



Université Mohamed Boudiaf - M'sila



FACULTÉ DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Numéro de série :

Numéro d'inscription :

Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES AGRONOMIQUES

THÈME

Effets insecticide des extraits de quelques plantes spontanées sur les ravageurs des denrées stockées

Présenté Par

Mme AGRANE Siham

Soutenu le : 16 Juin 2025

Devant le jury composé de :

<u>Nom & Prénom</u>	<u>Grade</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Qualité</u>
MIMOUN Karim	MCA	Univ. de M'sila	Président
MAHDI Khadidja	Professeur	Univ. de Bouira	Directeur de thèse
MIMECHE Fateh	Professeur	Univ. de M'sila	Co- Directeur de thèse
MEHAOUA M.Seghir	Professeur	Univ. de Biskra	Examineur
DROUAI Hakim	MCA	Univ. de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Tous d'abord, je remercie Dieu de m'avoir donné la santé, le courage, la patience, les moyens et la persévérance d'aller jusqu'au bout afin d'accomplir ce modeste travail.

Je remercie sincèrement ma directrice de thèse, Madame MAHDI Kha., Professeure à l'Université de Bouira, pour la liberté qu'elle m'a accordée dans mes recherches et la confiance qu'elle m'a témoignée. Sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien m'ont permis d'avancer dans les meilleures conditions. Travailler sous sa direction a été un réel plaisir. Qu'elle trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

Je tiens à exprimer tout particulièrement ma profonde gratitude à mon co-directeur de thèse, Monsieur MIMECHE F., Professeur à l'Université de M'Sila, pour la qualité de son encadrement, sa clairvoyance et sa rigueur scientifique. Sa disponibilité constante, sa bienveillance, sa patience, ainsi que ces précieuses orientations et ses qualités humaines ont grandement facilité l'aboutissement de ce travail dans les meilleures conditions.

Qu'il me soit permis ici de remercier très sincèrement Monsieur MIMOUN K., Maître de Conférences classe A à l'Université de M'Sila, et de lui adresser toute ma reconnaissance pour avoir examiné ce travail malgré ses nombreuses obligations. Je suis particulièrement honorée de l'avoir vu assurer la présidence de ce jury de thèse.

Mes chaleureux remerciements vont à Monsieur MEHAOUA M.S., Professeur à l'Université de Biskra, en témoignage de ma profonde gratitude pour avoir consacré de son précieux temps afin de répondre favorablement à notre sollicitation en tant que membre du jury et d'avoir accepté d'examiner cette thèse. Merci infiniment, Professeur.

J'adresse tout particulièrement mes remerciements et ma profonde reconnaissance à Monsieur DROUAI H., Maître de Conférences classe A à l'Université de Biskra, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je lui suis reconnaissante pour sa disponibilité et l'attention qu'il a bien voulu accorder à ma thèse, malgré un emploi du temps particulièrement chargé.

Ma gratitude va particulièrement à Madame SAADA I., qui a joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce travail. C'est grâce à elle que j'ai pu franchir le premier pas au laboratoire et entamer mes expérimentations. Elle m'a guidée avec bienveillance et patience, travaillant à mes côtés à chaque étape, et sa disponibilité ainsi que ses conseils pertinents ont été d'une aide précieuse. Cette thèse lui doit beaucoup.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur MOUSSA H., qui a généreusement contribué à la réalisation des iconographies de cette thèse. Sa patience, sa disponibilité et son efficacité ont été pour moi d'un grand secours. Toujours prêt à aider, il n'a jamais compté son temps ni ses efforts, et pour cela, je lui en suis profondément reconnaissante. Son implication a véritablement marqué le déroulement de ce travail, et je le remercie du fond du cœur pour tout ce qu'il a fait.

Je ne remercierai jamais assez Madame AMMOUCHE Z., ma très chère sœur et copine, pour son soutien inconditionnel tout au long de la réalisation de ce modeste travail, pour ses encouragements et sa compréhension. Merci d'être toujours là à mes côtés. Tu as su me redonner courage quand la motivation n'était plus au rendez-vous, cette thèse vous est dédiée.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Monsieur CHERIEF A. et Madame CHERIEF- BOUTERA N., pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs compréhensions qui ont été d'une importance capitale dans chaque étape de la réalisation de cette thèse, me donnant la force de surmonter les obstacles et les moments difficiles. Grâce à leur implication personnelle et leur soutien constant, j'ai pu poser le premier pas à l'Université de M'Sila et avancer sereinement, bénéficiant de leur appui à chaque moment clé de mon parcours.

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à Monsieur BENSASSI T., Doyen de la Faculté des Sciences, et à Monsieur OUALI A., Vice-Doyen, pour leur appui précieux et leur implication personnelle. Grâce à leur engagement et à leur disponibilité exemplaire, les

démarches liées à mon inscription au doctorat à l'Université de M'Sila ont été considérablement facilitées.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à l'ensemble du personnel administratif de la faculté des sciences de l'Université de M'Sila, dont l'accueil chaleureux, le professionnalisme et l'efficacité ont rendu chaque étape de ce processus simple et agréable. Leur dévouement a créé un environnement propice et motivant qui a renforcé ma confiance pour entreprendre cette étape importante de mon parcours académique.

Je tiens, à exprimer ma sincère reconnaissance à Monsieur SAHRAOUI L. et à Monsieur MENZER N., pour m'avoir aidé à réaliser des analyses à l'ENSA. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect pour leur rigueur scientifique ainsi que pour leurs qualités humaines et leur soutien moral.

Une mention particulière est réservée à Madame GRINE S. et à Madame ARAB H., pour leur aide, pour leur soutien et leur encouragements tout le temps. Je garderais en mémoire vos grandes qualités, tant humaines, qu'intellectuelles. J'aimerais témoigner ici l'expression d'une sincère et marquante admiration.

Je tiens vivement à remercier Madame HAMANI S., Docteur et responsable des laboratoires de la faculté MI de l'Université de Bouira, de m'avoir accueilli dans son laboratoire et aussi pour sa sympathie, sa rigueur scientifique et ses conseils.

Je tiens à remercier chaleureusement Madame HANSALI H., qui n'a pas hésité un instant à m'apporter son aide lorsque je me suis tournée vers elle. Sa disponibilité et son esprit de collaboration ont été pour moi d'un immense soutien. Je lui suis profondément reconnaissante.

Que l'ensemble des Ingénieurs de la faculté des sciences de la vie et de la terre de l'Université de Bouira trouve ici mes remerciements les plus sincères, de n'avoir pas lésiné sur les efforts pour mettre à ma disposition le matériel nécessaire pour effectuer les procédures chimiques. Cela m'a conforté pour continuer. Merci infiniment.

Je me dois de remercier également tous ceux et celles qui ont contribué, de près ou de loin, au bon déroulement de cette thèse.

Table des matières

Liste des abréviations	I
Liste des figures	II
Liste des tableaux	III
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Revue sur les plantes étudiées	5
I.1.1. Famille Asteraceae	5
I.1.1.1. Généralités sur la famille.....	5
I.1.1.1.1. Genre <i>Artemisia</i>	6
I.1.1.1.1.1. Espèce <i>Artemisia arborescens</i>	7
I.1.1.1.2. Genre <i>Dittrichia</i>	9
I.1.1.1.2.1. Espèce <i>Dittrichia viscosa</i>	9
I.1.2. Famille Lamiaceae.....	12
I.1.2.1. Généralités sur la famille.....	12
I.1.2.1.1. Genre <i>Rosmarinus</i>	13
I.1.2.1.2. Espèce <i>Rosmarinus tournefortii</i>	14
I.1.3. Famille Rhamnacea	16
I.1.3.1. Généralité sur la famille	16
I.1.3.1.1. Genre <i>Ziziphus</i>	16
I.1.3.1.2. Espèce <i>Ziziphus lotus</i>	17
I.2. Revue sur le stockage des céréales et l'état des grains.....	19
I.2.1. Stockage	19

I.2.2. Altération des grains stockés	21
I.2.2.1. Facteurs de dégradation des grains stockés	21
a. Causes techniques	22
b. Respiration des grains.....	22
c. Agressions physiques	22
d. Agressions chimiques et biochimiques.....	22
e. Agressions biologiques	22
I.2.3. Principaux insectes ravageurs des grains stockés.....	22
I.2.4. Moyens de lutte contre les insectes des denrées entreposées	25
I.2.4.1. Lutte préventive.....	25
I.2.4.2. Lutte chimique.....	25
I.2.4.3. Lutte biologique	25
I.2.4.3.a. Définition.....	25
I.2.4.3.b. Biopesticides végétaux	26
I.3. Revue bibliographique sur les deux insectes ciblés.....	27
I.3.1. Capucin des grains, <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius, 1792)	27
a- Distribution.....	27
b- Cycle de vie et biologie	27
➤ Œuf.....	28
➤ Larve.....	28
➤ Nymphe	28
➤ Adulte	28
c- Dégâts causés par <i>Rhyzopertha dominica</i>	29
I.3.2. Petit ver de la farine, <i>Tribolium castaneum</i> (Herbst, 1797)	29
a- Distribution.....	29
b- Cycle de vie et biologie	30
➤ Œuf.....	30

➤ Larve.....	30
➤ Nymphe	30
➤ Adulte	30
c- Dégâts causés par <i>Tribolium castaneum</i>	31
I.4. Condition de récolte des plantes médicinales	32
I.4.1. Saison de récolte.....	32
I.4.2. Moment et conditions météorologiques	32
I.4.3. Métabolites secondaires des plantes	32
I.4.3.1. Polyphénols	33
I.4.3.2. Flavonoides	33
I.4.3.3. Tanins	33
I.4.3.4. Saponines.....	34
I.4.3.5. Alcaloïdes.....	34
I.4.3.6. Huiles essentielles	35
I.4.4. Facteurs de variabilité de la composition chimique	35
I.4.5. Rôles des métabolites secondaires.....	35
I.5. Procédés d'extraction	36
I.5.1. Préparation des extraits végétaux	36
I.5.1.a. Infusion	36
I.5.1.b. Macération.....	36
I.5.1.c. Soxhlet.....	37
I.5.1.d. Extraction assistée aux Ultrasons	37
I.5.2. Extraction des huiles essentielles	38
I.5.2.a. Hydrodistillation	38
I.5.2.b. Entraînement à la vapeur	38
I.5.2.c. Expression à froid	38
I.5.2.d. Hydrodistillation assistée par Ultrasons	38

I.5.2.e. Hydrodistillation assistée par micro-ondes	39
---	----

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Matériel biologique végétale	40
II.2. Préparation des poudres	41
II.3. Préparation des extraits bruts	43
II.3.a. Par macération.....	43
II.3.b. Par Ultrasons	45
II.4. Screening phytochimique qualitative des extraits végétaux	47
II.4.1. Caractérisation des alcaloïdes	47
II.4.2. Caractérisation des polyphénols.....	47
II.4.3. Caractérisation des flavonoïdes.....	47
II.4.4. Caractérisation des tanins.....	48
II.4.5. Caractérisation des saponines	48
II.4.6. Caractérisation des quinones libres	48
II.4.7. Caractérisation des terpénoïdes	48
II.4.8. Caractérisation des sucres réducteurs.....	49
II.5. Analyse quantitative des extraits phénoliques.....	49
II.5.1. Dosage des polyphénols totaux.....	49
II.5.2. Dosage des flavonoïdes.....	50
II.6. Extraction des huiles essentielles par hydro-distillation	50
II.7. Caractérisation chromatographique des huiles essentielles.....	51
II.8. Matériel biologique animal	52
II.9. Activité insecticide des extraits bruts et des huiles essentielles	55
II.9.1. Tests insecticides préliminaires.....	55
II.9.2. Effet insecticide des extrait bruts de <i>Z. lotus</i> et de <i>D. viscosa</i>	55

II.9.3. Effet insecticide des huiles essentielles d' <i>A. arborescens</i> et de <i>R. tournefortii</i>	56
II.10. Analyse des résultats	57

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Rendement en huile essentielle	58
III.2. Rendement sec d'extraction	60
III.3. Screening phytochimique qualitative des extraits végétaux.....	64
III.4. Analyse quantitative des extraits phénoliques	66
III.4.1. Dosage des polyphénols totaux.....	67
III.4.2. Dosage des flavonoïdes	71
III.5. Caractérisation chromatographique des huiles essentielles	72
III.6. Effet insecticide des extraits bruts de <i>Z. lotus</i> et de <i>D. viscosa</i> vis-à-vis de <i>T. castaneum</i>	79
III.7. Effet insecticide des extraits bruts de <i>Z. lotus</i> et de <i>D. viscosa</i> vis-à-vis de <i>R. dominica</i> ...	84
III.8. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles d' <i>A. arborescens</i> et de <i>R. tournefortii</i>	92
Conclusion	104
Références bibliographiques	107

Annexes

Résumé

Liste des abréviations

APG IV (2016)	Version la plus récente, intégrant de nouvelles découvertes phylogénétiques.
CCLS	Coopérative des Céréales et des Légumineuses
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
EAG	Équivalent d'Acide Gallique
EAU	Extraction assistée aux Ultrasons
EQ	Équivalent de Quercétine
EM	Extraction par macération
FCI	Folin ciocalteu
HE	Huile essentielle
OAIC	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
UCA	Unions de Coopératives Agricoles

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	<i>Artemisia arborescens</i>	8
Figure 2	<i>Dittrichia viscosa</i>	11
Figure 3	<i>Rosmarinus tournefortii</i>	15
Figure 4	<i>Ziziphus lotus</i>	18
Figure 5	Diagramme des limites de température et d'humidité du grain, causes de bio-détérioration des céréales conservées à long terme	21
Figure 6	Principales espèces d'insectes nuisibles des stocks de céréales (répartis en deux groupes de nuisibilité différente)	23
Figure 7	<i>Rhyzopertha dominica</i>	29
Figure 8	<i>Tribolium castaneum</i> (a) : Face dorsale, (b) : Face ventrale, (c) : Différents stades de développement	31
Figure 9	Carte géographique de la zone de récolte des espèces végétales	41
Figure 10	Parties de plantes utilisées : (a) : <i>Artemisia arborescens</i> , (b) : <i>Dittrichia viscosa</i> , (c) : <i>Rosmarinus tournefortii</i> , (d) : <i>Ziziphus lotus</i>	42
Figure 11	Préparation des poudres	43
Figure 12	Extraction par macération	44
Figure 13	Extraction dans un bain à Ultrasons	45
Figure 14	Protocol d'extraction	46
Figure 15	Courbe d'étalonnage acide gallique ($\mu\text{g/ml}$)	49
Figure 16	Courbe d'étalonnage quercétine ($\mu\text{g/ml}$)	50
Figure 17	Appareil d'extraction des huiles essentielles type Clevenger	51
Figure 18	Grains de blé infestés par <i>Rhyzopertha dominica</i>	53
Figure 19	Dégâts de <i>Tribolium castaneum</i> sur blé	53
Figure 20	Elevage des insectes	54
Figure 21	Lots des tests de contact	56
Figure 22	Réalisation des bio essais (a): Doses préparées, (b): Application de traitement	57
Figure 23	Rendement sec en % des extraits phénoliques obtenus par extraction assistée aux Ultrasons	61

Figure 24	Teneurs des extraits végétaux en polyphénols exprimées en mg EAG/g	67
Figure 25	Teneurs des extraits végétaux en flavonoïdes exprimées en mg EQ/g	71
Figure 26	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> après traitement à l'extrait de <i>Ziziphus lotus</i> par Ultrasons	80
Figure 27	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> après traitement à l'extrait de <i>Ziziphus lotus</i> par macération	80
Figure 28	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> après traitement à l'extrait de <i>Dittrichia viscosa</i> par Ultrasons	82
Figure 29	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> après traitement à l'extrait de <i>Dittrichia viscosa</i> par macération	82
Figure 30	Comparaison de la mortalité corrigée (%) des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> en fonction des doses des extraits de <i>Ziziphus lotus</i> et de <i>Dittrichia viscosa</i> par macération et extraction assistée par Ultrasons (EAU) au 5 ^{ème} jour	83
Figure 31	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> après traitement à l'extrait de <i>Ziziphus lotus</i> par Ultrasons	85
Figure 32	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> après traitement à l'extrait de <i>Ziziphus lotus</i> par macération	85
Figure 33	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> après traitement à l'extrait de <i>Dittrichia viscosa</i> par Ultrasons	87
Figure 34	Taux de mortalité (%) des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> après traitement à l'extrait de <i>Dittrichia viscosa</i> par macération	87
Figure 35	Comparaison de la mortalité corrigée (%) des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> en fonction des doses des extraits de <i>Ziziphus lotus</i> et de <i>Dittrichia viscosa</i> par macération et extraction assistée par Ultrasons (EAU) au 5 ^{ème} jour	88
Figure 36	Taux de mortalité des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> induit par l'huile essentielle d' <i>Artemisia arborescens</i>	93
Figure 37	Taux de mortalité des adultes de <i>Tribolium castaneum</i> induit par l'huile essentielle de <i>Rosmarinus tournefortii</i>	93
Figure 38	Taux de mortalité des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> induit par l'huile essentielle d' <i>Artemisia arborescens</i>	95
Figure 39	Taux de mortalité des adultes de <i>Rhyzopertha dominica</i> induit par l'huile essentielle de <i>Rosmarinus tournefortii</i>	95

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Principaux insectes nuisibles aux céréales stockées	24
Tableau 2	Principaux insectes nuisibles aux céréales stockées	58
Tableau 3	Rendement sec en % des extraits phénoliques obtenus par extraction assistée aux Ultrasons	64
Tableau 4	Composition chimique des huiles essentielles des parties aériennes d' <i>Artemisia arborescens</i> et de <i>Rosmarinus tournefortii</i> récoltées dans la région de Bouira	73
Tableau 5	Concentration létale et valeurs du chi-carré pour les huiles essentielles d' <i>A. arborescens</i> et de <i>R. tournefortii</i>	100

A decorative rectangular frame with a double-line border and ornate, curved corners. The word "Introduction" is centered within this frame.

Introduction

Introduction

Les céréales constituent une composante essentielle de l'alimentation humaine, jouant un rôle clé dans la sécurité alimentaire et l'économie locale en apportant une source importante de nutriments à la population (**Mughal et Fontan Sers, 2020**). La demande croissante en nourriture, liée à l'expansion de la population mondiale, impose une culture des céréales à grande échelle, dont une part importante est destinée au stockage pour répondre aux besoins continus. Cependant, la conservation de ces stocks est souvent compromise par les attaques de ravageurs, entraînant des pertes significatives en quantité, qualité et valeur nutritionnelle des produits (**Upadhyay et Ahmad, 2011 ; Sheetal Banga et al., 2018**). On estime qu'environ un tiers des céréales stockées à l'échelle mondiale subissent des pertes dues à ces ravageurs (**Shafique et al. 2006 ; Opit et al. 2012 ; Murugesan et al., 2021**).

