin., Mumper Russell, J.** (2010). *Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties*. Pharmaceutical Sciences Faculty Publications.

Debella, A. Manual for phytochemical Screening of Medicinal Plants. Ethiopian Health and Nutrition Research Institute, Addis Ababa, Ethiopia (2002), pp 35-4.

Delobel et Tranc. (1993). Les Coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. EdOrstom, pp 125-129.

Deravel, J., Krier, F. & Jacques, Ph. (2014). Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 18(2): 220-232.

Doughari, JH. (2006). Antimicrobial activity of Tamarindus Indica Linn. Trop. J.Pharm. Res.5(2), 597-603.

Dugravot, S. (2000), Analyse de la réponse d'insectes spécialistes et non-spécialistes à un composé soufré. Diplôme d'études approfondies, Université de Tours, 25 p.

Dwivedi, SC., Shekhawat, NB. (2004) Repellent Effect of Some Indigenous Plant Extracts against Trogoderma granarium (Everts). Asian J Exp Sci, 18: 47-51.

-E-

Echereobia, C.O., Okerere, C.S. & Emeaso, K.C. (2010). Determination of repellence potentials of some aqueous plant extracts against okra flea beetles Podagrica uniforma. J. Biopesticides, 3(2), 505-507.

Effendi, L., Yajun, Y. (2008). Functional expression of a P450 flavonoid hydroxylase for the biosynthesis of plant-specific hydroxylated flavonols in Escherichia coli. Metab. Eng. 8: 172-181.

Elena, G.K.A, Milen, I.G., Mladenka, P.I., Leif, H.S., Anja, R., Mogens, L.A. (2008). Extracts of plant cell cultures of Lavandula vera and Rosa damascena as sources of phenolic antioxidants for use in foods. European Food Research and Technology, vol, 227, p.1243-1249.

Elharas, K., A. Daagare, A. Mesfioui et M. Ouhssine. (2013). Activité antibactérienne de l'huile essentielle des inflorescences de Laurus nobilis et Lavandula angustifolia ». Afrique Science, Vol. 9(2). ISSN 1813-548X.

El-Kamali, H.H. (2009). Effect of certain medicinal plants extracts against storage pest. Tribolium castaneum Herbst. American Eurasian J. Sustainable Agric. 3(2): 139-142.

Ez Zoubi, Y., Bousta, D., Lachkar, M., Farah, A. Antioxidant and anti-inflammatory properties of ethanolic extract of Lavandula Stoechas L. from Taounate region in Morocco. International Journal of Phytopharmacology, 2014, 21-26.

- F. Deba, T. Dang Xuan, M. Yasuda, S. Tawata.** "Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *Radiata*" *FoodControl*, 2008, Vol.(19), page:346.
- Fabiani, Gilbert, Christof, Alain.** (2002). *Memoires de la lavande Barbentane : équinoxe*, 131p.
- Fabricius.** (1792). An accentuated list of the British Lepidoptera, with hints on the derivation of the names. *Entomological Societies of Oxford and Cambridge*, p 1858
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M. & Abdelly, C.** (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L, organs, and their biological Activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379.
- FAO.** (2009). Country responses to the food security crisis: nature and preliminary implications of the policies pursued. par M. Demeke, G. Pangrazio et M, Maetz. Initiative de la FAO contre la flambée des prix des denrées alimentaires, Rome.
- Flaurat-Lessard.** (1982). Les insectes et les acariens. In. Multon JI, conservation et stockages des grains et graines et produits dérivées. Ed .Lavoisier, Paris. Vol.01, pp 394-436.
- Foua-Bik.** (1989). Vulgarisation de la méthode du triple ensachage pour le stockage amélioré du niébé en zonesahélienne du nord Cameroun : Enjeux et perceptions paysannes, *Tropicultura*, 31 (3): 170-178.

- Gheorghiade, M., Veldhuisen van, D., Colucci, W.** (2006). Contemporary Use of Digoxin in the Management of Cardiovascular Disorders , 113: 2556 – 2564.
- Gilani, A.H.** (2005). Trends in ethnopharmacology. *Journal of ethnopharmacology*, 100(1), 43-49.
- Gilly, G.** *Les plantes à parfum et huile essentielles de Grasse. Botanique, culture, chimie, production et marché.* Ed. L'Harmattan, 1997, 428 PP.
- Giray, E.S., Kirici, S.** (2008). Comparing the effect of sub-critical water extraction with conventional extraction methods on the chemical composition of *Lavandula stoechas*. *Talanta*, p 930-935.

- Gonzalez-Montelongo, R., Gloria Lobo, M. and Gonzalez, M.** (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts. testing extraction conditions and related bioactive compounds, *Food Chemistry*, 119, 1030–1039.
- Gopal Nattudurai, Santiago Stephen Irudayaraj, Michael Gabriel Paulraj, Kathirvelu Baskar and Savarimuthu Ignacimuthu.** (2005). Insecticidal and Repellent Activities of *Toddalia asiatica* (L.) Lam. Extracts against Three Major Stored Product Pests. *Entomology, Ornithology & Herpetology*: DOI: 10.4172/2161-0983.1000148.
- Gueye, M.T., Seck, D., Wathelet, J.P. & Lognay, G.** (2011). Lutte contre les Ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(1): 183-194.
- Guignard, J.L.** (2000). *Biochimie végétale*. 2ème édition. Edition Dunod, Paris, pp 198-207.
- Gulcin, I., Kufrevioglu, O.I., Oktay, M., Buyukokuroglu, M.E.** (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (*Urtica dioica* L.). *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 205–215.
- Guzzo, E.C., M.A.G.C. Tavares, J.D. Vendramim.** (2006). Evaluation of insecticidal activity of aqueous extracts of *Chenopodium* spp. in relation to *Rhyzopertha dominica* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae). 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 926 PS7-37 – 6333.