En Algérie, la production céréalière occupe une place importante, mais elle est également confrontée à des problèmes de conservation et de protection contre les organismes nuisibles, exacerbant les pertes post-récolte. Ces pertes représentent un défi majeur pour la sécurité alimentaire, nécessitant le développement de stratégies de gestion intégrée pour préserver les produits et limiter les dommages subis lors du stockage (**Jian, 2019**). Pour répondre à ces défis, l'utilisation des huiles essentielles et des extraits éthanoliques provenant de plantes autochtones se présente comme une solution innovante et prometteuse. Cette approche offre des avantages économiques et environnementaux, en exploitant les propriétés bioactives de ces substances pour lutter contre les ravageurs, tout en réduisant l'impact des méthodes chimiques traditionnelles (**Assadpour et al., 2023**). Grâce à leurs propriétés biologiques, les extraits de plantes médicinales et aromatiques représentent une alternative prometteuse à l'utilisation de produits de synthèse dans la lutte contre les ravageurs. Ces plantes, richement dotées de composés bioactifs, constituent une ressource précieuse pour la préservation et la valorisation du patrimoine floristique algérien. En particulier, les huiles essentielles (HE) sont reconnues pour leurs propriétés insecticides, répulsives et antifongiques, offrant ainsi une solution durable et écologique aux pesticides chimiques (**Akou-Edi, 1983 ; Bell et al., 1998 ; Belmain et al., 2001 ; Regnault-Roger et al., 2002 ; Regnault-Roger et al., 2011**). En complément, les extraits éthanoliques de plantes présentent également un potentiel notable dans le contrôle des insectes nuisibles des céréales stockées. Ces extraits, obtenus par extraction des composés actifs des plantes dans de l'éthanol, contiennent des substances phytochimiques telles que les alcaloïdes, les flavonoïdes et les terpénoïdes, connues pour leurs propriétés insecticides en perturbant les fonctions vitales des insectes (**Koul et al., 2008**). Leur

biodégradabilité, leur faible toxicité pour l'environnement et leur acceptabilité croissante en font des outils privilégiés pour une agriculture respectueuse de l'écosystème (**Huang et al., 2002 ; Isman, 2016**).

Dans ce cadre, explorer les ressources naturelles locales devient essentiel pour identifier des plantes aux propriétés insecticides adaptées à la lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Les huiles essentielles, ainsi que les extraits de plantes, contiennent des composés naturels précieux qui leur confèrent des propriétés insecticides, répulsives et antifongiques. Ces propriétés offrent une alternative prometteuse aux pesticides chimiques tout en favorisant une agriculture respectueuse de l'environnement (**Ni et al., 2021 ; El Khetabi et al., 2022**). Bien que les biopesticides ne représentent actuellement que 5 % du marché mondial des pesticides, leur adoption connaît une croissance rapide, avec un taux annuel moyen de 9 à 20 %, dépassant celui des pesticides chimiques (**Balog et al., 2017 ; Marrone, 2019 ; Kumar et al., 2021 ; Rakshit et al., 2021**).

Cependant, malgré ce développement, les mécanismes d'action des HE et des extraits de plantes restent encore mal compris. Des recherches récentes ont permis de mettre en évidence plusieurs mécanismes insecticides des HE sur les ravageurs ciblés (**Álvarez-Martínez et al., 2021 ; Ni et al., 2021**). En parallèle, des stratégies spécifiques sont proposées pour optimiser leur application dans les programmes de lutte intégrée (**de Oliveira, 2021 ; Cai et al., 2022 ; Tabikha 2022**). Ces avancées témoignent de l'importance des composés secondaires végétaux, non seulement dans le développement et la résistance des plantes face aux stress biotiques et abiotiques, mais aussi dans leur rôle central pour contrôler les ravageurs (**Hassanali et al., 1990 ; Yang et al., 2018 ; Karimi et Meiners, 2021**).

La région de Bouira, en Algérie, se distingue par une riche biodiversité végétale, notamment en plantes médicinales et aromatiques utilisées traditionnellement pour leurs propriétés thérapeutiques. Cette richesse offre une opportunité unique d'explorer des solutions naturelles pour protéger les céréales stockées contre les ravageurs. C'est dans cette perspective que nous avons sélectionné *Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Dittrichia viscosa*, et *Ziziphus lotus*. Ces plantes, reconnues pour leurs propriétés biologiques, sont des candidates prometteuses pour la formulation de biopesticides à base d'huiles essentielles et d'extraits éthanoliques (**Lee et al., 2001 ; Menaceur et al., 2016 ; Idouaaramé et al., 2018 ; Rabie et al., 2019 ; Grauso et al., 2020**).

Bien que leur potentiel soit reconnu, les recherches sur l'efficacité spécifique de ces plantes contre les ravageurs des céréales stockées demeurent encore limitées. A ce jour, aucune étude n'a entrepris d'évaluer simultanément l'action des huiles essentielles d'*A. arborescens* et

de *R. tournefortii*, ainsi que des extraits éthanoliques de *Z. lotus* et *D. viscosa*, contre les redoutables ravageurs *Tribolium castaneum* et *Rhyzopertha dominica*. Cette approche inédite met en lumière l'unicité et l'originalité de notre thématique de recherche. Notre travail se distingue par une démarche intégrée, évaluant simultanément l'action de ces quatre plantes aux modes d'extraction complémentaires — une combinaison, à notre connaissance, encore inexplorée dans la littérature scientifique. Pour *D. viscosa*, seule une étude menée par **Lampiri et al. (2020)** s'est intéressée à son effet sur *R. dominica*. Quant à *A. arborescens*, des études antérieures, comme celles de **Bouzenna et Krichen (2013)** et **Ncibi et al. (2019)**, ont évalué son potentiel contre ces deux insectes.

Les recherches disponibles sur d'autres plantes soutiennent l'intérêt de cette démarche. Par exemple, l'huile essentielle de *Mentha piperita* a montré une activité insecticide marquée contre *T. castaneum* (**Wagan et al., 2022**), tandis que l'extrait éthanolique de *Nicotiana tabacum* a révélé des effets répulsifs et insecticides contre *R. dominica* (**Shaaya et al., 1997**). Par ailleurs, l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* a démontré une activité antifongique contre les champignons pathogènes des denrées stockées (**Sakar et al., 2023**). Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'approfondir les recherches sur les plantes autochtones de la région de Bouira pour lutter efficacement contre les ravageurs des céréales stockées.

Face aux défis croissants posés par les ravageurs des denrées stockées et à la nécessité d'identifier des solutions innovantes et durables, notre étude s'inscrit dans une démarche de valorisation des plantes autochtones de la région de Bouira. Le choix de ce sujet de recherche repose sur plusieurs facteurs. Tout d'abord, il est essentiel de valoriser les ressources naturelles locales, en explorant le potentiel des plantes autochtones de Bouira dans la lutte contre les ravageurs des stocks. La région dispose d'une biodiversité riche, avec des espèces végétales connues pour leurs propriétés médicinales et aromatiques, mais dont le potentiel insecticide reste encore sous-exploité. De plus, compte tenu des préoccupations croissantes concernant l'utilisation excessive de pesticides chimiques et leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé, il est impératif de développer des alternatives respectueuses de l'environnement et durables. Les huiles essentielles et extraits de plantes offrent cette perspective, grâce à leur biodégradabilité, leur faible toxicité, et leur efficacité démontrée contre divers ravageurs. En outre, ces approches s'intègrent parfaitement dans une stratégie de gestion intégrée des nuisibles, visant à réduire l'impact des méthodes conventionnelles.

Enfin, l'identification de composés actifs et de méthodes de lutte efficaces peut contribuer à la préservation des ressources alimentaires et à la sécurité alimentaire à l'échelle nationale et internationale. Ce travail ambitionne de répondre à ces défis tout en valorisant les

connaissances traditionnelles sur les plantes locales et en les intégrant dans des solutions modernes et scientifiquement validées.

Cette étude vise à explorer les propriétés insecticides des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii*, ainsi que celles des extraits éthanoliques de *D. viscosa* et *Z. lotus*, contre deux ravageurs majeurs des céréales stockées, *T. castaneum* et *R. dominica*. En s'appuyant sur les connaissances préalables, elle examine l'efficacité de ces produits naturels dans la lutte contre ces insectes, tout en cherchant à identifier des alternatives durables aux pesticides chimiques. Les résultats attendus devraient non seulement enrichir la compréhension des potentialités des plantes locales, mais également contribuer au développement de stratégies écologiques et efficaces pour la préservation des denrées alimentaires. Afin de mieux cerner cette problématique, ce manuscrit est structuré en trois chapitres principaux. Le premier présente une synthèse bibliographique sur les plantes étudiées, les insectes ciblés et les approches naturelles de lutte. Le second expose le matériel et les méthodes adoptés. Enfin, le troisième chapitre détaille les résultats obtenus et leur discussion. La conclusion de ce travail avec des perspectives envisageables seront évoquées à la fin de ce manuscrit.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

L'utilisation des plantes indigènes dans la préservation des récoltes témoigne d'un savoir ancestral, bien antérieur aux insecticides de synthèse. Ces plantes, précieuses pour leur richesse en saveurs et en propriétés médicinales, font partie intégrante de notre patrimoine naturel et alimentaire. Dans notre quête d'alternatives durables et respectueuses de la santé humaine, les phytopesticides s'imposent par leur faible rémanence et leur mode d'action ciblé contre les ravageurs.

Nous avons ainsi choisi quatre plantes de trois familles distinctes, peu connues en Algérie en dehors de leurs usages traditionnels et qui ont fait l'objet de très peu d'investigations notamment dans le domaine agricole et dans la recherche des alternatives aux produits conventionnels. Ces plantes, souvent ignorées, recèlent un potentiel immense dans le domaine agricole, ouvrant la voie à une agriculture plus respectueuse de l'environnement et de la santé. A travers cette recherche, nous contribuons à révéler la valeur cachée de cette flore méconnue, faisant un pas vers une meilleure reconnaissance de notre patrimoine botanique en faveur de solutions durables et novatrices.

I.1. Revue sur les plantes étudiées

I.1.1. Famille Asteraceae

I.1.1.1. Généralités sur la famille

La famille Asteraceae est parmi les plus grandes familles d'angiospermes appelées aussi Composées (Compositae, nom latin) ou, plus rarement des composacées et c'est également l'une des plus évoluées (**Roland et al., 2008**). Elle compte environ 24 000 espèces regroupées dans 1 600 à 1 700 genres, soit près du 1 /10 des angiospermes (**Funk et al., 2009**), ce qui en fait la deuxième plus grande famille du monde végétal et des plantes à fleurs, derrière les Orchidaceae (25 000 espèces) mais devant les Fabaceae (**Jeffrey, 2007**). En Algérie, seule en petite Kabylie (les Babors), on compte 49 genres et 69 espèces (**Gharzouli, et Djellouli, 2005**). Ce sont des plantes dicotylédones cosmopolites, caractérisées par leurs inflorescences en capitule. Plantes vivaces, annuelles ou bisannuelles, elles sont généralement herbacées ou subligneuses dans les régions tempérées, arbustives ou arborescentes dans les régions tropicales (**Roland et al., 2008**).

Le métabolisme secondaire, l'inflorescence capitulaire et la plasticité écologique sont responsables du succès évolutif de cette famille et de la répartition biogéographique mondiale (sauf l'Antarctique, l'inlandsis du Groenland et l'archipel arctique canadien) (**Sherwin, 1976**),

mais principalement dans les régions tempérées (Cox *et al.*, 2016). Les principaux représentants de cette famille se développent essentiellement dans les régions sujettes à la sécheresse, en dehors de la compétition des arbres des forêts tropicales humides (Cox *et al.*, 2016). La diversité au sein de la famille Asteraceae, le fait certainement l'objet de nombreuses recherches dans de nombreux domaines de la science végétale pure et appliquée. Il est à signaler que jusqu'à 1990 des rapports scientifiques concernant la chimie d'environ 5000 espèces ont mis en évidence plus de 7000 constituants phytochimiques (Zdero et Bohlmann, 1990).

La famille Asteraceae se rencontre dans les régions tempérées (Dupont et Guignard, 2005), les régions sèches, comme le bassin Méditerranéen, l'Afrique australe, le Mexique, le Sud-Ouest des états-Unis et les régions arides d'Amérique du Sud (Botineau, 2010). Les espèces de cette famille peuvent aussi pousser dans les régions froides (Bruneton, 2007).

I.1.1.1.1. Genre *Artemisia*

Artemisia est le genre le plus largement distribué dans la famille des Asteraceae. Il comprend 200 à plus de 400 espèces. Ce sont des herbes ou petits arbrisseaux, fréquemment aromatiques. Plusieurs espèces du genre *Artemisia*, riches en huiles essentielles et en métabolites secondaires, ont une importance médicinale et sont utilisées dans la médecine traditionnelle pour le traitement d'un grand nombre de maladies et plaintes grâce à leur propriétés pharmacologiques : anti-malarique, antivirale, antipyrétique, antihémorragique, anticoagulant, anti-angineux, antioxydant, anti-hépatique, antispasmodique, anti-complémentaire, emménagogue, diurétique, hypoglycémique, fébrifuge, antirhumatismale (Wright, 2002 ; Mirjalili *et al.*, 2007 ; Ahameethunisa et Hopper, 2010 ; El Beyrouthy *et al.*, 2011 ; Erel *et al.*, 2012). De même, en raison de la diversité biologique et chimique des composés phytochimiques présents dans leurs tissus, les espèces d'*Artemisia* trouvent de nombreuses applications dans le traitement des maladies humaines et végétales, ainsi que dans les industries cosmétique, pharmaceutique et agricole (Fabrizio *et al.*, 2016 ; Bianca *et al.*, 2021 ; Nidal *et al.*, 2022 ; Dimitra *et al.*, 2023).

Les espèces du genre *Artemisia* sont réparties à travers l'hémisphère nord. Plus d'une dizaine d'espèces ont été déterminées en Algérie. Certaines sont rares et disséminées en haute montagne, ou cantonnées dans certaines limites. D'autres sont au contraire particulièrement abondantes et répandues sur de grandes étendues. Leur détermination n'est pas délicate, d'autant qu'elles sont, pour la plupart, vivaces et aromatiques (Baba Aissa, 1999).

I.1.1.1.1. Espèce *Artemisia arborescens*

Artemisia arborescens L. appelée aussi chedjret Meriem (**Battandier, 1888**), est un arbuste ligneux, buissonnant et vivace à feuilles persistantes qui sont recouvert des épais tomentum gris et avec une forte odeur (**Costa et al., 2016 ; Fabrizio et al., 2016**). Elle a environ un mètre de haut, avec des multi-branches poilues gris-blanc (**Fig. 1**) et libère des feuilles abondantes divisées en laciniés profondes et linéaires à la surface du sol (3-5 cm de long) de couleur gris-vert (**Militello et al., 2011**). Les fleurs sont petites et nombreuses de couleur jaune assemblées en capitules terminales (**Militello et al., 2011 ; Ornano et al., 2013 ; Costa et al., 2016 ; Fabrizio et al., 2016 ; Nidal et al., 2022**). *A. arborescens* est argenté et glabre dans les parties les plus jeunes (**Militello et al., 2011**). Elle a une saveur âpre et un parfum fort (**Nidal et al., 2022**). Elle se caractérise par une croissance rapide et un potentiel de colonisation élevé (**Fabrizio et al., 2016**). Certains auteurs ont rapporté qu'*A. arborescens* avait été propagé par des envahisseurs maures et des chevaliers templiers au moment des croisades (**Militello et al., 2011**).

A. arborescens est endémique des régions méditerranéennes (**Lai et al., 2006 ; Costa et al., 2016 ; Fabrizio et al., 2016**). On la trouve principalement dans les régions à climats plus secs de l'hémisphère nord, en Asie, en Europe et également dans les régions nord-américaines (**Militello et al., 2011 ; Militello et al., 2012 ; Dimitra et al., 2023**). *A. arborescens* poussant couramment le long des côtes, sur des rochers calcaires ou à proximité de vieux murs (**Ornano et al., 2013 ; Costa et al., 2016**).

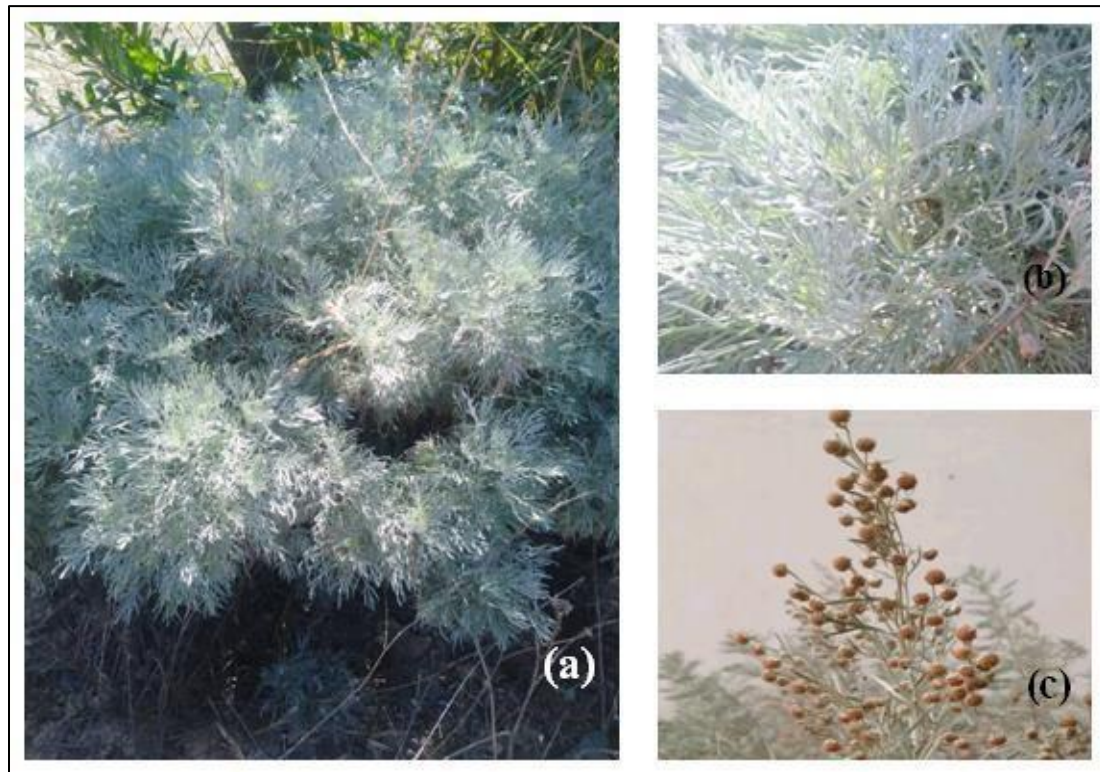


Figure 1 : *Artemisia arborescens*

(www.temperate.theferns.info)

Le genre *Artemisia* comprend plus de 200 espèces, dont certaines (*A. arborescens*, *A. absinthium*, *A. herba-alba*, *A. annua* et *A. vulgaris*), sont traditionnellement utilisées comme médicaments, assaisonnements ou ingrédients de base pour la fabrication de liqueurs, ont fait l'objet de nombreuses études concernant leurs caractéristiques phytochimiques (Militello *et al.*, 2011). L'Armoise arborescente joue un rôle important en médecine traditionnelle, grâce à ses propriétés antivirales, antimicrobiennes, antipaludiques et insecticides (Fabrizio *et al.*, 2016). Les feuilles d'*A. arborescens* sont utilisées pour le traitement des maux de tête, de l'urticaire, des névralgies, douleurs rhumatismales et pour plusieurs maladies pulmonaires (Dimitra *et al.*, 2023). Elle a récemment été fréquemment utilisé pour traiter de nombreuses maladies, telles que le cancer, le paludisme, l'hépatite, les infections virales et bactériennes (Nidal *et al.*, 2022 ; Dimitra *et al.*, 2023).

En agriculture, les composés chimiques d'*A. arborescens* peuvent induire une toxicité pour les hexapodes par inhalation ou par contact direct en formant un film imperméable sur la cuticule conduisant à l'étouffement (Bianca *et al.*, 2021). La position systématique de l'armoise selon la classification phylogénétique APG IV (2016) est comme suit :

- **Règne :** Plantae
- **Phylum :** Tracheophyta
- **Classe :** Equisetopsida
- **Ordre :** Asterales
- **Famille :** Asteraceae
- **Genre :** *Artemisia*
- **Espèce :** *Artemisia arborescens* (L.)

I.1.1.1.2. Genre *Dittrichia*

Le genre *Dittrichia* appartient à la famille des Astéracées. Le mot « Aster » du grec signifie étoile, en relation avec la forme de la fleur. Ce genre est présent essentiellement dans tout le pourtour méditerranéen, en Europe (Espagne, France...etc) et Afrique du Nord (Egypte, Algérie, Maroc...) et en Asie (Chine, Turquie, Japon, Corée...) (**Paquet, 2014 ; Al-Masri et al., 2015**). Ce genre occupe les sols salés, les prairies humides et les bords de cours d'eau (**Sbahi, 2017**). Selon les données de la littérature, il est bien défini et homogène dans sa circonscription proposée et montre des relations étroites avec le genre *Inula* à partir duquel il diffère de quelques caractéristiques concernant les akènes et les poils du pappus (**Brullo et De Marco, 2000**). En particulier, le genre *Dittrichia* possède des akènes cylindriques brusquement contractés sous le pappus, tandis que les poils du pappus sont connés près de la base, alors qu'*Inula* est caractérisé par des akènes inclinés et non brusquement contractés sous le pappus et par des poils du pappus simple et libre. Le genre *Dittrichia* sont des plantes à feuilles alternes, fleurs généralement jaunes. Les fleurs centrales sont tubulaires, celles de la périphérie ligulée. Les bractées de l'involucre sont disposées sur plusieurs rangs inégaux. Les anthères sont prolongées inférieurement par deux appendices filiformes. Le fruit est surmonté d'une aigrette de soies disposées sur un seul rang, il est étranglé puis élargi au sommet (**Paquet, 2014 ; Al-Masri et al., 2015**).

I.1.1.1.2.1. Espèce *Dittrichia viscosa*

Dittrichia viscosa L. (False Yellowhead), connue localement en arabe sous le nom de Maghramane est une plante pérenne dont l'ancien nom du genre (*Inula*) au quelle appartenait l'espèce viendrait du grec : Inéoqui signifie-je purge (allusion à une propriété thérapeutique de la plante) et *viscosa* veut dire visqueuse, d'où vient le nom « Aunée visqueuse » (**Merghoub et al., 2011 ; Deghdek et Zaitar, 2014**). C'est une espèce de plante herbacée vivace appartenant à la famille des Astéracées (plante à fleurs) ; c'est

une espèce végétale commune dans les régions arides et méditerranéennes en raison de sa grande adaptabilité aux conditions environnementales défavorables (**Parolin et al., 2013 ; Catello et al., 2023**). *D. viscosa* est classée parmi les chamaephytes à base ligneuse. Les racines de cette plante peuvent être assez importantes, même chez les petites plantes. Les branches sont nombreuses, étalées et irrégulièrement inclinées. Les jeunes tiges et feuilles sont couvertes de poils glandulaires qui dégagent une huile collante et odorante (**Parolin et al., 2013**). L'Inule visqueuse est bien connue pour sa forte odeur. La forme des feuilles pubescentes est allongée, les bordures sont dentelées à denticulées. Les feuilles matures atteignent une taille moyenne de 7 x 1,8 cm (**Parolin et al., 2013**). Les feuilles supérieures sont clairement enserrées par leur base. Elles sont proches et sous la fleur. Les feuilles sont collantes, d'où le nom « viscosse ». Elles possèdent de longs poils protecteurs, de nombreux poils glandulaires et des complexes stomatiques sur les surfaces abaxiale et adaxiale. La densité des poils glandulaires est en moyenne de 14 cheveux/mm² sur la surface abaxiale des feuilles et de 11 cheveux/mm² sur la surface adaxiale. Ils ont des structures complexes et sécrètent tout au long de la vie de la feuille des lipides, des polysaccharides et des protéines (**Parolin et al., 2013**). Les capitules jaunes (=fleurs) sont nombreux et regroupés en grappe composite. *D. viscosa* possède de longues inflorescences, et la corolle de ses fleurs jaunes mesure 2 cm de diamètre, les ligules dépassent nettement l'involucre (**Fig. 2**). Le fruit mesure 2 mm de long. *D. viscosa* commence à germer fin mars ou avril (début du printemps européen). La croissance principale est terminée en mai et l'accumulation d'amidon dans toute la plante se termine en juin. Il y a une période de croissance secondaire en octobre/novembre et les feuilles tombent en décembre (hiver) (**Parolin et al., 2013**). Fin juillet, les boutons floraux sont présents. A partir de septembre, la floraison et la fructification ont lieu. La floraison prolongée dure une longue période, vers la fin de la saison chaude, d'août à octobre. Les fruits mûrissent en octobre et novembre et sont dispersés par le vent (**Parolin et al., 2013**).



Figure 2 : *Dittrichia viscosa*

(www.preservons-la-nature.fr)

D'après la classification phylogénétique APG IV (2016), la position systématique de l'Inule visqueuse est comme suit :

- **Règne :** Végétal
- **Embranchement :** Spermaphytes
- **Sous-embranchement :** Angiospermes
- **Classe :** Dicotyledones
- **Sous-classe :** Gamopetales
- **Ordre :** Campunulales
- **Famille :** Asteraceae ou Composeae
- **Genre :** *Dittrichia*
- **Espèce :** *Dittrichia viscosa* (L) Greuter

I.1.2. Famille Lamiaceae

I.1.2.1. Généralités sur la famille

Les Lamiaceae ou Labiatae est une famille importante appartenant aux angiospermes dicotylédones. Ce sont des arbustes, sous arbrisseaux ou plantes herbacées comprennent dans le monde 258 genres et 6970 espèces (**Hennebelle, 2006**). Elles se répartissent sur tout le globe, mais principalement du bassin méditerranéen à l'Asie centrale (**Naghbi et al., 2005**).

Dans la flore de l'Algérie, les Lamiaceae sont représentées par 28 genres et 146 espèces, certains genres sont de détermination délicate en raison de la variabilité extrême des espèces (**Quezel et Santa, 1962**).

Les feuilles sont en général opposées sans stipules, les fleurs sont bisexuées et zygomorphe, les inflorescences sont en cymes axillaires plus ou moins contractées simulant souvent des verticilles, ou encore condensées aux sommets des tiges, et simulant des épis. Le calice est synsépale ou gamosépale (calice à sépales soudés formant un tube), typiquement pentamères, parfois bilabiée et porte 5 à 15 nervures protubérantes. La corolle est sympétale ou gamopétale (corolle à pétales soudés) et typiquement bilabiée avec deux lobes formant une lèvre supérieure, et trois lobes formant la lèvre inférieure. L'androcée peut consister soit en quatre étamines didynames, soit en deux étamines soudées au tube de la corolle ou à la zone périgyne et alternant avec les lobes. Le gynécée consiste en un ovaire avec une fausse cloison et style terminal à gynobasique (style inséré à la base du carpelle) ; à l'extrémité des styles, les stigmates sont petits et peu apparents (**Quezel et Santa, 1962 ; Hennebelle, 2006**).

Les fleurs à deux lèvres, en glomérules verticillés ou en épi sur des tiges feuillées quadrangulaires, parfois fleurs solitaires, fleurs hermaphrodites, généralement zygomorphes, 5 sépales généralement soudés, calice actinomorphe à zygomorphes plus ou moins tubuleux, campanulées ou rotacé, persistant, parfois accrescent dans le fruit (**Judd et al., 2002**).

Cette famille comporte de nombreuses plantes exploitées pour les essences ou cultivées pour l'ornementation et la plupart de ces espèces sont aussi bien utilisées dans la médecine traditionnelle que dans la médecine moderne (**Judd et al., 2002**).

La famille renferme de nombreuses espèces économiquement importantes soit par leurs huiles essentielles, soit pour leur usage condimentaires. Elles appartiennent essentiellement aux genres *Mentha*, *Lavandula*, *Marrubium*, *Nepeta*, *Salvia* et *Thymus*. Les tubercules de quelques espèces de *Stachys* sont comestibles. De nombreux genres comprennent des espèces ornementales comme *Ajuga*, *Callicarpa*, *Clerodendrum*, *Plectranthus*, *Monarda* et *Vitex* (**Judd et al., 2002**).

La famille des Lamiacées contient une très large gamme de composés comme les terpénoïdes, les iridoïdes, les polyphénols, les flavonoïdes, les huiles essentielles et plus précisément les courtes chaînes des terpénoïdes qui sont responsables de l'odeur et la saveur caractéristique des Lamiacées (**Naghbi et al., 2005**). Près de 40 % des espèces de la famille des Lamiaceae sont censées contenir des composés qui possèdent des propriétés aromatiques, la plupart des études se sont concentrées sur leurs composants d'huile essentielle (**Veres, 2007**). Les acides phénoliques, l'acide caféique et l'acide rosmarinique, sont des constituants courants de la famille des Lamiaceae. L'acide caféique joue un rôle central dans la biochimie de cette famille (**Kiokias et al., 2020**). L'acide rosmarinique est un excellent marqueur chimiotaxonomique, présent dans la sous-famille Népétioideae, mais absent dans la sous-famille Lamioideae (**Azhar et al., 2023**).

I.1.2.1.1. Genre *Rosmarinus*

Le nom latin *Rosmarinus* est habituellement interprété, comme dérivé "ros" de la rosée et "marinus" d'appartenir à la mer, bien qu'elle se développe habituellement loin de la mer. On a affirmé que cette interprétation est un produit d'étymologie traditionnelle, mais probablement le nom original est dérivé du grec "rhops" arbuste et "myron" baume (**Heinrich et al., 2006**).

Le genre *Rosmarinus* ne comprend que trois espèces d'arbustes ligneux indigènes à la région méditerranéenne (**Upson, 2000; Harley et al., 2004**), il s'agit de *Rosmarinus officinalis* Linné, de loin l'espèce la plus importante et connue, largement cultivée depuis l'antiquité comme une plante herbacée et de jardin, de *Rosmarinus tournefortii* de Noé et de *Rosmarinus tomentosus* Huber-Morath Maire, morphologiquement très proches, considérés comme moins aromatiques que *R. officinalis* et d'introduction plus récente en culture (**Bärtels, 1997**). Certaines de ces espèces ont déjà fait l'objet d'études, c'est le cas notamment de *R. officinalis*, le *R. tournefortii* quant à lui est très peu étudié (**Fadel et al., 2011**).

Le genre *Rosmarinus*, du latin signifiant « rose de la mer », se présente sous forme d'un arbuste ou sous arbrisseaux ligneux très odorant touffu, xérophyte, fortement rameux toujours vert, à racine pivotante et à tiges ligneuses, généralement érigées. Feuilles linéaires à marge révoluée, gaufrées, verdâtres en dessus avec corolle bleu pâle ou blanchâtre à 2 lèvres, la supérieure entière ou à peine émarginée pas plus longue que l'inférieure, cette dernière est trilobée (**Quezel et Santa, 1963**).

I.1.2.1.2. Espèce *Rosmarinus tournefortii*

Dénoté également *R. eriocalyx* Jord. & Fourr et dont l'épithète signifie calices laineux, se réfère à la frappante couverture de poils dense. *R. tournefortii*, appartenant à la famille des Lamiacées, est un arbuste aromatique, appelé localement « Iklil El-Djabel » a la même odeur que le romarin (Menaceur et Hazzit, 2014 ; Bouzid *et al.*, 2015 ; Nacer *et al.*, 2022). Il se caractérise principalement par des tiges glabres, les feuilles sont linéaires, révolutes, devenant souvent semi-cylindriques chez les plantes stressées par la sécheresse (Menaceur *et al.*, 2016). Ce sont des feuilles petites (5 à 15 mm de long et moins de 2 mm de large) avec des pédoncules floraux à poils denses (Fig. 3). En effet, cette espèce se distingue par une inflorescence et calice à pilosité dressés glanduleux au sommet. Inflorescences plus longues que chez *R. officinalis*, à bractées amples cordiformes, longues de 3-4 mm. Les fleurs sont bleues, axillées par des bractées persistantes cordées. Les étamines sont proéminentes et le calice est grand, grisâtre et étoilé (Quezel et Santa, 1963). Cette espèce est également connue pour avoir une croissance lente avec des hauteurs généralement de 25 cm et qui n'excèdent jamais 1m donnant ainsi à la plante un aspect prostré.

R. tournefortii est répandu en Afrique du Nord et au sud de l'Espagne où il est considéré comme endémique poussant dans la steppe aride algérienne (Arnold *et al.*, 1997 ; Bouzid *et al.*, 2015 ; Benbelaïd *et al.*, 2016 ; Outaleb *et al.*, 2020). En Algérie les différentes espèces de romarin s'étalent sur une superficie excédant 100000 hectares (Bensebia *et al.*, 2009) sur la bande littorale et hauts plateaux et est dénoté généralement "Klil" ou "M'zir" dans les régions Berbérophones. Le *R. tournefortii* semble être plus rare dans les régions littorales et Atlas Tellien Algérois et Oranais, ainsi que dans les hauts plateaux centre et ouest (Quezel et Santa, 1963). Il se rencontre dans les forêts, garrigues et matorrals des plaines, basses et moyennes montagnes, sur substrat calcaire (Ziani *et al.*, 2023).

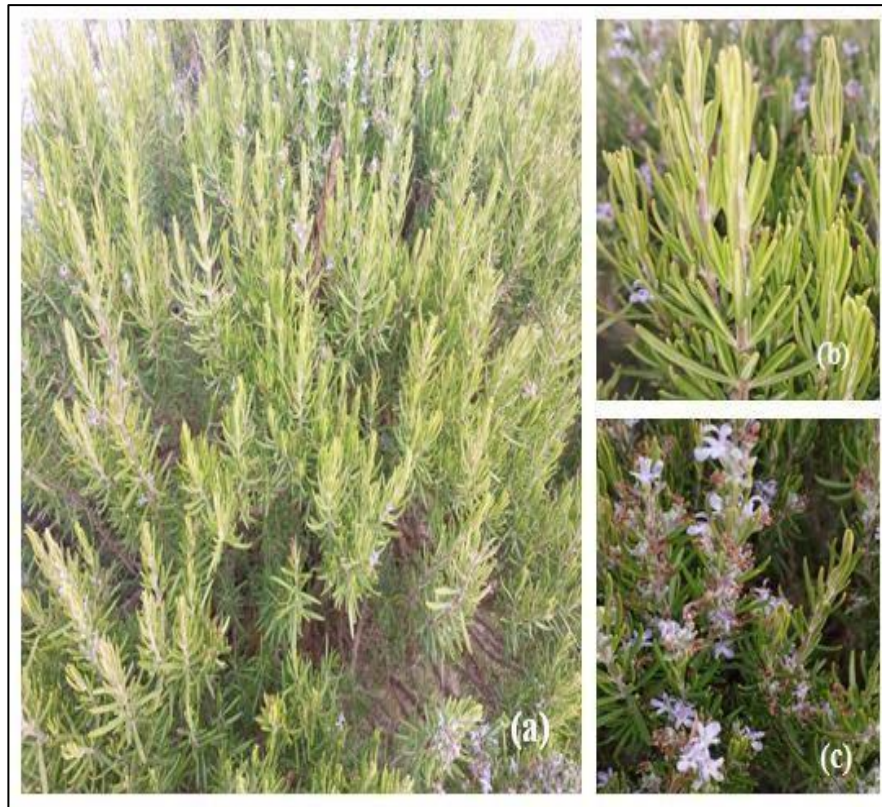


Figure 3 : *Rosmarinus tournefortii*

(www.florealpes.com/)

Le romarin est l'une des plantes thérapeutiques les plus utilisées dans le monde pour la production d'huiles essentielles (estimée entre 150 et 200 tonnes/an) en raison de ses propriétés pharmacologiques (**Ziani et al., 2023**). Dans la médecine populaire, les feuilles de cette plante étaient largement utilisées en décoction pour leurs propriétés antiseptiques, antispasmodiques, stimulantes, stomacales et toniques. Cet arbuste a été utilisé comme patrimoine culturel par les peuples d'Afrique du Nord comme compléments alimentaires pour donner de l'arôme et de la saveur aux aliments (**Bouziid et al., 2015**). L'huile essentielle de romarin est également utilisée comme agent antibactérien, antifongique et anticancéreux (**Beneddouché et al., 2011**).