-H-

- Harmel, N., Francis, F., Haubruge, E., Giordanengo, P.** (2008). Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons: vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. *Cahiers Agricultures*, vol. 17(4): 395-400.
- Hamidi, A.** (2012). Etude phytochimique et activité biologique de la plante *Limoniastrum guyonianum*. Mémoire de Magistère. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- Hayouni, E.A., Abedrabba, M., Bouix, M., Hamdi, M.** (2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. *Food Chemistry*, vol.105, n.3.
- Harborne, J.B.** (1988). *Introduction to ecological biochemistry*. New York: Academic press. Vol. 19, pp.1498-1501.
- Harborne, J.B., Williams, C.A.** (2002). *Phytochemistry of the genus Lavandula*. *Medicinal and aromatic plants*, 86-99.
- Hadj Salem, J.** (2009). Extraction identification caractérisation des activités biologiques de flavonoïdes de *Nitraria Retusa* et synthèse de dérivés acyles de ces molécules par voie enzymatique. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Lorraine.

Hayat, K., Hussain, S., Abbas, S., Farooq, U., Ding, B., Xia, S., Jia, C., Zhang, X., Xia, W. (2009). Optimised microwave-assisted extraction of phenolic acids from Citrus mandarin peels and evaluation of antioxidant activity in vitro. *Sep Sci Technol*, 70, 63-70.

Haubruge, E. & Amichot, M. (1998). Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. France, *Biotechnol, Agron., Soc, Environ*, 2 (3): 161-174.

-I-

Imelouane, B., Elbachiri, A., Ankit, M., Benzeid, H., Khedid, K. (2009). Physico-Chemical Compositions and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Eastern Moroccan *Lavandula Dentate*. *International Journal of Agricultural Biology*, vol, 11, p.113–118.

InVS. Institut de veille sanitaire (2012). Recommandation sanitaires pour les voyageurs, *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* : 20-21 ; 223-253.

Iserin, P. (2001). *Larousse Encyclopédie des plantes médicinales*, Ed Larousse, pp10, 335.

-J-

Jilani, G. & H.C.F. Su. (1983). Laboratory studies on several plant materials as insect repellents for protection of cereal grains. *J. Econ. Entomol*, 76:154-157.

Jokić, S., Velić, D., Bilić, M. and Bucić-Kojić, A., Plan inić, M. and Tomas, S. (2010). Modelling of the Process of Solid-Liquid Extraction of Total Polyphenols from Soybeans. *Journal of Food Science*, 28, 206- 212.

Jones, W.P., Chai, H.-B., Mi, Q., Farnsworth, N.R., Swanson, S.M., Cordell G.A., Kinghorn, A.D. (2003). Dereplication of active plant extracts in natural product anticancer drug discovery. 44th Annual Meeting of the American Society of pharmacognosy. Chapel Hill, North Carolina, July 12 – 16.

Judd Walter, S., Campbell Christopher, S., Kellogg Elizabeth, A., Stevens Peter. (2002). *Botanique Systématique, une perspective phylogénétique*. Edition de Boeck Université, 84-87 ,396-399.

-K-

- Kabran, G.R., N.C. Ambeu, J.A. Mamyrbékova-Békro and Y.A. Békro.** (2011). CCM d'extraits sélectifs de 10 plantes utilisées dans le traitement Traditionnel du Cancer du sein en Côte d'Ivoire. *Europ.J.Scientific Research*, 63 (4), 592-603.
- Kalishe, D.** (2014). Expression phytochimique des plantes (cas Fabaceae) face aux stress écologiques. Thème de Licence, University d'Ouargla.
- Kasote, D.M., Hegde M.V. & Deshmukh, K.K.** (2011). Antioxidant activity of phenolic components from n-butanol fraction (PC-BF) of defatted flaxseed meal. *Am J Food Tech*, 6(7), 604-612.
- Kassemi, N.** (2014). Activité biologique des poudres et des huiles essentielles de deux plantes aromatiques (*Pseudocytisusintegrifolius*Salib et *Nepetanepetella*L.) sur les ravageurs du blé et des légumes secs. Thèse de doctorat.Telmcen.
- Keïta, S.M. et al.** (2000). Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res*, 36, 355-364.
- Kellouche, A., Ait Aider, F., Labdaoui, K., Moula, D., Hamadi, N., Ouramdane, A., Frerot, B. & Mellouk, M.** (2010). Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidea). *International Journal of Integrative Biology*, Vol.10 : 86-89.
- Kellouche, A. & Soltani, N.** (2004). Activité biologique des poudres de cinq plantes et d'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). *International Journal of Tropical Insect Science*, 24 (1): 184-191.
- Khan, T.A., Mazid, M. & Mohammad, F.** (2011). Status of secondary plant products under abiotic stress. an overview .*J. Stress Physiol. Biochem*, 7(2), 75-98.
- Kidd, P.S., Liugany, M., Poscenrieder, C., Gunsé, B., Barcelo, J.** (2001).The role of root exudates in aluminium resstance and silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three variety of maize, *JExp Bot*, 52: 1339-1352.
- Kim, H.P., Son, K.H., Chang, H.W. and Kang, S.S.** (2004). Anti-inflammatory plant flavonoids and cellular action mechanisms. *Journal of pharmacological sciences*, 96(3), 229-245.
- Kossou, K.D., Gbehounou, G., Ahanchede, A., Ahohuendo, B., Yacouba, B. & Van Huis, A.** (2001). Endogenous cowpea production and protection practices in Benin.*Insect Sciences and Application* 21(2):30-40.
- Kothe, H.W.** (2007). 1000 plantes aromatiques et médicinales, Terres Edition.