La taxonomie du romarin de tournefort d'après la classification phylogénétique APG IV (2016) est comme suit :

- **Règne :** Plantae
- **Division :** Magnoliophyta
- **Classe :** Magnoliopsida
- **Ordre :** Lamiales
- **Famille :** Lamiaceae
- **Genre :** *Rosmarinus*
- **Espèce :** *Rosmarinus tournefortii* Jord. & Fourr. 1866

I.1.3. Famille Rhamnaceae

I.1.3.1. Généralité sur la famille

La famille des Rhamnacées est une famille des plantes dicotylédones qui comprend 900 espèces auprès de 58 genres. Ce sont des arbres, des arbustes, des lianes ou des plantes herbacées (Waston et Dallwitz, 1992 ; Punt *et al.*, 2003). Les Rhamnacées sont plus particulièrement présentes dans les régions tropicales et subtropicales (Liu & Cheng, 1994).

I.1.3.1.1. Genre *Ziziphus*

Le mot *Ziziphus* vient du grec *Zizyphos* mais le mot n'apparaît qu'au deuxième siècle, et qui est dérivé du nom arabe « zizouf » qui est le nom du fruit. Environ 100 espèces principalement dans les régions tropicales et subtropicales de l'Asie et des Amériques existent, tandis que quelques espèces vivent en Afrique et dans les régions tempérées (Bonnet, 2001). Les espèces de *Ziziphus* ont plusieurs caractéristiques physiologiques et morphologiques qui peuvent contribuer à leurs capacités à s'adapter aux environnements arides.

Le genre *Ziziphus* regroupe plusieurs espèces qui sont de petits arbres ou arbustes, souvent pourvus d'épines, isolés ou groupés par deux, les feuilles sont petites, ovales, alternes, dentées ou non, glabres ou velues (Evreinoff, 1964). Certaines espèces poussent spontanément et d'autres sont cultivés comme dans la Chine, l'Inde et le Pakistan.

Il existe plusieurs appellations du *Ziziphus* selon la région où il pousse : en Chine il est appelé « Tsao » ; en Inde : Analo ou Anap ; dans l'Asie Centrale ; « Annab ou Ounabi » ; en Extrême-Orient : « Bes » ; les peuples arabes le nomment : Nabeg ; et dans la région méditerranéenne, il est appelé « Jujubier » (Evreinoff, 1964).

Le genre *Ziziphus* est connu par sa résistance à la sécheresse. Il pousse dans la région de la méditerranée allant de la Libye jusqu'au Maroc et dans le Sud européen comme l'Espagne,

la Grèce et la Sicile (**Bakhtaoui et al., 2014**). Il existe environ 122 espèces de ce genre (**Benammar, 2011**) dont six sont natifs du Pakistan (**Kaleem et al., 2014**).

I.1.3.1.2. Espèce *Ziziphus lotus*

Ziziphus lotus communément appelés « Sedra » ou « Sidr » est une plante dicotylédone, appartient à la famille des Rhamnacées, qui comprend environ 550 espèces du genre *Rhamnus* (**Letaief et al., 2021**). C'est un arbuste très ramifié épineux (**Fig. 4**) à grandes souches souterraines de 1,3 m à 2,2 m (**Hamel et al., 2019**). La tige de cette plante est recourbée vers le bas et très ramifiée, elle forme des touffes de quelques mètres de diamètre et de 2 à 5 m de hauteur. Ses tiges épineuses possèdent de petites feuilles caduques et des fruits savoureux (**Letaief et al., 2021**), les branches grisâtres, à épines par paires droites ou recourbés (**Hamel et al., 2019**). Les fleurs sont solitaires ou groupées avec un seul pédicelle court, à calice en forme d'entonnoir. Les feuilles sont caduques, vertes brillantes d'environ 5 cm de long. Chaque feuille porte à sa base deux stipules transformées en épines. Les fruits sont des drupes petites et rondes, très vite sèches, riches en sucre (**Hamel et al., 2019**). Le jujubier est un arbrisseau qui croît lentement et qui commence à avoir des fruits vers l'âge de 4 ans. Ces fruits peuvent continuer à paraître vers 20 à 25 ans (**Benammar, 2011**).

Z. lotus est espèce que l'on trouve dans de nombreux habitats des régions arides et semi-arides de la région méditerranéenne, de la Libye au Maroc, de l'Algérie aux pays sud de l'Europe tels que l'Espagne, l'Italie, la Grèce et Chypre (**Benammar et al., 2010 ; Zerrouk et al., 2018**). Il peut être rencontré dans des zones désertiques avec des prélèvements très faibles et dans des zones à différences climatiques marquées (entre 150 et 1000 mm de pluviométrie) (**Hamel et al., 2019**). Le jujubier est connu pour sa tolérance à la sécheresse et sa grande résistance à la chaleur avec une température comprise entre 20 et 35°C. Il supporte tous les types de sols, mais préfère les sols sableux profonds, bien drainés, au pH neutre ou légèrement alcalin (**Amara et Benabdeli, 2020**). *Z. lotus* dormant d'octobre à mars et ses fruits sont récoltés durant l'été (**Letaief et al., 2021**).



Figure 4 : *Ziziphus lotus*

(www.plants.nature4stock.com)

D'après la classification phylogénétique APG IV (2016), le jujubier répond à la systématique suivante :

- **Règne :** Végétal
- **Embranchement :** Magnoliophyta (Phanérogames)
- **Sous-embranchement :** Magnoliophytina (Angiospermes)
- **Classe :** Magnoliopsida (Dicotylédones)
- **Sous-classe :** Rosidae
- **Ordre :** Rhamnales
- **Famille :** Rhamnacea
- **Tribu :** Ziziphae
- **Genre :** *Ziziphus*
- **Espèce :** *Ziziphus lotus* (L.) Lam., 1789

I.2. Revue sur le stockage des céréales et l'état des grains

I.2.1. Stockage

L'opération du stockage consiste à entreposer les produits agricoles en un lieu déterminé et pour une période donnée (**Panisset *et al.*, 2003**). Elle consiste à mettre les céréales dans des silos ou autres, dans de bonnes conditions suivant les normes et les règles de conservation. Certains silos ne sont pas à l'abri des ravageurs et la conservation prolongée conduit à l'apparition des ravageurs nuisibles, en particulier les insectes, causant des pertes dans les stocks du blé (**Sinha et Watters 1985**).

Selon **Imura (1991)**, le stockage est considéré comme étant un des maillons d'une ou des filières céréalières dont la fonction de base est la régulation de l'offre d'un produit, dans le temps et dans l'espace, par rapport à une demande relativement constante. **Khare (1990)**, précise que le blé est soumis à des contraintes dues à de nombreux facteurs entraînant des pertes au niveau des stocks sur le plan quantitatif et qualitatif.

Actuellement en Algérie, la collecte, le conditionnement, le stockage, la distribution et la commercialisation des céréales sont assurés principalement par l'office interprofessionnel des céréales qui rayonne sur tout le territoire national algérien à travers 42 coopératives de céréales et de légumes secs, appelées (CCLS) et 5 unions de coopératives agricoles (UCA) (**Ammar, 2014**). Ces dernières sont chargées de réceptionner les produits céréaliers à partir de l'importation, de les stocker et de les distribuer aux différents utilisateurs.

D'après **Ammar (2014)**, l'Algérie a une capacité de stockage dans son hinterland qui avoisine les 2 millions de tonnes, ces capacités gérées par l'OAIC sont réparties sur 3 régions de desserte à savoir :

- la Région Est avec 15 CCLS dont la capacité de stockage dépasse les 0,92 millions de tonnes.
- la Région Ouest bénéficie également d'une capacité de stockage importante soit près de 0,8 millions de tonnes réparties sur une desserte de 19 CCLS.
- la Région Centre détient une capacité de stockage de 0,29 millions de tonnes réparties sur 8 CCLS.

Concernant la nature des infrastructures, l'OAIC via les CCLS gère environ 600 infrastructures dédiées au stockage des grains de céréales importés ou issus de la production locale. Pour accomplir à bien cette mission de stockage, ces infrastructures sont implantées sur l'ensemble de territoire national. Les 600 infrastructures sont réparties selon leur type comme suit :

- 200 silos dans l'hinterland dont environ 110 silos en béton et 90 silos métalliques.
- Les hangars et les magasins à fond plat au nombre de 400.

Ces infrastructures de stockage ont été réalisées dans les années 70 et 80, leur état aujourd'hui nous semble un peu ancien, néanmoins la quasi-totalité des structures ont subi une opération de rénovation, ce qui maintient leur état opérationnel.

Au total, l'OAIC possède une capacité de stockage portuaire et dans l'hinterland qui atteint 2,48 millions de tonnes pour répondre à un besoin de stockage annuel qui couvre les grains de céréales importés et ceux de la production nationale. De ce fait, pour que les capacités de stockage répondent au mieux aux besoins d'importations la durée de stockage doit être très courte et le degré de rotation de stock soit important à la fois au niveau de l'hinterland et au niveau portuaire (**Ammar, 2014**).

Pour assurer un approvisionnement régulier en blé aux consommateurs, le stockage est devenu une nécessité et le seul moyen de régulation du marché durant toutes les saisons. Mais, malheureusement au cours du stockage, ce produit céréalier est le plus souvent soumis à des attaques par des rongeurs, des champignons, des acariens et des insectes. L'infestation des stocks par les insectes est de plus en plus préoccupante pour les stockages de longue durée et est considérée parmi les principaux dangers biologiques qui menacent la qualité sanitaire des grains après la récolte (**Fleurat-Lessard, 2018**). Les pertes les plus importantes sont infligées par différentes espèces de Coléoptères et de Lépidoptères (**Delobel et Tran, 1993 ; Fleurat-Lessard, 1994**).

La présence de ces ravageurs au niveau des unités de stockage peut causer une détérioration du grain et par conséquent des pertes sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif (**Guèye et al., 2011 ; Fourar-Belaifa et Fleurat-Lessard, 2015**).

En effet, les pertes causées par les ravageurs des céréales stockées à l'échelle mondiale sont estimées à plus de 100 millions de tonnes dont 13 millions sont dus aux insectes. En Afrique, ces pertes se chiffrent à 30 % par contre, elles restent très faibles dans les pays développés, dont elles avoisinent les 3 % (**Guèye et al., 2011**).

En Algérie, les pertes du blé en post-récolte dues aux insectes sont estimées entre 10 à 12 % dans les unités de stockage (**Karahaçane, 2015**). La conservation des céréales en silo n'est jamais à l'abri des attaques d'insectes en conditions de climat tempéré (**Fig. 5**).

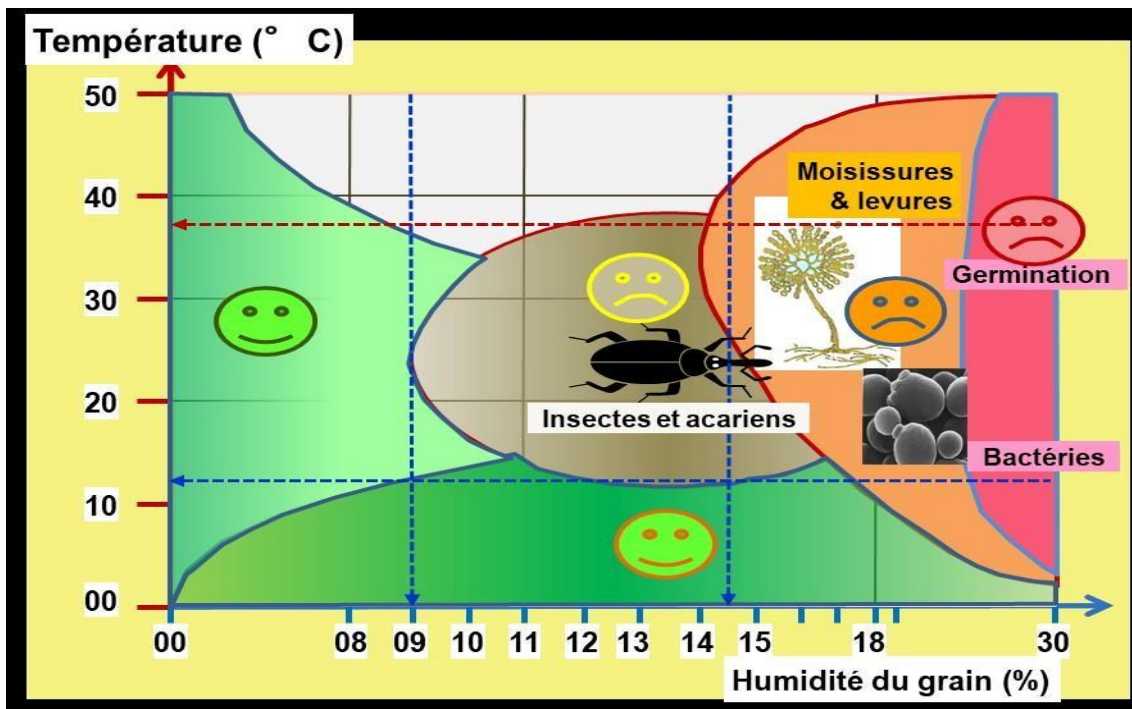


Figure 5 : Diagramme des limites de température et d'humidité du grain, causes de biodétérioration des céréales conservées à long terme (Fleurat-Lessard, 2018)

I.2.2. Altération des grains stockés

Les grains sont des produits vivants qui connaissent un processus de vieillissement physiologique pendant leur période de stockage, ce qui peut entraîner une diminution de leur qualité initiale en raison d'une détérioration des caractéristiques technologiques, sanitaires et alimentaires. L'eau et la chaleur accélèrent l'altération et la dégradation de l'état du grain au fil du temps, ce qui peut être causé par un agent biologique ou des microorganismes (Nesci *et al.*, 2011), chimique par la dégradation de l'amidon, les mycotoxines et les déjections d'insectes (St-Pierre *et al.*, 2014) ou physique par la température et l'humidité (Paraginski *et al.*, 2014). Ainsi, cela aura un impact sur le consommateur et la santé publique, ainsi que sur le produit, en modifiant sa valeur économique.

I.2.2.1. Facteurs de dégradation des grains stockés

En général, les céréales en stockage sont vulnérables à divers facteurs d'agression qui peuvent être résumés en 5 facteurs :

a. Causes techniques : Lors du stockage, il est essentiel que les grains soient propres, exempts d'impuretés (poussières, farines et pailles) et intacts, car les grains brisés sont plus susceptibles d'être attaqués par les moisissures et les insectes. Il est également nécessaire d'ajuster et d'optimiser les structures de stockage et les emballages en fonction des conditions de stockage (Cruz et Diop, 1989).

b. Respiration des grains : La dégradation de l'amidon, en présence de l'oxygène génère du gaz carbonique, de la vapeur d'eau et de la chaleur (Cruz et Diop, 1989).

c. Agressions physiques : Selon Cruz et Diop (1989), la température et l'humidité entraînent une accélération de la respiration, ce qui entraîne une dégradation des grains.

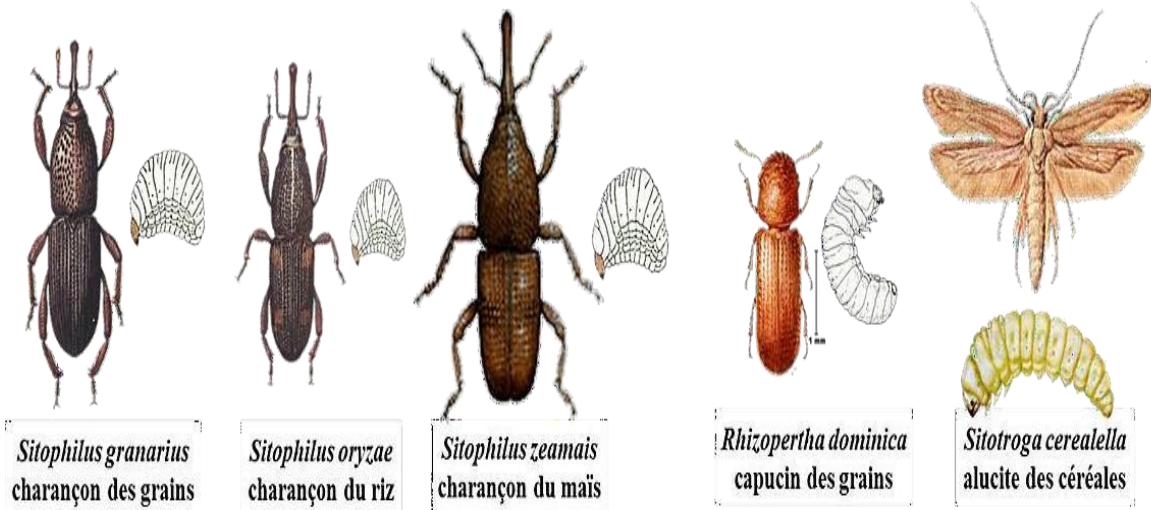
d. Agressions chimiques et biochimiques : Les métaux lourds, les résidus d'insecticides et les dioxines sont présents (Banga *et al.*, 2018).

e. Agressions biologiques : Le facteur d'altération le plus sérieux est constitué par les microorganismes, les moisissures, les insectes, les acariens, les rongeurs et les oiseaux (Banga *et al.*, 2018). Les insectes provoquent des pertes considérables en quantité et causent les dommages les plus importants. Les déjections, les souillures ou les sécrétions de ces agents dégradants (toxines, enzymes) altèrent également la valeur des grains infestés, car leur accumulation accélère la dégradation et impacte la qualité des denrées stockées (Banga *et al.*, 2018).

I.2.3. Principaux insectes ravageurs des grains stockés

Les nombreuses espèces d'insectes qui infestent les grains stockés ont des caractéristiques physiologiques et morphologiques qui leur permettent de vivre, se déplacer et se reproduire dans la masse des grains. Les espèces les plus nuisibles, celles qui sont capables d'attaquer les grains sains et dont les stades larvaires vivent cachés à l'intérieur des grains, sont considérées comme des « ravageurs primaires ». Les masses de grains stockés sont souvent colonisées par un 2^{ème} groupe d'espèces qualifiées de « ravageurs secondaires » (Fleurat-Lessard, 2018). On y trouve plusieurs espèces de coléoptères à tous les stades de développement et quelques chenilles de lépidoptères. La **figure 6** et le **tableau 1** représentent les principaux insectes nuisibles des grains entreposés.