Kubeczka, K.H., Bartsch, A. & Ullmann, I. (1982). Recent studies on essential oils of Apiaceae." Aetherische Oele, Ergeb. Int. Arbeitstag: 158-187.

Kulišić, T., Dragovic-Uzelac V., Miloš, M. (2006). Antioxidant activity of aqueous tea infusions prepared from oregano, thyme and wild thyme. Food Technology and Biotechnology, 44, 485-492.

Kumar, R. (1991). La lutte contre les insectes ravageurs. Edition Karthala et CTA.France et Pays-as, 293p.

-L-

Lapornik, B., Prošek, M. and Wondra, A.G. (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. Journal of Food Engineering, 71, 214- 222.

Lattanzio, V., Lattanzio, V.M.T. & Cardinali, A. (2006). Role of polyphenols in the resistance mechanisms of plants against fungal pathogens and insects. In: Imperato F, ed. Phytochemistry: advances in research, Trivandrum, Kerala, India: Research Signpost, 23-67.

Leinmüller, E., Steingass, H. & Menke, K. (1991). Tannins in ruminant feedstuffs. Animal Research and Development, 33, 9-62.

Lepesme, P. (1944). Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés. Encyclopédie entomologique. Ed, Le chevalier, Paris, SérieA, Xxii, 257p.

Lepigre. (1951). Insectes du logée et du magasin, Reconnaissance et moyens de destruction. Insectarium, Jardin d'essai, Alger, 339p.

Levizou, E., Petroupoulou, Y. et Manetas, Y. (2004). Total carotenoid amount in crude twig extracts may be overestimated due to interference by high contents of coextracted phenolics. Photosynthetica, 42 (2), P295 - 297.

Liégeois, C., Lermusieau, G. et Collin, S. (2000). Measuring Antioxidant Efficiency of Wort, Malt, and Hops against the 2, 2 -Azobis (2-amidinopropane) Dihydrochloride-Induced Oxidation of an Aqueous Dispersion of Linoleic Acid. J. Agric, Food Chem, 48, 1129-1134.

Lieutaghi, P. le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux. Ed. Actes sud, 2004, 1322 pp.

-M-

- Malik, F., S. Hussain, A. Sadiq, G. Parveen, A. Wajid, S. Shafat, R.A. Channa, R. Mahmood, H. Riaz, M. Ismail & F. Yasin Raja.** (2012). Phyto-chemical analysis, anti-allergic and anti inflammatory activity of *Mentha arvensis* in animals. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. Vol. 6(9), pp. 613-619.
- Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E. et Kefalas, P.** (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry* 89: p 411-420.
- McDonald, L.L., Guy, R.H. & Speirs, R.D.** (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insects. *Marketing, Res. Rep. n° 882*, Washington: Agric. Res. Service, US. Dept of Agric, 183 p.
- Mehaoua, M.S.** (2014). Abondance saisonnière de la pyrale des dattes (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller, 1839, bioécologie, comportement et essai de lutte. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Université Mohamed Khider de Biskra, Algérie, 109 pp.
- Menaceur, F.** (2011). Composition Chimique et activité biologique des huiles essentielles et extraits de romarin (*Rosmarinus eriocalyx*) et de la lavande (*lavandula stoechas*). thèse de Magister Université El-Harrache, Alger, p112.
- Meunier.** (1999). *Christiane Lavandes et Lanvandins*. Aix-en-Provence : Edisud, 214 pages.
- Michel, M.** (2011). Nouvelles methodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification: application aux molecules bioactives de l'argousier (*hippophæ rhamnoides*). Thèse de doctorat, Ecole doctorale sciences et technologies. Université d'orleans, France.
- Ministère en charge de la santé.** (2008). Chikungunya - Répulsifs corporels : réponses aux questions les plus fréquentes. <http://www.sante.gouv.fr/chikungunya-repulsifs-corporels-reponses-auxquestions>.
- Mithofer and W. Boland.** (2012). Plant defense against herbivores : Chemical aspects. *Annu, Rev, Plant Biol*, 63 :431-450.
- Mohammedi, Z., Atik, F.** (2011) Impact of solvent extraction type on total polyphenols content and biological activity from *Tamarix aphylla* (L.) karst. *Inter J Pharma Bio Sci* 2:609-615
- Mompou, B., Lemanie, B., Surbled, M.** (1998). Extraction des polyphenols du laboratoire à la production industrielle. In : *Polyphénols 96*. Edition INRA, p:31-43.
- Moretto, A. and M. Lotti.** (1998). Poisoning by organophosphorus insecticides and sensory neuropathy. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 64, 4, pp. 463-468.

Mota, R., Thomas, G., Barbosa Filho J.M. (1985) Anti-inflammatory actions of tannins isolated from the bark of *Anacardium occidentale* L. *Journal of ethnopharmacology*, 13, 289-300. *zerat, V, Secrets de Bafranier, Lucien souny Ed .Saint .Paul, (2009), p : 125.*

-N-

Nabavi, S.M., Nabavi, S.F., Alinezhad, H., Zare, M. and Azimi, R. (2012). Biological activities of flavonoid-rich fractions of *Eryngium Caucasicum* Trautv. *European review for medical and pharmacological sciences*, 16(1 3), 81-87.

Nacz, M., Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **41**, 1523–1542.

Nauen, R. (2006). Insecticide mode of action: return of the ryanodine receptor. *Pest management science*, 62, 8, pp. 690-692.

Nevein, MA., Gamil, MA., Nagi, F.I. Phytochemical Studies and In vivo Antioxidant Activity of two *Lavandula* species (Lamiaceae) Against *Streptozotoc* in Induced Oxidative Stress in Albino Rats. *Journal of Biomedical and Pharmaceutical Research*, 2014, 30-40.

Nur, Alam Md., Bristi, N.J. and Rafiquzzaman, Md. (2013) Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21, 143–152.

Nyamador, S., Ketoh, G., Koumaglo, H., Glitho, I. (2010). Activités Ovicide et Larvicide des Huiles Essentielles de *Cymbopogon giganteus* Chiov et de *Cymbopogon nardus* L. Rendu sur les stades immatures de *Callosobruchus maculatus* F. et de *Callosobruchus subinnotatus* Pic.(Coleoptera : Bruchidae). *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, vol. 029: 67-79.

-O-

Owusu, E.O. (2001). Effect of some Ghanaian plant components on control of two stored product insect pests of cereals. *J. Stored Products Res*, 37: 85-91.

Ozen, T., Darcan, C., Aktop, O. and Turkekul, I. (2011). Screening of antioxidant, antimicrobial activities and chemical contents of edible mushrooms widely grown in the black sea region of Turkey. *Combinatorial Chemistry and High Throughput Screening*, 14, 72-84.

- Park, C., Kim, S.I., Ahn Y.J.** (2003). Insecticidal activity of asarones identified in Acorus gramineus rhizome against three coleopteran stored product insects. *J Stored Prod Res*, 39:333–342.
- Pelosi, P.** Odorant-binding proteins. *Crit Rev Biochem Mol Biol*, 1994; 29: 199-228.
- Penchev, P.I.** (2010). Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Thèse de Doctorat de Génie des Procédés et de l'Environnement. Université de Toulouse. Institut National Polytechnique de Toulouse, 218p.
- Potter, C.** (1935). The biology and distribution of *Rhyzopertha dominica* (Fab). *Transactions and proceedings of the society*, 83:449 – 482.
- Price, M.L., Vanscoyoc, S., Butler, G.** (1978). Article evaluation of vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *I-Agric. Food Chemistry*, 26: 1210-1218.
- Prieto, P., Pineda, M., Anguilar, M.** *Anal. Biochem*, 269, 337 (1999).
- Prosper-Cabral, N., Biapa¹, Gabriel, A., Agbor^{1,2}, Julius, E., Oben¹, Jeanne, Y. Ngogang.** (2007) . Phytochemical studies and antioxidant properties of four medicinal plants used in cameroon. *afr. j. trad. Cam*, 4(4), 495 – 500

- Rajashekar, Y., Gunasekaran, N., Shivanandappa, T.** (2010). Insecticidal activity of the root extract of *Decalepis hamiltonii* against stored-product insect pests and its application in grain protection. *J Food Sci Technol*, 47(3):310–314 123.
- Ramade, F.** (2007). Introduction à l'écotoxicologie. Ed. Lavoisier. Ile de France:618 p.
- Regnault-Roger et Hamraoui.** (1995). Fumigant toxic activity and reproduction inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Stored Products Research*, Vol 1: 291-299.
- Relinger, B., Don-Pedro, K.N.** (1988). Insecticidal Activity of Fatty Acid Constituents of Fixed Vegetable Oils against *Callosobruchus maculatus* on Cowpea. *Pesticide Science*, 30: 295-302.
- Ribereau-Gayon, J., Peynaud, E., Sudraud, P., Ribereau-Gayon, P.** (1982). Composés phénoliques « Traité d'oenologie, sciences et techniques du vin ». Ed Dunod: 477-499.

Robbins, R.J. (2003). Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *J.Agric, Food Che*, 51 (10), 2866-2887.

Romani, A., Pineli, C., Cantini, A., Cimato and D. Heimler. (2006). Characterization of violetto di Toscana, typical Italian variety of artichoke (*Cynarascolymus L.*). *J.FoodChem.* Vol. 95, pp: 221_225.