Ravageurs « primaires » se développant à l'intérieur du grain avant l'émergence au stade adulte



Sitophilus granarius
charançon des grains

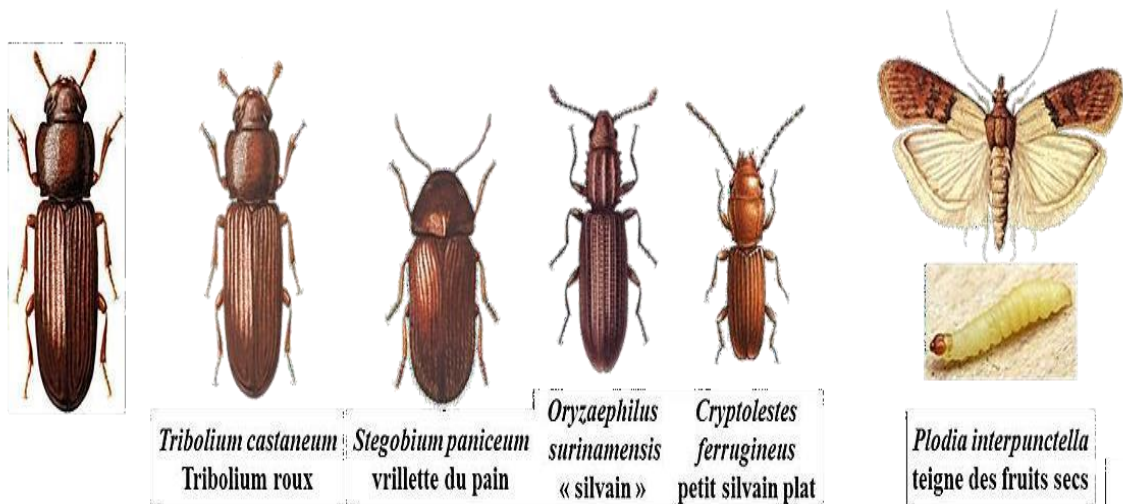
Sitophilus oryzae
charançon du riz

Sitophilus zeamais
charançon du maïs

Rhizopertha dominica
capucin des grains

Sitotroga cerealella
alucite des céréales

Espèces secondaires qui grignotent les grains à l'extérieur (au stade d'adulte et de larve)



Tribolium castaneum
Tribolium roux

Stegobium paniceum
vrillette du pain

Oryzaephilus surinamensis
« silvain »

Cryptolestes ferrugineus
petit silvain plat

Plodia interpunctella
teigne des fruits secs

Figure 6 : Principales espèces d'insectes nuisibles des stocks de céréales (répartis en deux groupes de nuisibilité différente) (Fleurat-Lessard, 2018)

Tableau 1 : Principaux insectes nuisibles aux céréales stockées (Diaz-Montano *et al.*, 2014)

	Ordre	Familles	Espèces	Noms communs	Milieus hôtes principaux
Ravageurs primaires	Coléoptères	Curculionidae	<i>Sitophilus granarius</i>	Charançon des grains	Bt, Bd, Orge, Seigle
			<i>Sitophilus oryzae</i>	Charançon du riz	Bt, Bd, Orge, Seigle, Riz
	<i>Sitophilus zeamais</i>		Charançon du maïs	Bt, Bd, Orge, Seigle, Maïs	
	Lépidoptères	Bostrichidae	<i>Rhyzopertha dominica</i>	Capucin des grains	Bt, Bd, Orge, Seigle, Maïs
		Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i>	Alucite des céréales	Bt, Bd, Orge, Maïs, Sorgo, Maïs brisé
	Pyralidae	Pyralidae	<i>Ephestia kuehniella</i>	Teigne de la farine	Grains brisés, farine, semoule
<i>Pyralis farinalis</i>			Pyrale de la farine	Farine, Semoule	
Ravageurs secondaires	Coléoptères	Silvanidae	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	Silvain	Bt, Orge, Seigle
		Cucujidae	<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	Petit ver des grains	Bt, Bd, Orge, Maïs
		Tenebrionidae	<i>Tribolium castaneum</i> <i>Tribolium confusum</i>	Petit ver de la farine Ver de la farine	Bt, Orge Bt, Orge
		Dermestidae	<i>Trogoderma granarium</i>	Dermeste des grains	Bd, Orge, Sorgo
	Psocoptères	Liposcelididae	<i>Liposcelis sp</i> <i>Liposcelispaetus</i> <i>Liposcelis entomophilus</i>	Psoque	Blé

Bt : Blé tendre

Bd : Blé dur

I.2.4. Moyens de lutte contre les insectes des denrées entreposées

La préservation des céréales stockées contre les insectes est un problème constant, surtout pour les organismes de stockage et les transporteurs. En réponse à cette menace, des stratégies de lutte intégrées ont été mises en œuvre afin d'éliminer les ravageurs qui causent les dommages.

I.2.4.1. Lutte préventive

Il s'agit de la méthode fondamentale pour combattre les ravageurs. Dans le but d'éviter les infestations et les attaques de la denrée stockée, il est primordial de mettre en place des installations de stockage appropriées et de respecter rigoureusement toutes les mesures d'hygiène (Audfray *et al.*, 2011 ; Dubreil, 2014) :

- ✓ Il est nécessaire de blanchir les murs des zones de stockage car la peinture bouche les petits trous qui servent de refuge aux insectes.
- ✓ Il est essentiel de laver régulièrement les sols une fois par semaine et de détruire immédiatement les résidus.
- ✓ Il est important de ne jamais conserver les restes de la récolte précédente avec la nouvelle récolte.
- ✓ Le séchage des semences récoltées à l'état frais empêche la germination des graines, la prolifération des bactéries et des moisissures, et diminue les conditions propices au développement des insectes.

I.2.4.2. Lutte chimique

Malgré leur efficacité et leur économie, les pesticides ont engendré des effets secondaires inattendus tels que l'épuisement de l'ozone, la pollution de l'environnement, la résistance des ravageurs et la toxicité pour l'organisme. Le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et d'autres polluants organiques persistants sont encore utilisés dans de nombreux pays en développement. En Afrique, près de 30 % des produits vendus ne respectent pas les normes internationales de qualité en raison d'un manque de dispositif de contrôle efficace (Isman, 2006 ; Boileau, 2015 ; Cissokho *et al.*, 2015).

I.2.4.3. Lutte biologique

I.2.4.3.a. Définition

La lutte biologique en agriculture est une méthode de contrôle des nuisibles qui utilise des organismes antagonistes naturels ou des substances d'origine naturelle produites par ces organismes. Plus largement, elle englobe tout produit de protection des plantes qui ne provient

pas de la chimie synthétique. Les biopesticides incluent des agents auxiliaires de lutte contre les insectes, des bactéries entomophages, ainsi que des insecticides d'origine végétale et des molécules issues de la synthèse biologique, telles que les phéromones et les molécules allélochimiques (Caron *et al.*, 2006 ; Ndzana Abanda, 2012 ; Van Lenteren, 2012).

I.2.4.3.b. Biopesticides végétaux

Les plantes synthétisent des substances actives dotées de propriétés insecticides, aseptiques ou régulatrices de croissance. Généralement, ces substances sont des métabolites secondaires qui protègent les végétaux des herbivores (Deravel *et al.*, 2013). Parmi les produits actuellement les plus étudiés figurent les extraits végétaux et les huiles essentielles, qui présentent plusieurs avantages par rapport aux composés synthétiques, notamment une biodégradation rapide et une diminution des risques environnementaux (Basaid *et al.*, 2021 ; Tavares *et al.*, 2021).

Les extraits de plantes exercent peu d'effets négatifs sur les organismes auxiliaires, surtout en comparaison avec les impacts des pesticides chimiques. Leur utilisation favorise le maintien d'un équilibre écologique entre les ravageurs et les auxiliaires, ce qui est nettement plus bénéfique pour la lutte biologique que le déséquilibre écologique engendré par l'emploi de pesticides d'origine chimique (Mochiah *et al.*, 2011 ; Wainwright *et al.*, 2013 ; Yarou *et al.*, 2017).

Dans l'étude menée par Amoabeng *et al.* (2013), il a été observé que la population de certains auxiliaires et d'araignées prédatrices était plus élevée dans les parcelles traitées avec des extraits végétaux par rapport à celles traitées avec des insecticides synthétiques. De plus, la faible rémanence des extraits végétaux constitue un avantage qui les rend moins nocifs que les pesticides de synthèse. Cependant, il convient de noter que certains extraits de plantes, comme la nicotine, peuvent être toxiques pour les organismes vivants à certaines doses (Wainwright *et al.*, 2013 ; Slotkin *et al.*, 2016).

I.3. Revue bibliographique sur les deux insectes ciblés

I.3.1. Capucin des grains, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792)

a- Distribution

Rhyzopertha dominica, également connu sous le nom de capucin des grains ou petit perceur des grains, est un coléoptère primaire qui détruit les graines entreposées. Il fait partie de la famille des Bostrychidae. Il est peu probable qu'il soit originaire de l'Amérique du Sud, mais **Nansen et Meikle (2002)** estiment qu'il s'est propagé par le grain transporté. Selon **Jia et al. (2008)**, l'Indochine est considérée comme son pays d'origine en raison de sa grande fréquence et de sa dévastation dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. Aujourd'hui, *R. dominica* est répandu (**Edde, 2012**), vit en xylophage aux dépens de diverses espèces végétales et dans les entrepôts, se nourrissant de grains de céréales (blé, orge, avoine, riz, maïs, mil) et de matières amylacées (racines de Manioc, sorgho desséché, patate douce desséchée, pain, biscuit, etc.) (**Chararas et Balachowsky, 1962**). À la différence de nombreux autres insectes des denrées, les dommages de *R. dominica* sont provoqués à la fois par les larves et par les adultes très vigoureux qui ne laissent aucune céréale à l'abandon (**Seck, 1989 ; Jerraya, 2003**).

b- Cycle de vie et biologie

R. dominica est un insecte holométabole qui subit une métamorphose complète. Son cycle de vie comprend quatre phases, à savoir : œuf, larve, nymphe et adulte. Les adultes peuvent voler ce qui facilite les infestations (**Edde, 2012**).

Dans des conditions optimales de 34°C, l'insecte peut boucler son cycle en moins d'un mois (27 jours) et en une période beaucoup plus longue lorsque la température est moins élevée (183 jours à 21°C) (**Jerraya, 2003**). Cet insecte peut attaquer des grains contenant une teneur en eau proche de 9 %. Il peut détruire quotidiennement l'équivalent de son poids corporel (**Jerraya, 2003**).

La ponte débute environ 15 jours après l'apparition de la femelle et peut durer jusqu'à 4 mois. La femelle peut survivre plusieurs jours après la ponte. Selon **Mason (2010)**, la durée de vie des adultes peut atteindre 8 mois, avec une moyenne de 4 mois.

Selon **De-Luca (1980)**, *R. dominica* a 4 à 5 générations qui se chevauchent. Les adultes ont la capacité de voler facilement pendant certaines périodes de l'année, mais ils sont souvent transportés par les courants d'air, ce qui les rend de bons voiliers dans les conditions chaudes (**Majeed et al., 2015**).

➤ **Œuf**

L'œuf est opaque, d'un blanc cireux à la ponte, mais devient progressivement rosâtre. L'œuf peut mesurer jusqu'à 0,6 mm de long sur 0,2 mm de large. La femelle de *R. dominica* produit entre 300 et 400 œufs et peut atteindre 600 œufs au maximum. Les œufs sont placés en masse sur le grain ou séparément dans les excréments produits par l'insecte (**Edde, 2012**).

➤ **Larve**

Rhyzopertha dominica passe en moyenne par quatre stades larvaires. La larve jeune est de couleur blanche à crème, avec une tête jaune aux soies et des pattes assez longues pour se déplacer à la recherche de la nourriture. Selon **Edde (2012)**, une fois arrivée au niveau du grain, elle y pénètre grâce aux morsures des adultes et y reste jusqu'à ce qu'elle devienne une nymphe et ne sort qu'étant adulte. Elle est blanche au dernier stade larvaire, avec la tête brunâtre. Les mandibules présentent une teinte plus foncée, avec trois dents distinctes. Le corps est un peu convexe. Les soies de la cuticule sont d'un brun pâle. On observe une légère expansion du thorax (**Jerraya, 2003 ; Edde, 2012**).

➤ **Nymphe**

La nymphe ne se nourrit pas, elle est relativement immobile mais peut se tortiller de façon limitée, de couleur blanchâtre et recouverte de poils sur sa face dorsale, mais plus tard, un pigment brun se dépose dans les parties oculaire et buccale. La nymphe est installée dans une cellule creusée par la larve dans le grain ou dans une cavité ovale creusée par la larve dans le matériau farineux. Au stade nymphal, les deux sexes peuvent être différenciés. C'est à la pointe de l'abdomen que se manifeste le dimorphisme sexuel. Selon **Jerraya (2003)** et **Edde (2012)**, les organes génitaux des femelles sont divergents, en trois segments et protubérants, tandis que ceux des mâles sont convergents, en deux segments et protubérants.

➤ **Adulte**

Il s'agit d'un petit insecte de 2,2 à 3 mm de long, d'un brun rougeâtre à brun foncé, brillant, cylindrique avec des côtés complètement parallèles (**Fig.7**). La tête présente une forme globuleuse et est équipée d'antennes de 10 articles, dont les 3 derniers sont en masse, dilatés et triangulaires. La tête est dissimulée au-dessous du prothorax, en forme de capuchon, d'où le nom de capucin des grains. Le thorax en dôme a un bord antérieur crénelé. Les élytres sont développés et longitudinalement ponctués et se terminent en déclivité granuleuse avec des fosses de 10-11 perforations longitudinales, ce qui leur confère une apparence striée. Selon **Jerraya (2003)** et **Edde (2012)**, le pronotum bombé se termine par une série de dents régulières (**Fig. 7**).

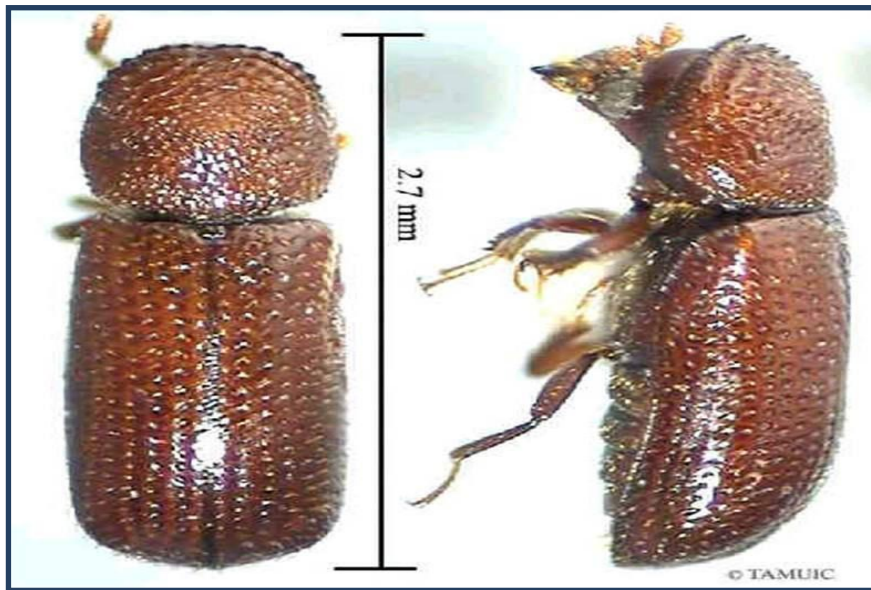


Figure 7 : *Rhyzopertha dominica*

(www.keys.lucidcentral.org/)

c- Dégâts causés par *Rhyzopertha dominica*

Selon **Edde (2012)**, le ravageur primaire *R. dominica*, attaque les graines entières stockées, les produits céréaliers et les céréales. Il est surtout un ravageur du blé et du maïs stockés, mais il peut infester le tabac, fruits à coque, les haricots, graines pour oiseaux, biscuits, le manioc, les fèves de cacao, fruits secs, arachides, épices, et la viande séchée. Les dommages sont caractéristiques et importants. Les adultes et les larves creusent des galeries dans les grains de céréales intacts ne laissant que l'enveloppe externe. Les dégâts importants sont occasionnés par les adultes qui détruisent le germe et l'albumen. Si l'attaque est sévère, les dégâts sont très facilement reconnaissables à travers des tunnels et des trous de formes irrégulières dans les grains. Il ne subsiste au-dessus d'une couche de farine, de rognure et d'excréments que des péricarpes transformés en dentelle qui s'envolent au moindre souffle. Il en résulte une odeur douce dans les grains (**Klys, 2006 ; Edde, 2012**).

I.3.2. Petit ver de la farine, *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797)

a- Distribution

Le ver de la farine ou le *Tribolium* rouge de la farine est un insecte appartenant à la famille des Ténébrionidae. C'est un ravageur secondaire affectant directement la production alimentaire par la réduction de la qualité et la quantité de la récolte produite, ou indirectement en servant de vecteur de maladies. Le *Tribolium* est une espèce cosmopolite, elle se rencontre

presque partout dans le monde, sous des latitudes fraîches dans les Amériques, en Europe et dans les régions méditerranéennes (**Jerraya, 2003**).

b- Cycle de vie et biologie

Les adultes de *Tribolium* possèdent des ailes, mais ne peuvent pas voler. Ils se dissimulent dans les endroits les plus sombres, de préférence dans les fissures des murs. D'après **Jerraya (2003)**, leur survie est limitée à des températures allant de -6 à +50 °C. Leur résistance à la sécheresse est extrême et ils peuvent supporter un jeûne de 25 à 45 jours.

T. castaneum peut survivre à des températures allant de 22 à 40 °C et à une humidité relative comprise entre 1 et 90% (**Gwinner et al., 1996**). Les conditions de développement idéales sont une température de 35°C et une humidité relative de 75 % afin de réaliser un cycle au bout de 20 jours.

➤ **Œuf**

D'après **Jerraya (2003)**, la femelle pond entre 500 et 1000 œufs. L'œuf présente une forme allongée, d'une teinte blanchâtre à incolore, couvrant sa surface d'un enduit visqueux qui rassemble les grains de farine et/ou de poussière.

➤ **Larve**

Les stades larvaires du *Tribolium* varient de 4 à 12. La larve est d'un blanc à un jaune brun et mesure entre 5 et 6 mm de long. La tête et le bas du corps sont d'un brun plus foncé tirant sur le rougeâtre. L'abdomen est terminé par deux petits cerques foncés à l'extrémité postérieure. Selon **Jerraya (2003)**, la larve de *Tribolium* est très active et peut se déplacer librement en creusant des galeries sinueuses dans la masse de farine.