-S-

Sanchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *International Journal of Food Science and Technology* 8, p: 121-137.

Sandler, B.H., Nikonova, L., Leal, W.S. et al. Sexual attraction in the silkworm moth: structure of the pheromonebinding- protein-bombykol complex. *Chem Biol* 2000; 7: 143-51.

Schauenberg, P. et Paris, F. (2010). Guide des plantes médicinales : Analyse, description et utilisation de 400 plantes. Ed. Delachaux et Niestlé, p.396.

Seri-Kouassi, B.P., Kanko, K., Aboua, L.R.N., Bekon, K.A., Glitho, A.I., Koukoua, G. & N'Guessan, Y.T. (2004). Action des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de Côte d'Ivoire sur *Callosobruchus maculatus* F., 2004, *Comptes Rendus Chimie*, 7, 1043-1046.

Seyoum, A., Asres, K. and El-Fiky, F.K. (2006). Structure-activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry*, 67: 2058-2070.

Shafaghat, A., Salimi, F., Amani-Hooshyar, V. Phytochemical and antimicrobial activities of *Lavandula officinalis* leaves and stems against some pathogenic microorganisms. *Journal of medicinal plant research*, 2012, 455-460.

Shah, S.M.M., A. Sadiq, S.M.H. Shah, S. Khan. (2014). Extraction of saponins and toxicological profile of *Teucrium stocksianum* Boiss extracts collected from District Swat. Pakistan. *Boil Res*, 47 (1).p. 65.

Silva, E.M., Rogez, H. et Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction of phenolics from *Inula officinalis* leaves using response surface methodology, Separation and purification. *Technology*, 55, P381-387.

Simonpoli, P. (1993). In Arburi. Arbignuile. Savoirs populaires sur les plantes de Corse. Parc Naturel Régional de la Corse, Ajaccio, Corsica.

- Singleton, V. L., & Rossi, J. A.** (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolydic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–153.
- Skoula, C., Abidi, E., Kokkalou, K.** (1996). *Biochem, Syst, Ecol*, 24, 255.
- Small, E. et Deutsch, G.** (2001). Herbes culinaires pour nos jardins de pays froids. Ed. CNRC.
- Smallfield, B.** (2001). Introduction to growing herbs for essential oils, medicinal and culinary purposes. *Crop & Food Research*, (45): 1-4.
- Smigielski, K., Raj, K., Krosowiak, K. and R. Gruska.** (2013). Chemical composition of the essential oil of *Lavandula angustifolia* cultivated in Poland. *JEOP* 12(3), 338-347.
- SMV et SFP.** Société de médecine des voyages et Société française de parasitologie (2010). Recommandations de bonne pratique – Texte court : « protection personnelle anti-vectorielle ou protection contre les insectes piqueurs et les tiques ».
- Sophie, A., Eherhart, N.** (2003). La phytothérapie soigner par les plantes. Ed. Eyrolles.
- Stamoulis, K. & Zezza, A.** (2003). Conceptual Framework for National Agricultural, Rural Development, and Food Security Strategies and Policies. ESA Working Paper, No. 03-17: Agricultural and Development Economics Division, FAO, Rome.
- Steffan, J.R.** (1978). Les insectes et les acariens des céréales stockées. Normes et techniques, AFNOR, 237 p.
- Sujana, P., Sridhar, T.M., Josthna, P., Naidu, C.V.** (2013). Antibacterial activity and phytochemical analysis of *Mentha piperita* L. (Peppermint) – an important multipurpose medicinal plant. *Am. J. Plant Sci.* 4, 77–83.
- Svoboda, K.P. & Hampson, J.B.** (1999). Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory and other related pharmacological activities. Plant Biology Department, SAC Auchincruive, Ayr, Scotland, UK.
- Swain, T., Hills, W.E.** (1959). The phenolics constituents of *Prunus domestica*, I, The quantitative analysis of phenolics constituents. *J. Sci. Food Agr*, 10 : 63-68.

- Talukder, F.A., Howse, P.E.** (1995). Evaluation of *Aphanamixis polystachya* as a source of repellents, antifeedants, toxicants and protectants in storage against *Tribolium castaneum* (Herbst). *J. Stored Prod Res* 31: 55-61.