➤ **Nymphe**

La nymphe est nue et blanche, avec un abdomen portant latéralement des lames rectangulaires à bords crénelés (**Jerraya, 2003**).

➤ **Adulte**

L'adulte mesure de 3 à 4 mm, de couleur uniformément brun rougeâtre (**Fig. 8**). Le thorax est étroit, allongé, à bord parallèles, à pronotum presque aussi large que les élytres et non rebordé antérieurement. Les 3 derniers articles des antennes sont nettement plus gros que les suivants. Les élytres sont allongés et parallèles avec des stries bien nettes. Les pattes sont courtes, à tibias aplatis (**Janovy et al., 2007**).

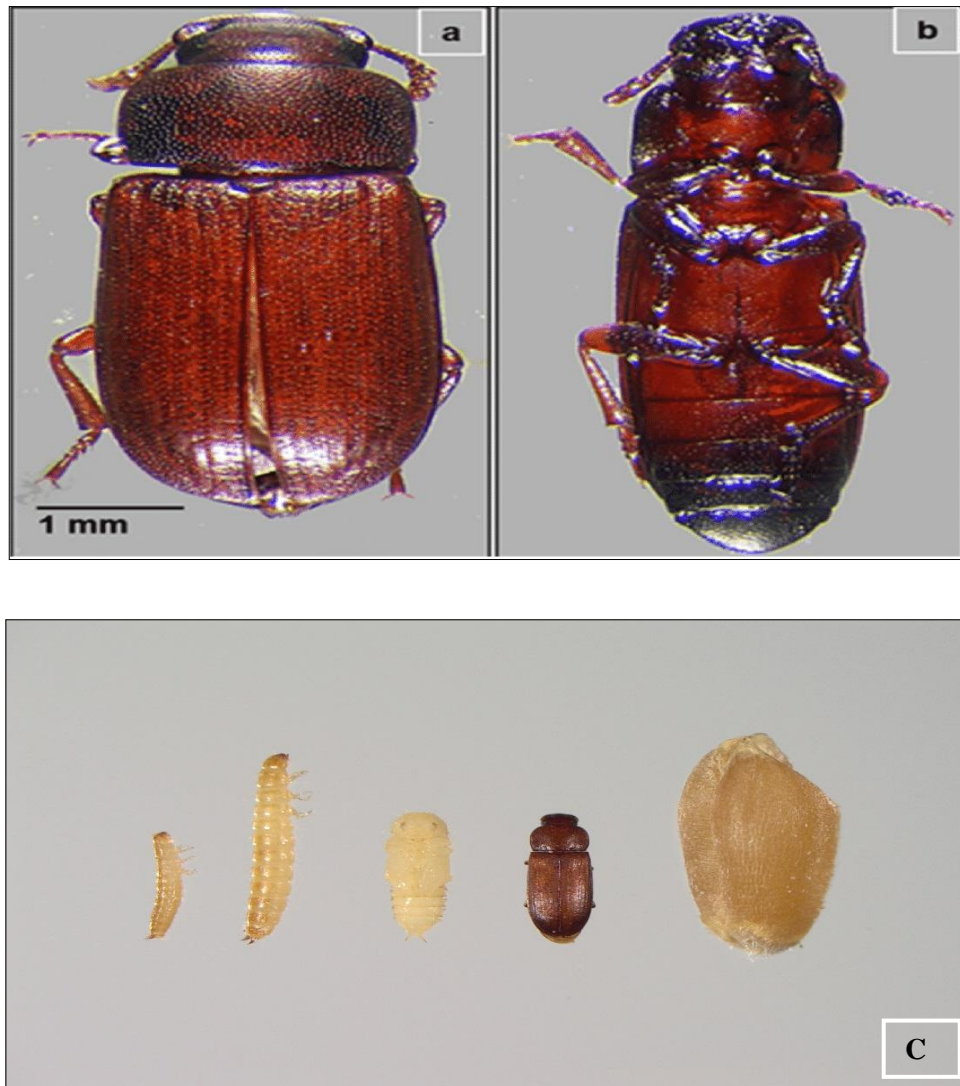


Figure 8 : *Tribolium castaneum*

(a) : Face dorsale, (b) : Face ventrale, (c) : Différents stades de développement

[\(www.researchgate.net/\)](http://www.researchgate.net/)

c- Dégâts causés par *Tribolium castaneum*

T. castaneum est caractérisé par une très grande polyphagie. Il attaque les céréales et les produits céréaliers, arachides, noix, cacao, fruits secs et parfois les légumineuses, aussi bien le millet et le maïs (**Gwinner et al., 1996**). Si l'infestation est très importante, l'adulte produit des quinoléiques qui donnent à la denrée une odeur répulsive. Selon **Bekon et Fleurat-Lessard (1989)**, il est impossible de dévaluer les grains sains qu'à partir des entrées ou des trous créés par les ravageurs primaires. Les exuvies larvaires et les déjections s'accumulent dans les farines contribuant encore à les déprécier. L'infestation cause des odeurs persistantes et désagréables au niveau des produits (**Gwinner et al., 1996**).

D'après **Guenha et al. (2014)**, l'activité des insectes peut entraîner un dégagement de chaleur dans les céréales ainsi que l'humidification du grain, favorisant le développement des microorganismes qui contribuent à leur tour à la détérioration de la denrée avec production de mycotoxines. Elle constitue aussi un support nutritif pour un grand nombre d'acariens saprophytes, y compris le Tyroglyphe de la farine *Acarus siro* L., lequel se développe aux dépens du germe des grains humides détruisant ainsi leur faculté germinative (**Klys, 2007**).

I.4. Condition de récolte des plantes médicinales

I.4.1. Saison de récolte

D'après **Schneider (2013)**, la période de récolte des plantes médicinales varie selon la partie de la plante à utiliser. Les racines sont généralement récoltées en automne ou en hiver, après que la plante ait accumulé un maximum de nutriments. En revanche, les feuilles et les fleurs sont souvent cueillies au printemps ou en été, lorsque la plante est en pleine croissance et que la concentration en principes actifs est à son apogée. Respecter cette saisonnalité est essentiel pour obtenir des parties de la plante riches en composés actifs.

I.4.2. Moment et conditions météorologiques

En général, la saveur des plantes varie selon l'heure de la journée et les conditions météorologiques. Certaines sont bien plus aromatiques sous le soleil de midi que lors d'une matinée nuageuse, et leur saveur est optimale en fin de matinée, lorsqu'elles sont sèches, croquantes, et riches en substances vitales. Il est crucial de récolter les parties des plantes destinées au séchage lorsqu'elles sont aussi sèches que possible, car les plantes humides se conservent mal (**Schneider, 2013**).

I.4.3. Métabolites secondaires des plantes

Les plantes médicinales constituent une vaste source de molécules chimiques complexes, comprenant des métabolites primaires essentiels à leur croissance et développement, ainsi que des métabolites secondaires qui favorisent leur adaptation à l'environnement, leur résistance aux variations thermiques et hydriques, et leur défense contre les bioagresseurs (**Herms et Mattson, 1992 ; Sarni-Manchado et Cheynier, 2006 ; Kan et al., 2007**).

En pratique, les métabolites secondaires ont de nombreuses applications et sont classés en fonction de leur structure chimique en terpènes, alcaloïdes et composés phénoliques (**Cuendet, 1999 ; Vermerris et al., 2006**). Parmi ces composés, les flavonoïdes sont

particulièrement reconnus pour leurs multiples activités biologiques (**Mayouf, 2019 ; Medina-Torres et al., 2017**).

I.4.3.1. Polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires synthétisés par les plantes, présents dans divers organes allant des racines aux feuilles, en passant par les fleurs et les fruits. Ces composés, caractéristiques du règne végétal, jouent un rôle fondamental dans les interactions des plantes avec leur environnement. Les polyphénols contribuent à la défense des plantes contre les bioagresseurs tels que les insectes, les bactéries et les champignons, tout en participant à la régulation des réponses aux stress abiotiques, comme les températures extrêmes et la sécheresse. De plus, ils sont impliqués dans des processus physiologiques essentiels tels que la germination des graines, la rhizogenèse, la régulation de la croissance et du développement, ainsi que dans la pigmentation et la saveur des fruits. Les principales classes de polyphénols comprennent : les flavonoïdes, les tanins, et les coumarines (**Tapiero et al., 2002 ; Crozier et al., 2006 ; Achat, 2013**).

I.4.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés phénoliques présents dans les plantes, constitués de deux ou plusieurs cycles aromatiques reliés par un pont carboné. Ils peuvent se trouver sous forme libre (aglycone) ou sous forme de glycosides (hétérosides), où des groupes hydroxyles sont liés à un ou plusieurs sucres (**Heller et Forkmann, 1993**).

Les flavonoïdes sont largement utilisés dans les industries pharmaceutique, cosmétique et alimentaire en raison de leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antibactériennes et antivirales. En outre, ils contribuent à protéger les tissus contre les effets néfastes des rayons UV (**Wichtl et Anton, 2009**).

I.4.3.3. Tanins

Les tanins, bien que leur composition chimique varie selon leur origine, partagent la caractéristique d'être hydrosolubles. Leur intérêt médicinal réside dans leur capacité à coaguler les tissus et muqueuses, formant une couche protectrice qui réduit l'irritation et la douleur. De plus, plusieurs tanins possèdent des propriétés anti-inflammatoires, antifongiques, antitumorales, antivirales et antidiarrhéiques (**Maïga et al., 2005 ; Blot et Bernard, 2012**).

Les tanins condensés sont des oligomères ou polymères de flavan-3-ols capables de libérer des anthocyanes en milieu acide à chaud en rompant les liaisons inter monomériques. Cependant, lorsqu'ils sont chauffés à ébullition en milieu acide, ils peuvent former des

composés insolubles appelés "rouge de tanins", en raison de la réaction entre les tanins et les acides, produisant des pigments rouges insolubles (**Guignard, 1996**).

Les tanins hydrolysables sont des produits estérifiés de glucides ou de dérivés d'acides phénoliques, avec le glucose comme molécule glucidique la plus courante, bien que certains puissent inclure des polysaccharides. Ces tanins, caractéristiques des plantes dicotylédones, se trouvent dans tous les organes de la plante, notamment les racines, tiges, feuilles et fruits avant maturation. Leur forte présence de groupements OH favorise leur dissolution dans l'eau, formant des solutions colloïdales (**Guignard, 2000**).

I.4.3.4. Saponines

Les saponines sont des composés courants dans les plantes médicinales, caractérisés par la présence d'un groupe glucidique. Elles se présentent sous forme de glycosides stéroïdiques ou triterpéniques et ont la capacité de produire de la mousse en présence d'eau. Ces composés peuvent être hydrolysés par des acides pour former un aglycone connu sous le nom de sapogénine. Certaines saponines incluent également des stéroïdes et des amines stéroïdiques, considérées par certains comme des alcaloïdes stéroïdiques (**Bruneton, 2007**). Les saponines possèdent diverses activités biologiques, telles que des propriétés antipyrétiques, antalgiques, immuno-modulatrices, anti-inflammatoires et anticoagulantes. En raison de leurs propriétés tensioactives et biologiques significatives, elles sont utilisées dans plusieurs domaines, y compris l'industrie, la pharmacie et la cosmétologie (**Lautrette, 2004**).

I.4.3.5. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés organiques contenant de l'azote, caractérisés par une structure moléculaire complexe et variée, et possèdent des propriétés alcalines (**Badiaga, 2012**). Ces métabolites, relativement stables, sont synthétisés par les plantes et se retrouvent dans différentes parties de celles-ci, notamment dans les jeunes feuilles et les racines en croissance, ainsi que dans les fleurs, les fruits et les graines (**Mauro, 2006**).

Les alcaloïdes sont parmi les principes actifs les plus significatifs en pharmacologie et en médecine. De nombreuses études ont évalué leur efficacité en tant qu'agents biologiques, dont l'action dépend souvent de la fonction amine, qui se transforme en un système quaternaire par ionisation à des pH physiologiques (**Delille, 2007**).

I.4.3.6. Huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE) sont des extraits naturels concentrés obtenus principalement par distillation à la vapeur d'eau de plantes aromatiques ou de parties spécifiques de plantes, comme les feuilles, les fleurs, ou les racines (**Wegrzyn et Lamendinh, 2005**). Elles contiennent des composés volatils aux propriétés odorantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et insecticides, et sont souvent utilisées en aromathérapie, cosmétique, et comme agents de protection biologique (**Bakkali et al., 2008**). Bien que leur consistance soit huileuse, elles ne contiennent pas de corps gras et sont caractérisées par une haute concentration en principes actifs (**Lis-Balchin, 2006 ; Jouault, 2012 ; Lorrain, 2013**).

Les huiles essentielles sont présentes dans l'ensemble du règne végétal, mais sont particulièrement abondantes chez certaines familles comme les Lamiacées, les Conifères, les Rutacées, les Umbellifères, les Myrtacées et les Poacées (**Lakhdar, 2015**). Elles se trouvent dans différents organes producteurs des plantes, selon la zone spécifique de production (**Lamendin, 2004**), par exemple dans les sommités fleuries (Lavande, Menthe...), les racines ou rhizomes (Vétiver, Gingembre), l'écorce (Cannelle), le bois (Camphrier), les fruits (Citron) ou les graines (Muscade). Elles sont stockées dans des structures spécialisées telles que les poils, les canaux sécréteurs et les poches (**Couic-Marinier et Lobstein, 2013**).

D'après **Bruneton (1999)**, les constituants des huiles essentielles appartiennent presque exclusivement à deux catégories principales : le groupe des terpénoïdes, comprenant essentiellement des monoterpènes et des sesquiterpènes, et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane.

I.4.4. Facteurs de variabilité de la composition chimique

La composition chimique et le rendement d'extraction des différentes espèces dépendent de plusieurs facteurs, tels que l'espèce botanique, le chémotype, l'origine, ainsi que des facteurs extrinsèques comme la température, la nature du sol, l'ensoleillement, l'altitude et les pratiques culturales. Ils varient également en fonction de l'organe végétal, de l'âge de la plante, du cycle végétatif, de la période de récolte, des conditions et de la durée de conservation, ainsi que du procédé et de la cinétique d'extraction utilisés (**Angioni et al., 2006 ; Setzera et Haber, 2007 ; Randrianarivelo, 2010**).

I.4.5. Rôles des métabolites secondaires

Plusieurs théories coexistent depuis des décennies pour expliquer la production de métabolites secondaires par les plantes. **Fraenkel (1959)** a suggéré que ces composés influencent le comportement des insectes phytophages dans leur choix de plantes hôtes. **Ehrlich**

et **Raven (1964)** ont proposé la théorie de la coévolution biochimique, selon laquelle la synthèse des métabolites secondaires chez les plantes est liée à leur utilisation par des insectes spécialisés. **Bryant et al. (1983)** ont montré que la disponibilité du carbone et des nutriments est cruciale pour la production de substances de défense. **Coley et al. (1985)** ont rajouté que la disponibilité des ressources et le taux de croissance des plantes influencent la quantité de métabolites produits. **Firn et Jones (1995)** ont attribué une partie de la variabilité chimique des plantes aux pressions exercées par les ravageurs. Selon **Hadacek et al. (2011)**, les métabolites secondaires constituent un arsenal de défense contre les insectes, herbivores et microorganismes, tout en jouant des rôles écologiques variés, comme la communication chimique, l'attraction de pollinisateurs ou la répulsion de pathogènes. Toutefois, les mécanismes et les rôles de ces composés varient selon les espèces végétales et restent encore mal compris.

I.5. Procédés d'extraction

L'extraction de composés bioactifs est une méthode de séparation visant à isoler des substances végétales utiles pour diverses applications (**Joana Gil Chávez et al., 2013**). Le choix du solvant d'extraction est un facteur clé dans ce processus, car il varie en fonction de la nature des composés ciblés. Par exemple, l'extraction des composés phénoliques est fortement influencée par la polarité et la concentration du solvant employé (**Ezez et al., 2021 ; Herrera-Pool, 2021 ; Ma et al., 2021**).

I.5.1. Préparation des extraits végétaux

I.5.1.a. Infusion

Selon **Sofowera (2010)**, la préparation des extraits végétaux par infusion implique de verser de l'eau bouillante (à une température d'environ 100 °C) sur une quantité précise de matière végétale, qu'elle soit sèche ou fraîche, puis de laisser reposer la mixture pendant au moins 10 à 15 minutes.

I.5.1.b. Macération

Le processus de macération consiste à immerger la matière végétale brute dans un récipient contenant un solvant, puis à laisser le tout reposer à température ambiante pendant une durée pouvant atteindre 72 heures, en agitant fréquemment pour favoriser la dissolution des composés solubles. Le mélange est ensuite filtré pour retirer la matière solide humide, et les liquides obtenus sont clarifiés par filtration ou décantation (**Handa et al., 2008**).

I.5.1.c. Soxhlet

L'extraction à l'aide de l'appareil de Soxhlet est une méthode continue utilisée pour isoler des composés solubles à partir d'un solide insoluble ou peu soluble dans un solvant. Le dispositif de Soxhlet comprend un ballon, un réfrigérant, une cartouche en verre ou en papier, et un siphon. Le matériel en poudre est placé dans la cartouche poreuse, tandis que le solvant est versé dans le ballon et porté à ébullition. La vapeur du solvant traverse le réfrigérant situé au sommet de l'appareil, où elle se condense pour s'accumuler autour et à l'intérieur de la cartouche. Une fois que le solvant atteint le niveau du siphon, il est renvoyé dans le ballon par différence de pression, où il est de nouveau évaporé, permettant l'extraction des composés solubles (**Haunold, 1991 ; Rachel, 2007**).

I.5.1.d. Extraction assistée aux Ultrasons

D'après **Chemat et al. (2017)** et **Dias et al. (2021)**, les ondes ultrasonores mécaniques peuvent améliorer l'efficacité de l'extraction des composés solubles à partir des matrices végétales grâce aux effets de cavitation générés par les bulles, qui agissent sur les parois cellulaires des plantes, augmentant ainsi le transfert de masse entre le solvant et le soluté. En optimisant des paramètres tels que la fréquence, la puissance des ultrasons, la durée de l'extraction, la température, la répartition des ondes et le choix du solvant, le rendement d'extraction peut être considérablement amélioré. Toutefois, il est essentiel de maintenir la température en dessous de celle d'évaporation du solvant afin d'éviter toute perte due à l'évaporation (**Wang et Weller, 2006 ; Ma et al., 2008 ; M'hiri, 2015**).