- Talukder, F.A. & P.E. Howse.** (1993). Deterrent and insecticidal effects of extracts of pithraj, *Aphanamixis polystachya* (Meliaceae) against *Tribolium castaneum*. *J. Chem, Ecol*, 19: 2463-2471.
- Talukder, F.A. & P.E. Howse.** (1994). Laboratory evaluation of toxic repellent properties of the pithraj tree, *Aphanamixis polystachya* Wall & Parker, against *Sitophilus oryzae* (L.). *Int. J. Pest Man.* 40: 274-279.
- Taskova, R., Mitova, M., Evstatieva, L., Ancev, M., Peev, D., Handjieva, N., Bankova, V., Popov, S.** (1997). Iridoids, flavonoids and terpenoids as taxonomic markers in Lamiaceae, Scrophulariaceae and Rubiaceae. *Bocconea*, 5, 631-636.
- Tavares, M.A.G.C., Vendramim, J.D.** (2005). Atividade inseticida da erva-de-santamaria, *Chenopodium ambrosioides* L, em relação a *Sitophilus zeamais*, (Coleoptera: Curculionidae). 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 926 PS7-37 – 6333.
- Teixeira, G., Correia, A.I., Vasconcelos, T., Feijão, D., Margarida Madureira, A.** *Lavandula stoechas* sub sp. *luisieri* and *L. pedunculata*-phytochemical study, micromorphology and histochemistry. *Revista de Ciências Agrárias*, 2013, 220-228.
- Thomson, V.** (1966). The biology of the lesser grain borer *Rhizopertha dominica* (FAB) (Coleoptera: Bostrychidae). *Bull, Grain Tech*, 4 (4): 163-168.
- Torres, R.** (2006). Antioxidant activity of coumarins and flavonols from the resinous exudates of *Haplopappus multifolius*. *Phytochemistry* 67, Ed, ELSEVIER, p: 984-987.
- Treutter, D.** (2010). Managing phenol contents in crop plants by phytochemical farming and breeding-visions and constraints. *Int. J. Mol. Sci*, 11, 807-857.
- Ukeh, D.A., Birkett, M.A., Pickett, J.A., Bowman, A.S., Luntz, A.J.M.** (2009). Repellent activity of alligator pepper, *Aframomum melegueta*, and ginger, *Zingiber officinale*, against the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Phytochem*,70: 751- 758.
- Ullah, F., Ayaz, M., Sadiq, A., Hussain, A., Ahmad, S., Zeb, A.** (2016). Phenolic, flavonoid contents, anticholinesterase and antioxidant evaluation of *Iris germanica* var: *florentina*. *Nat Prod Res*, 30 (12), pp.1440-1444.
- Upadhyay, R.K. and S. Ahmad.** (2012). Management strategies for control of stored grain insect pests in farmer stores and public ware houses. *World J. Agric, Sci*, 7 (5): 527-549.

Viglianco, A.I., Novo, R.J., Cragnolini, C.I., Nassetta, M. & Cavallo, A. (2008). Plant extracts antifeedant and repellent effects of extracts of three plants from Córdoba (Argentina) against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *BioAssay*, 3: 4.

Vijayaraghavan, C., Sivakumar, C., Zadda Kavitha, M. & Sivasub ramanian, P. (2010). Effect of plant extracts on biochemical components of cabbage leaf webber, *Crociodolomia binotalis* Zeller. *Journal of Biopesticides*, 3 (1): 275 – 277.

Vogt, R.G., Riddiford, L.M. Pheromone reception: a kinetic equilibrium. In: Payre TL, Birch MC. Kennedy CEJ, eds. *Seminar on mechanisms in perception and orientation to insect olfactory signals*, Oxford: Clarendon Press, 1986: 201-8.

-W-

Wakil, W., T. Riasat, N. Saeed, M. Ashraf and M. Yasin. (2012). Fumigant activity of some essential oils against four major insect pests of stored grains. *ARBER Professional Congress Services, Turkey*, 9: 389-395

Wang, J. & Mazza, G. (2002). Effects of anthocyanins and other phenolic compounds on the production of tumor necrosis factor α in LPS/IFN- γ -activated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(15), 4183-4189.

Winkel-shirly, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current Opinionin Plant Biology*. 5: 218-223.

Wong Chi-Chun, Hua-Bin Li, Ka-Wing Cheng, Feng Chen. (2005). A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. Department of Botany, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong, China. P3.

-X-

Xu, C. et al. (2011). Influence of growing season on phenolic compounds and antioxidant properties of grape berries from vines grown in subtropical climate. *J, Agric, Food Chem*, 59(4), 1078-1086.

-Z-

Zeghad, N. (2009). Etude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) et évaluation de leur activité antibactérienne. Thèse de Magister en Biotechnologie Végétale. Université Mentouri Constantine, Faculté des sciences de la nature et de la vie, 84p.

Zettler, J.L. et Arthur, F.H. (2000). Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments. *Crop Protection*, Vol, 19: 577-582.

Zhang, Y.-J., Tanaka, T., Betsumiya, Y., Kusano, R., Matsuo, A., Ueda, T. & Kouno, I. (2002). Association of tannins and related polyphenols with the cyclic peptide gramicidin S. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 50(2), 258-262.

Zuoxin, L., Jouxina, G. et Jiujiang, Y. (2006). Aflatoxins in stored mize and rize grains in Liaoning Province. China. *Journal of Stored Product, Research* vol 42 :468-479.

Courbes d'étalonnages.

1. Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux (référence Acide gallique).

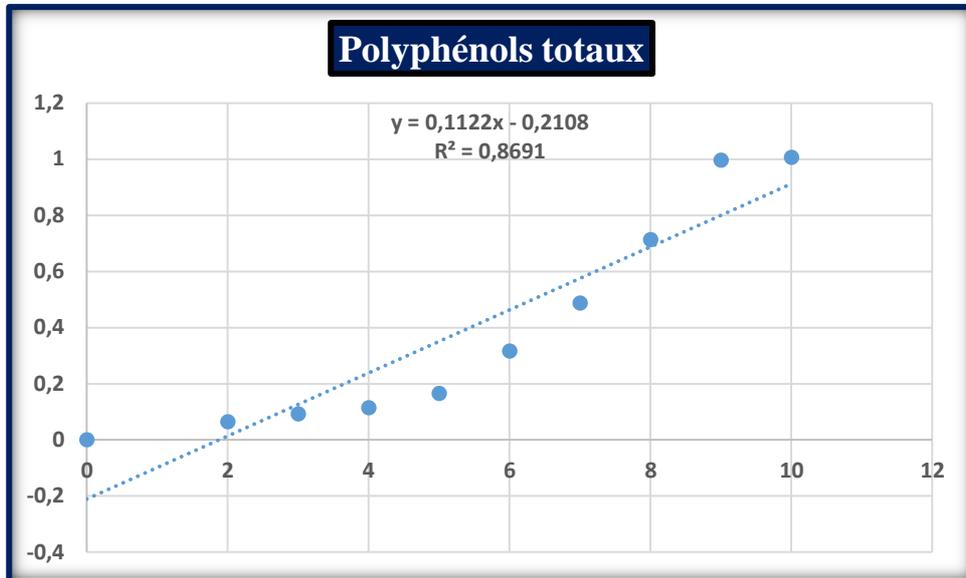


Figure 1. Variation de l'absorbance à 760 nm en fonction de la concentration de l'acide gallique.

2. Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes (référence Quercétine).

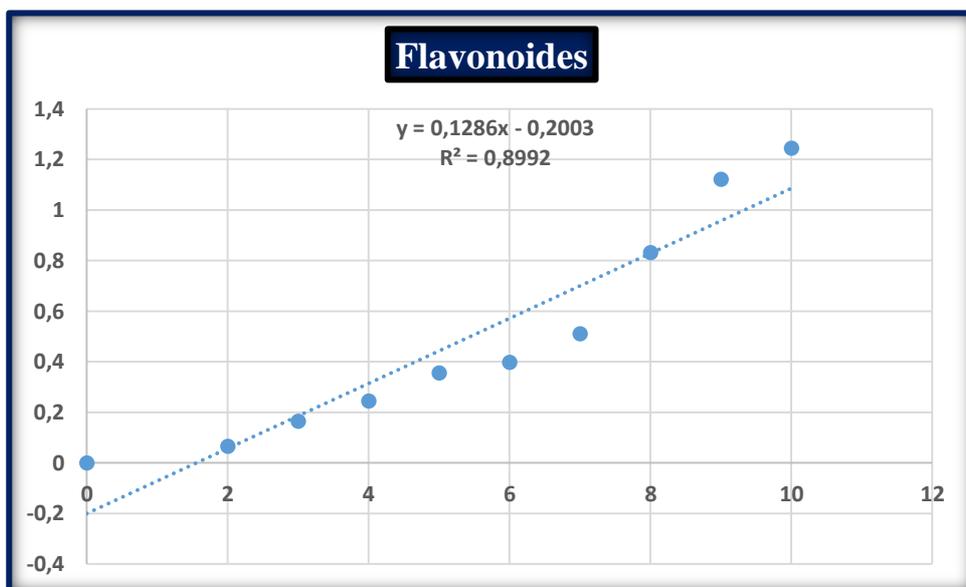


Figure 2. Variation de l'absorbance à 430 nm en fonction de la concentration de la quercétine.

3. Courbe d'étalonnage pour le dosage des tannins condensés (référence Acide Tannique).

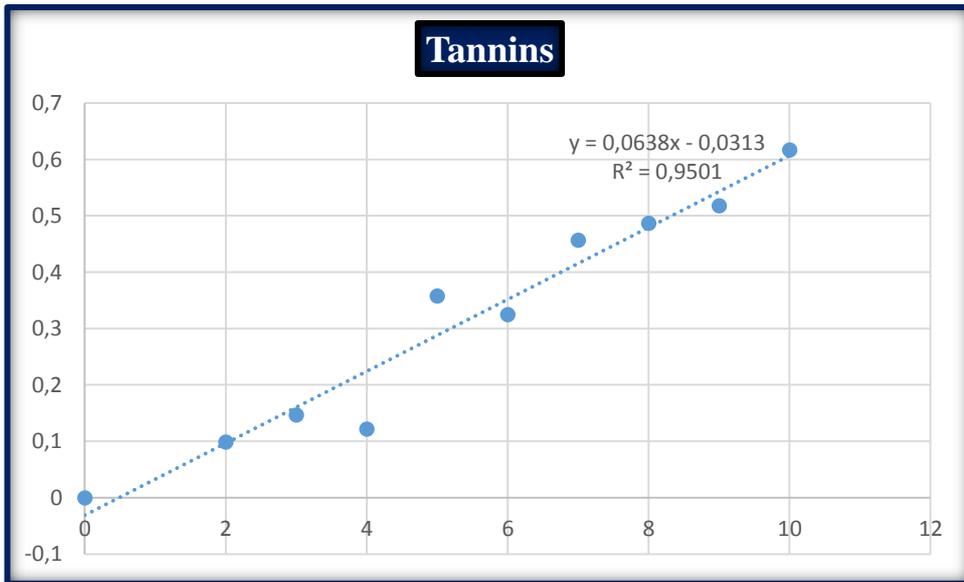


Figure 3. Variation de l'absorbance à 500 nm en fonction de la concentration de l'acide tannique.