Les Ultrasons facilitent et accélèrent le processus d'extraction, permettant de réduire le temps requis à seulement quelques minutes, comparé aux méthodes traditionnelles qui peuvent durer plusieurs heures, voire plusieurs jours dans certains cas. Ce procédé opère à des températures modérées, évitant ainsi la dégradation thermique des composés sensibles. Cette efficacité accrue de l'extraction est attribuée au phénomène de cavitation et à l'effet thermique généré, qui favorisent la rupture des parois cellulaires et la diminution de la taille des particules, optimisant ainsi le transfert de matière et la récupération des composés ciblés (**Pétrier et al., 2008 ; Boukroufa, 2016**).

I.5.2. Extraction des huiles essentielles

I.5.2.a. Hydrodistillation

D'après **Hernandez Ochoa (2005)**, le processus d'hydrodistillation consiste à chauffer des matières végétales dans de l'eau, ce qui libère les molécules volatiles à partir des tissus cellulaires. La vitesse de vaporisation de ces composés volatils dépend de leur solubilité dans l'eau (**AFNOR, 1980**). Cette méthode implique l'immersion de la matière végétale dans un bain d'eau, puis son ébullition sous pression atmosphérique. La vapeur ainsi dégagée est acheminée vers un condenseur, où elle se condense en un mélange d'eau et d'huile essentielle. Les eaux aromatiques obtenues sont ensuite soumises à une décantation pour extraire les huiles essentielles brutes (**Farhat, 2010**).

I.5.2.b. Entraînement à la vapeur

Dans ce processus, le matériel végétal n'entre pas directement en contact avec l'eau. Il est placé dans un récipient perforé situé au-dessus de la chaudière. La vapeur d'eau générée par cette dernière est ensuite injectée dans le récipient, traversant la matière végétale de bas en haut, ce qui permet de capturer les composés volatils. La vapeur, enrichie en composés volatils, est ensuite dirigée vers un tube réfrigérant où elle se condense, formant un mélange hétérogène d'huile essentielle et d'hydrolat (**Bruneton, 1999 ; Marrouf et Tremblin, 2009**).

I.5.2.c. Expression à froid

A la différence de la distillation, cette méthode n'implique aucune utilisation de chaleur, ce qui permet à l'huile de conserver une fragrance très proche de celle du matériau d'origine. Elle est spécifiquement utilisée pour extraire les essences volatiles présentes dans les péricarpes, comme les écorces d'agrumes. Les parties végétales sont pressées mécaniquement à froid à l'aide de rouleaux ou d'éponges pour libérer les poches d'huiles essentielles situées en surface. Ces huiles sont ensuite collectées à l'aide d'un flux d'eau (**Bruneton, 1999 ; Marrouf et Tremblin, 2009 ; Boukhatem et al., 2019**).

I.5.2.d. Hydrodistillation assistée par Ultrasons

L'extraction des huiles essentielles par Ultrasons entraîne une perturbation de la structure des parois végétales et des cellules, causée par les ondes ultrasonores et les micro-cavitations générées. Ces modifications facilitent la pénétration de l'eau dans les tissus cellulaires, ce qui peut également influencer la vitesse d'extraction des composés aromatiques des huiles essentielles. Les principaux atouts de cette technique sont une accélération du processus d'extraction et une amélioration du rendement (**Herzi, 2013**).

I.5.2.e. Hydrodistillation assistée par micro-ondes

L'extraction assistée par micro-ondes est une méthode récente conçue pour extraire des composés naturels, tels que les huiles essentielles et les extraits aromatiques. La plante, placée dans une enceinte, est chauffée par des micro-ondes, tandis que la pression à l'intérieur est progressivement abaissée, facilitant ainsi l'évaporation des molécules volatiles. Ces molécules sont ensuite transportées dans un mélange azéotropique formé avec la vapeur d'eau générée par la plante traitée (**Herodez *et al.*, 2003 ; Wang *et al.*, 2006 ; Marrouf et Tremblin, 2009**). La distillation assistée par micro-ondes, technologie en pleine évolution, présente plusieurs avantages, notamment une réduction des risques de dégradation thermique et hydrolytique des composés, ainsi qu'une économie d'énergie et de temps (**Lucchesi *et al.*, 2004 ; Olivero-Verbel *et al.*, 2010**).

Chapitre II

Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

Ce travail est réalisé au niveau du laboratoire de département des sciences agronomiques de la faculté des sciences de la nature et des sciences de la vie de l'université de Bouira. Il consiste à mettre en évidence le potentiel insecticide des huiles essentielles de l'Armoise arborescente et du Romarin de tournefort ainsi que les propriétés insecticides des extraits éthanoliques de l'Inule visqueuse et du Jujubier sauvage contre deux ravageurs des céréales de stock, *Tribolium castaneum* et *Rhyzopertha dominica*. Il convient également de préciser que cette section couvre tant l'extraction éthanolique que l'extraction des huiles essentielles.

Le choix des plantes sélectionnées pour cette étude repose sur deux critères principaux. Tout d'abord, leur abondance et leur caractère spontané dans l'environnement local en font des espèces idéales pour une utilisation durable, car elles ne nécessitent pas de culture intensive, réduisant ainsi l'impact écologique. Ensuite, ces plantes sont largement utilisées en phytothérapie pour leurs propriétés médicinales, témoignant de leur richesse en composés bioactifs. Cette double justification, alliant disponibilité naturelle et utilisation traditionnelle, en fait des ressources prometteuses pour explorer leur potentiel en tant qu'insecticides naturels.

II.1. Matériel biologique végétale

Les feuilles d'*Artemisia arborescens*, de *Rosmarinus tournefortii*, de *Dittrichia viscosa* et de *Ziziphus lotus* sont récoltées dans la région d'Ouled Saadi, commune d'El Hachimia, wilaya de Bouira en Algérie (36°09'24.9"N 3°48'02.2"E) (**Fig. 9**). Cette région se caractérise par un climat méditerranéen semi-aride à hiver froid, avec une pluviométrie irrégulière, concentrée en automne et en hiver. Les températures estivales peuvent dépasser les 35 °C, tandis que les hivers sont froids avec des gelées fréquentes. Le sol y est principalement calcaire à texture limono-argileuse, bien drainé, et propice à la croissance des plantes spontanées. L'authentification de la plante et de l'espèce est réalisée au département de botanique de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) par comparaison avec les spécimens de l'herbier et la confirmation des professeurs du département.

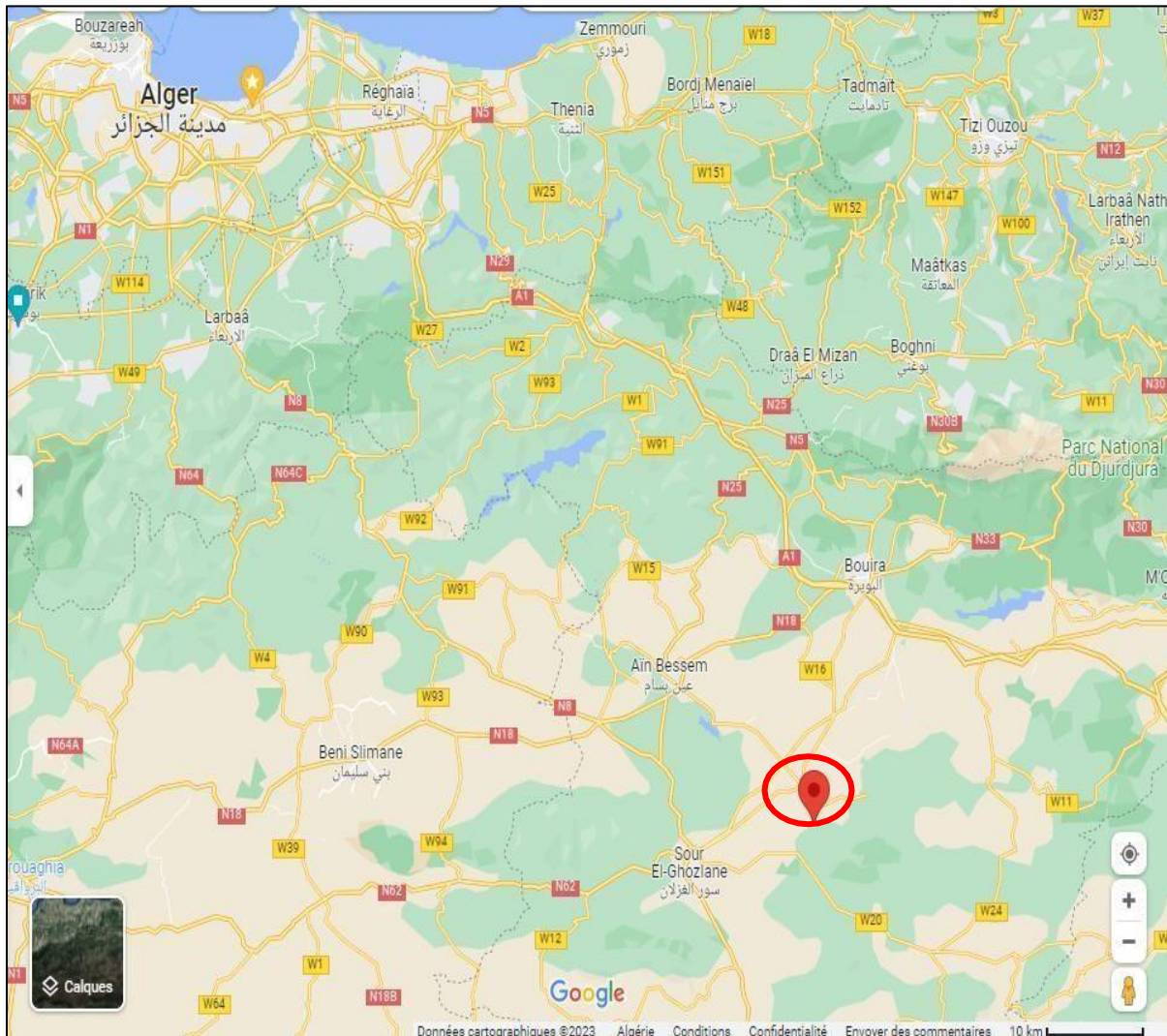


Figure 9 : Carte géographique de la zone de récolte des espèces végétales
(Google Maps, 2024)

II.2. Préparation des poudres

Au niveau du laboratoire, les échantillons récoltés ont subi une série d'analyse avant de tester leurs effets insecticides. Les parties de chaque plante utilisée pour l'extraction (**Fig. 10**) sont séparées des autres parties manuellement et rincées deux fois par de l'eau distillée afin d'éliminer le maximum des impuretés, ensuite elles sont découpées avec un sécateur stérile en petit fragments. Les parties sélectionnées sont séchées à l'air libre (environ 25 °C) pendant 10 à 20 jours, selon la plante, dans une pièce de laboratoire à l'abri de la lumière.



Figure 10 : Parties de plantes utilisées

(a) : *Artemisia arborescens*, (b) : *Dittrichia viscosa*, (c) : *Rosmarinus tournefortii*
(d) : *Ziziphus lotus*

Après le séchage, les matières végétales sont mises en broyage à l'aide d'un hachoir électrique jusqu'à l'obtention des poudres fines avant de les faire passer par un tamis à maille de 200 μm . Les poudres obtenues sont ensuite conservées dans des bocaux en verre hermétique à 4°C (**Fig. 11**).

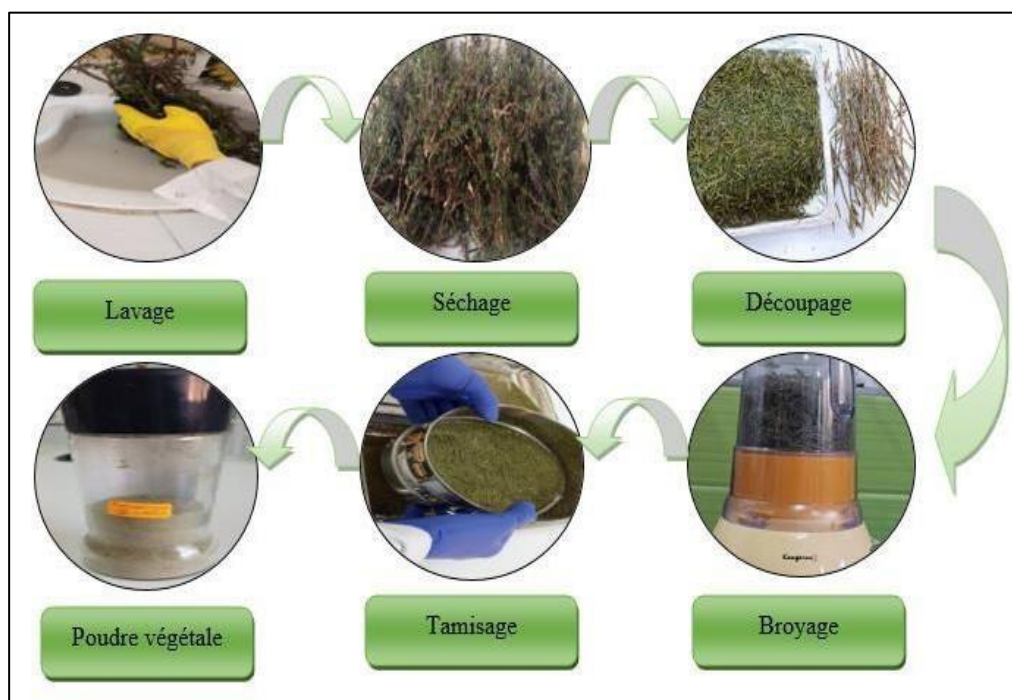


Figure 11 : Préparation des poudres

II.3. Préparation des extraits bruts

II.3.a. Par macération

La macération est une extraction à froid dans laquelle les matériaux végétaux, comme les feuilles, racines ou graines, sont finement broyés et immergés dans un solvant, ici un mélange d'éthanol et d'eau. Le choix de l'éthanol est stratégique pour sa capacité à solubiliser un large spectre de composés organiques tout en étant facilement évaporable, ce qui facilitera la suite du processus.

La méthode d'extraction des composés végétaux employée dans cette étude s'inspire de celle proposée par **Xu et al. (2017)**, avec certaines adaptations. Les extraits hydro-éthanolique sont obtenus en faisant macérer 20 g de poudre de matériau végétal brut dans 200 ml d'éthanol (50 %) et d'eau distillée. Le solvant pénètre dans les cellules végétales, dissout les composés ciblés (comme les flavonoïdes, alcaloïdes, terpènes) et les libère dans la solution. Les mélanges sont agités à l'aide d'un agitateur magnétique silencieux pendant 72 heures, à une température de 25 ± 2 °C et à une vitesse de 500 tr/min (**Fig. 12**). L'agitation constante maintient la diffusion et empêche la sédimentation des particules.



Figure 12 : Extraction par macération

Le mélange est filtré pour séparer le liquide contenant les composés actifs des résidus végétaux solides. Le liquide filtré, est ensuite soumis à une évaporation par rotavapor. Cette étape permet de concentrer les extraits en éliminant le solvant, sans augmenter la température au-delà de la tolérance des composés thermosensibles. L'éthanol s'évapore rapidement sous l'effet de la rotation et de la réduction de pression dans le rotavapor, ce qui permet de récupérer un extrait concentré.

La lyophilisation, ou dessiccation par congélation, est le processus final, qui assure l'obtention d'un extrait sec. L'extrait concentré est d'abord congelé, solidifiant l'eau résiduelle en glace. Dans le lyophilisateur, la glace est transformée directement en vapeur sous l'effet d'une pression très basse et d'une légère chaleur. Cela élimine l'eau sans liquéfaction, assurant que les composés actifs sont préservés dans un état sec et stable (**Barbosa *et al.*, 2015**).

La lyophilisation préserve les composés bioactifs en éliminant l'eau par sublimation à basse température, évitant leur dégradation. Elle produit des extraits secs stables à long terme, car l'absence d'humidité empêche la contamination microbienne et l'oxydation, tout en offrant un produit léger, facile à manipuler et à réhydrater.

II.3.b. Par Ultrasons

Dans cette étude, l'extraction des composés bioactifs s'effectue à l'aide d'un bain à Ultrasons fonctionnant à une fréquence de 50/60 Hz et une puissance maximale de 195 W (**Fig. 13**). Pour cela, 20 grammes de poudre de plante sont mis en suspension dans un mélange de 200 ml d'éthanol à 50 % et d'eau distillée, dans un bécher de 500 ml. Ce mélange est soumis aux ultrasons à 40 °C pendant 30 minutes, conformément à la méthode de **Xu et al. (2017)**. Après l'extraction, l'éthanol est évaporé à l'aide d'un rotavapor pour concentrer l'extrait, lequel est ensuite lyophilisé pour obtenir un produit sec et stable (**Fig. 14**).