4. Courbe d'étalonnage pour l'évaluation de l'activité antioxydante totale (référence Acide ascorbique).

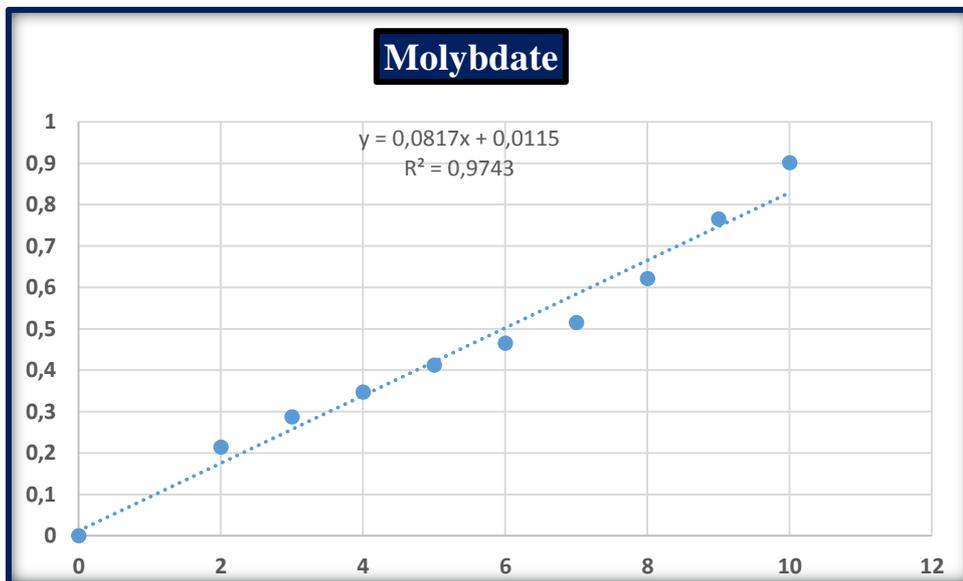


Figure 4. Variation de l'absorbance à 695 nm en fonction de la concentration de l'acide ascorbique

الملخص

تشكل خسائر الحبوب والبقوليات ما بعد الحصاد اشكالية رئيسية في الجزائر. الحشرات اجمالاً الخنفسائية منها أحد أهم المسببات الرئيسية لهذه الخسائر التي قد تصل الى حد اتلاف المحصول المخزن كلياً. الطريقة الأكثر شيوعاً للحد من أنشطتها هي استخدام مبيدات الحشرات الكيميائية التي للأسف تكون آثارها الجانبية عديدة جداً. بهدف حماية المحاصيل المخزنة تم إنجاز قدر كبير من البحوث لاختيار طرق أكثر انتقائية التي تحترم صحة الإنسان والبيئة.

يبدو أن استخدام المواد ذات المنشأ النباتي يعود لتأثيراتها الطاردة والخانقة والتي تعتبر أفضل بديل لمكافحة هذه الحشرات. الدراسة المنجزة هي جزء من هذا الموضوع الذي يهدف إلى تقييم فعالية مستخلصات مائية-كحولية للنبات الطبية *Lavandula angustifolia* ضد حشرات المحاصيل المخزنة *Rhyzopertha dominica* و *Sitophilus granarius* ، حيث تم تحديد عدة جوانب :

- الفحص الكيميائي للنبات: الذي كشف عن احتوائها على المركبات التالية:

Flavonoïde- من نوع Stéroïdes, tannins, leucoanthocyanes, saponines, Terpénoïdes flavones, - تقدير محتوى المركبات الفينولية حيث كشفت النتائج ان الميثانول والايثانول تحصلا على أعلى نسبة استخلاص لهذه المركبات على التوالي.

- تقييم لنشاط مضادات الأكسدة التي اختبرت بطريقتين، وهما: إجمالي قدرة مضادات الأكسدة، ومحاصرة جذرية 2،2-ثنائي فينيل-1 بيكريل ايدرازيل، النتائج أظهرت ان المستخلص الكحولي الميثانول يتميز بأعلى نسبة مضادة للأكسدة.

- الجانب السمي من خلال تبخير للمستخلصات الكحولية المائية الذي سمح بتحديد التراكيز القاتلة (CL_{25} و CL_{50} و CL_{90}) ضد الحشرات المستهدفة خلال 24 و 48 و 72 ساعة بعد العلاج. تظهر النتائج سمية المستخلصات تجاه الحشرات مع وجود علاقة بين الجرعة والاستجابة بنسب متفاوتة حسب المستخلص وكذا نوع الحشرة.

-اختبارات الطرد التنفيري التي تم تقييمها من خلال تطبيق طريقة المنطقة التفضيلية للمستخلصات على ورق الترشيح حيث أظهرت النتائج ان نسبتها تختلف باختلاف أنواع الحشرات، نوعية المذيبات المستخرجة للمستخلص والجرعة المطبقة ومدة التعرض. حيث تم تسجيل التأثير الأكثر طرداً مع أعلى جرعة بعد نصف ساعة من العلاج.

الكلمات المفتاحية

Rhyzopertha dominica, *Sitophilus granarius*, *Lavandula angustifolia*

-الفحص الكيميائي- السمية - المستخلصات الكحولية المائية - اختبارات الطرد التنفيري - التبخير- مضادات الأكسدة