Figure 13 : Extraction dans un bain à Ultrasons

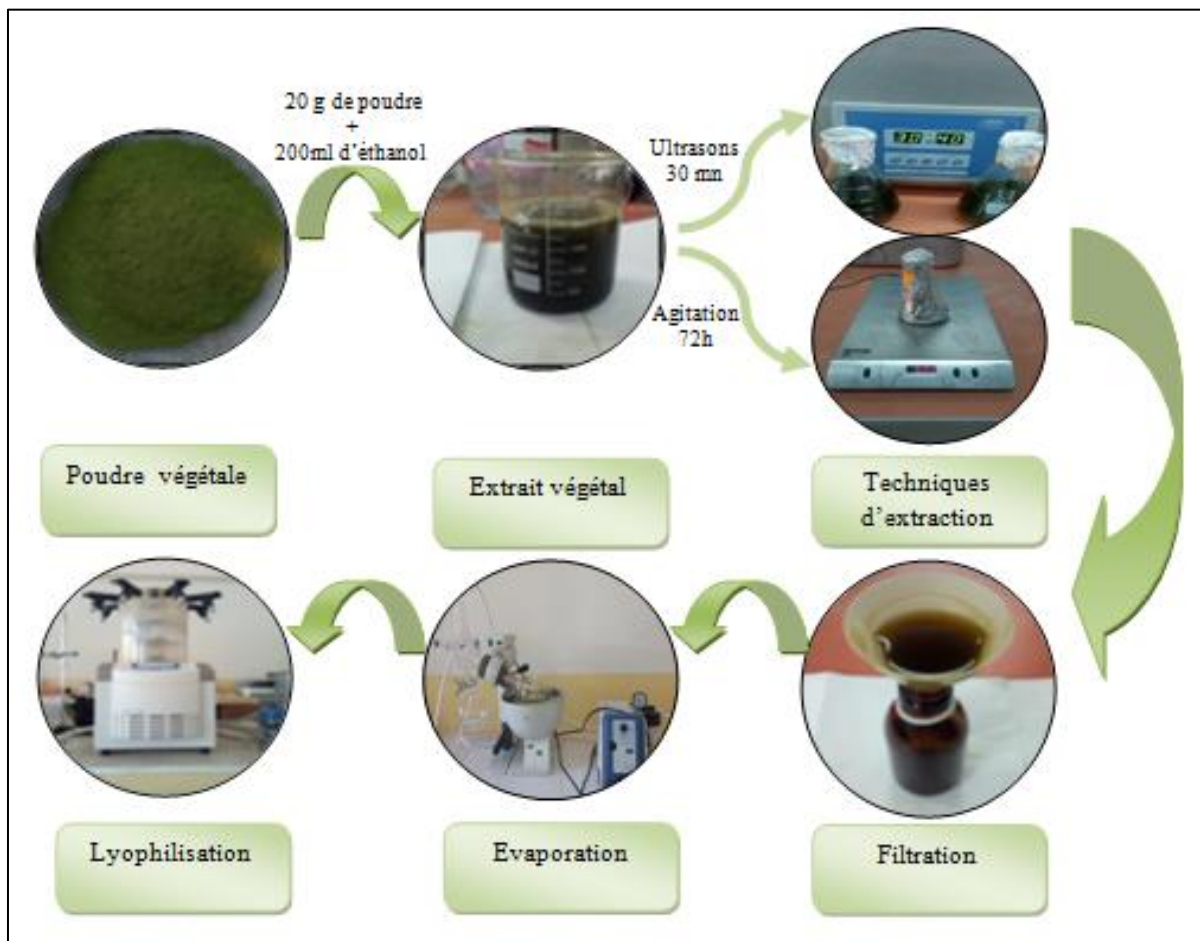


Figure 14 : Protocol d'extraction

Le rendement sec d'extraction représente la quantité de matière sèche obtenue après l'évaporation des solvants utilisés dans le processus d'extraction. Ce rendement est un indicateur important pour évaluer l'efficacité de la méthode d'extraction employée. Il est calculé en rapportant la masse de l'extrait sec obtenu à la masse initiale de la matière végétale utilisée, puis en multipliant par 100 pour obtenir un pourcentage selon la formule de Carré (1953) :

$$R (\%) = (Me/Ms) * 100$$

Me : Masse de l'extrait obtenu sec

Ms : Masse de matière végétale sèche

II.4. Screening phytochimique qualitative des extraits végétaux

L'analyse repose sur une approche qualitative utilisant des réactions de coloration et de précipitation. Ces tests en tube font appel à des réactifs spécifiques pour chaque classe de composés chimiques. L'objectif est d'identifier de manière préliminaire la présence de certains métabolites secondaires dans les extraits examinés

II.4.1. Caractérisation des alcaloïdes

Le test de Mayer est une méthode utilisée pour identifier la présence d'alcaloïdes dans des échantillons végétaux (Sofowora, 1982 ; Memelink *et al.*, 2001). Pour effectuer ce test, 1 gramme de poudre de plante est d'abord macéré avec 10 millilitres d'HCl à 1 % pendant une période de 24 heures. Après cette macération, l'extrait est filtré et alcalinisé en ajoutant quelques gouttes d'ammoniaque (NH₄OH à 10 %) jusqu'à ce que le pH atteigne 8. Ensuite, 5 millilitres de chloroforme sont utilisés pour extraire le filtrat, qui est ensuite évaporé pour obtenir un résidu, puis dissous à nouveau dans 5 millilitres d'HCl à 1 %. Pour réaliser le test, on ajoute quelques gouttes du réactif de Mayer au précipité obtenu. La présence d'un précipité blanc indique la présence d'alcaloïdes.

II.4.2. Caractérisation des polyphénols

D'après Wong *et al.* (2006), la caractérisation des polyphénols s'effectue en ajoutant une goutte de chlorure ferrique (FeCl₃) à 2 % à 2 millilitres d'un extrait méthanolique, préparé par macération pendant 24 heures. La présence de polyphénols est révélée par l'apparition d'une coloration qui peut varier entre le bleu-noirâtre et le vert, de nuances plus ou moins foncées.

II.4.3. Caractérisation des flavonoïdes

Selon Benzahi (2001), la détection des flavonoïdes se réalise en traitant 2 millilitres d'un extrait filtré, obtenu par macération de 5 grammes de matériel végétal en poudre pendant 24 heures, avec 50 millilitres d'HCl à 1 %. Après avoir ajouté quelques gouttes d'ammoniaque (NH₄OH) pour atteindre un pH de 8, la présence de flavonoïdes est indiquée par un changement de couleur vers un jaune clair en milieu basique. Cela peut également suggérer la présence d'anthocyanes parmi les flavonoïdes identifiés.

II.4.4. Caractérisation des tanins

Selon **Trease et Evans (1987)**, la détection des tanins catéchiques et galliques se fait en ajoutant 2 à 3 gouttes de trichlorure ferrique (FeCl_3) à 1 % à 1 millilitre d'un extrait aqueux préparé au préalable. Après quelques secondes d'incubation, l'apparition d'une coloration bleu-verdâtre indique la présence de tanins catéchiques, tandis qu'une teinte bleu-noirâtre signale la présence de tanins galliques.

II.4.5. Caractérisation des saponines

Bruneton (1999) décrit une méthode pour détecter les saponosides en mesurant l'indice de mousse. Pour ce faire, 5 grammes de matière végétale sèche sont mélangés avec 100 millilitres d'eau distillée dans un bécher, puis la solution est portée à ébullition pendant 30 minutes. Après refroidissement, le filtrat est complété à 100 millilitres avec de l'eau distillée. Ensuite, dans un tube à vis, 2 millilitres de l'extrait dilué sont ajoutés, et la solution est vigoureusement agitée horizontalement pendant 15 secondes. Après une période de repos de 15 minutes, la hauteur de la mousse résiduelle est mesurée en centimètres. L'évaluation de l'indice de mousse s'effectue selon le protocole suivant :

- Pas de mousse = test négatif
- Mousse moins de 1 cm = test faiblement positif
- Mousse de 1-2 cm = test positif
- Mousse plus de 2 cm = test très positif

II.4.6. Caractérisation des quinones libres

Selon **Oloyede (2005)**, la détection des quinones libres se réalise en ajoutant quelques gouttes de NaOH à 1 % à un extrait méthanolique préalablement filtré et concentré à l'aide d'un rotavapor. L'apparition d'une coloration jaune, rouge ou violette révèle la présence de quinones libres.

II.4.7. Caractérisation des terpénoïdes

Pour identifier la présence de terpénoïdes, on recommande de mélanger 2 millilitres de l'extrait méthanolique avec 1 millilitre de chloroforme, suivi de l'ajout progressif de 2 millilitres d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). L'apparition de deux phases distinctes accompagnées d'une coloration marron à l'interface indique la présence de terpénoïdes (**Edeoga et al., 2005**).

II.4.8. Caractérisation des sucres réducteurs

Trease et Evans (1987) indiquent que le test des sucres réducteurs consiste à ajouter 1 millilitre de la liqueur de Fehling (un mélange préparé à partir de 0,5 ml de réactif A et 0,5 ml de réactif B) à 5 millilitres d'extrait. La solution est ensuite chauffée au bain-marie, et la formation d'un précipité rouge brique indique un résultat positif.

II.5. Analyse quantitative des extraits phénoliques

II.5.1. Dosage des polyphénols totaux

Pour estimer la teneur totale en composés phénoliques, le protocole adapté de **Wong et al. (2006)** est utilisé. Tout d'abord, 500 µl de réactif de Folin-Ciocalteu dilué à 10 % avec de l'eau distillée (v/v) sont ajoutés à une aliquote de 500 µl diluée avec le solvant d'extraction approprié. Après une incubation de 4 minutes dans l'obscurité, 800 µl de carbonate de sodium à 7,5 % sont ajoutés. Les tubes à essai sont ensuite incubés à température ambiante pendant 30 minutes.

La concentration totale en composés phénoliques est déterminée à une longueur d'onde de 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS modèle SP-3000 nano. Cette mesure est basée sur une courbe d'étalonnage ($Y = 0,0099 x + 0,0204$; $R^2 = 0,9995$) (**Fig. 15**), élaborée en utilisant l'acide gallique comme référence standard pour les acides phénoliques. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g).

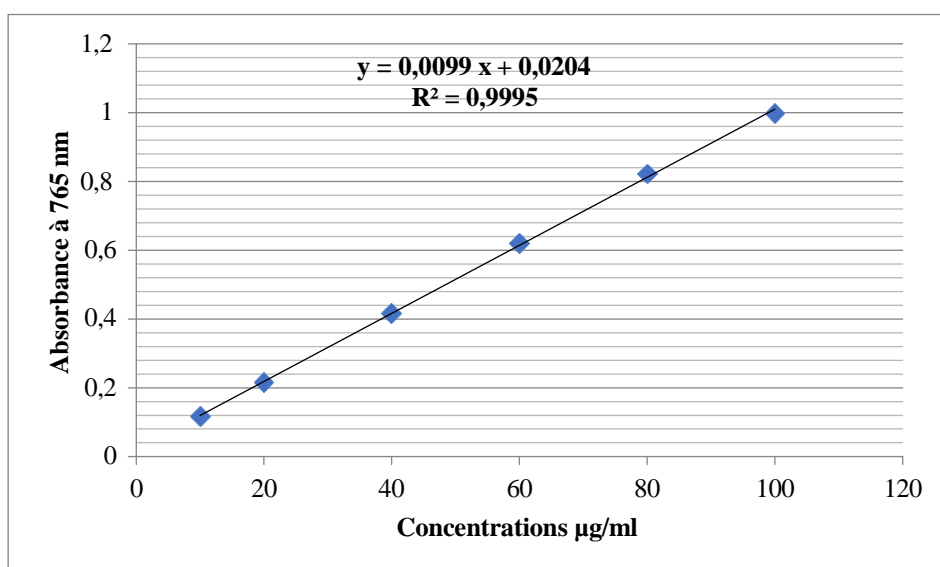


Figure 15 : Courbe d'étalonnage acide gallique (µg/ml)

II.5.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode décrite par **Alara *et al.* (2018)**. Pour ce faire, 1 ml de chaque extrait dilué est mélangé avec 1 ml de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 2 % (préparé dans du méthanol) dans des tubes à essai. Les mélanges sont ensuite incubés à température ambiante, dans l'obscurité, pendant 1 heure. La concentration en flavonoïdes est mesurée à une longueur d'onde de 420 nm, et déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage ($Y = 0,0123x + 0,1242$; $R^2 = 0,9994$) (**Fig. 16**), construite en utilisant la quercétine comme standard. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents quercétine par gramme d'extrait (mg EQ/g).

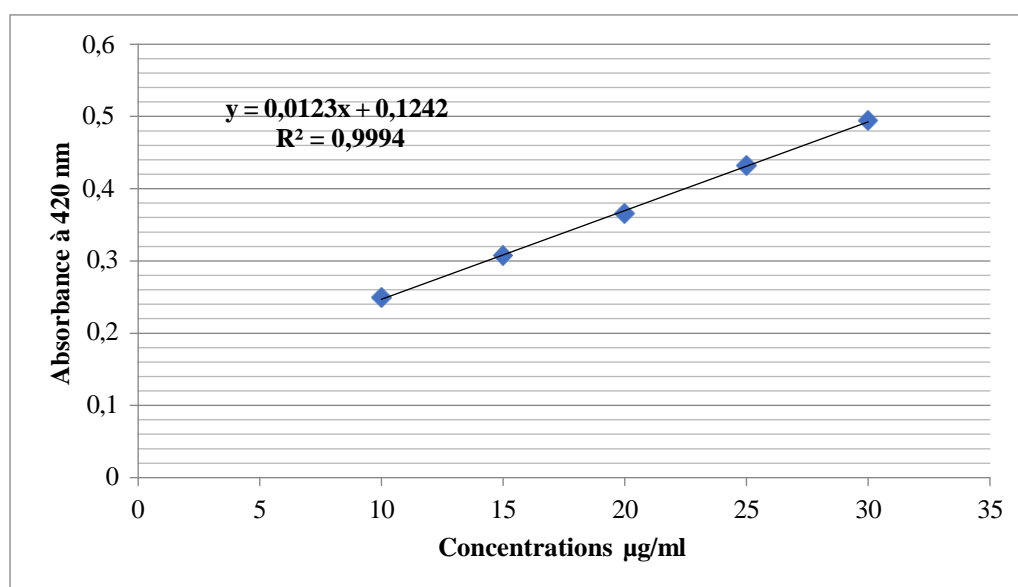


Figure 16 : Courbe d'étalonnage quercétine ($\mu\text{g/ml}$)

II.6. Extraction des huiles essentielles par hydro-distillation

La technique d'hydrodistillation est couramment employée pour l'extraction des huiles essentielles à partir de matrices végétales. Ce procédé utilise un appareil de type Clevenger, introduit par **Clevenger en 1928 (Fig. 17)**. L'extraction s'effectue à une température de 100°C , sous pression atmosphérique, permettant ainsi de libérer les composés volatils contenus dans les cellules des plantes. Typiquement, l'extraction dure environ trois heures à partir de la première goutte recueillie, et utilise 50 grammes de poudre végétale dissous dans 500 millilitres d'eau distillée.



Figure 17 : Appareil d'extraction des huiles essentielles type Clevenger

Les composés volatils sont condensés à l'aide d'un réfrigérant et recueillis dans des tubes ombrés. Les huiles essentielles ainsi obtenues sont ensuite stockées à 4°C pour une préservation optimale en vue d'analyses ultérieures. Le rendement en huiles essentielles (RHE) est calculé en divisant la masse d'huile essentielle extraite (MH) par la masse initiale de la matière végétale utilisée (MV). Ce rendement est exprimé sous forme de pourcentage, conformément à la méthode décrite par **Zrira *et al.* (1995)**, afin de quantifier précisément la quantité d'huiles essentielles par rapport à la masse sèche du matériel végétal.

II.7. Caractérisation chromatographique des huiles essentielles

La caractérisation chromatographique des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii* est cruciale pour déterminer leur composition chimique en détail. Cette analyse permet d'identifier et de quantifier les différents composés présents dans les huiles essentielles, contribuant ainsi à mieux comprendre leur efficacité insecticide et leurs propriétés pharmacologiques. La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une méthode largement utilisée pour l'analyse des huiles essentielles en raison de sa capacité à séparer les composés volatils des échantillons.

Dans cette étude, les analyses chromatographiques sont réalisées à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse de type Chrompack CP 9002 avec régulation électronique de pression. L'appareil est équipé d'une colonne capillaire en silice fondue de type DB-5 (30 m de longueur, 0,25 mm de diamètre interne et 0,25 µm d'épaisseur de film), d'un détecteur à ionisation de flamme (réglé à 280 °C, alimenté par un mélange de gaz H₂/air), et d'un injecteur split-splitless réglé à 250 °C. Le gaz vecteur utilisé est l'azote, avec un débit de 1 ml/min. Le mode d'injection est split, avec un rapport de 1/50 (débit de fuite de 66 ml/min). La température de la colonne est programmée de 50 °C (maintenue pendant 3 minutes) à 250 °C, à un rythme de 2 °C/min, et stabilisée à 250 °C pendant 10 minutes.

L'identification des constituants est réalisée par co-injection avec des standards commerciaux qui sont utilisés chaque fois que possible, en même temps est faite par comparaison de leurs spectres de masse (MS), de leurs indices de rétention (RI), et de leurs indices de Kováts (IK) avec ceux des bases de données (**Adams, 2007**). Pour évaluer la composition des huiles essentielles d'armoise et de romarin, les pourcentages relatifs des différents composés sont calculés à partir des aires des pics chromatographiques. Ces résultats ont permis de comparer les profils chimiques des huiles essentielles étudiées avec ceux rapportés dans d'autres études menées dans diverses régions géographiques.

II.8. Matériel biologique animal

Le petit capucin des céréales, *R dominica*, de la famille des Bostrichidae (**Fisher, 1950**), constitue le principal ravageur des céréales stockées dans de nombreuses régions du monde. Il se développe dans les Poaceae ainsi que dans d'autres substrats riches en amidon, tels que les légumineuses (**Chittenden, 1911 ; Potter, 1935**). Les grains infestés par *R. dominica* dégagent une odeur sucrée caractéristique, attribuée aux phéromones d'agrégation sécrétées par les mâles. De plus, l'alimentation des adultes génère de grandes quantités de déjections contenant des exuvies larvaires, des fragments d'insectes immatures et d'autres résidus (**Fig. 18**), qui peuvent altérer la qualité finale des grains infestés (**Khorramshahi et Burkholder, 1981 ; Sanchez-Marinez et al., 1997 ; Edde, 2012**).



Figure 18 : Grains de blé infestés par *Rhyzopertha dominica*

T. castaneum, un coléoptère de la famille des Tenebrionidae, est reconnu comme l'un des principaux ravageurs des grains stockés et des produits dérivés de farine (**Fig. 19**). Cet insecte est largement répandu dans les régions tropicales et les zones tempérées chaudes. Le contrôle à long terme de ce ravageur repose principalement sur l'utilisation d'insecticides à effet prolongé. Toutefois, il a développé une résistance significative à la plupart des principaux groupes d'insecticides chimiques (**Collins, 1990 ; Matthews, 1993**).



Figure 19 : Dégâts de *Tribolium castaneum* sur blé

L'élevage des insectes sélectionnés se réalise dans un incubateur phytotron, maintenu à une température de 25 ± 2 °C et une humidité relative de 75 ± 5 %, sur des grains de blé dur de la variété « Sémito », cultivée dans la région agricole de Bouira (Algérie). Il est important de noter que ces grains n'ont subi aucun traitement chimique durant leur stockage, afin d'éviter toute interférence potentielle. Les adultes de *R. dominica* et de *T. castaneum* sont conservés séparément dans des bocaux en verre de 500 mg, recouverts d'un filet perforé pour assurer une bonne aération (**Fig. 20**). Les grains de blé sont désinfectés en étant placés au réfrigérateur à -24 °C pendant 48 heures, puis chauffés dans une étuve à 100 °C pendant 2 heures. Avant leur utilisation, ces grains sont légèrement humidifiés avec de l'eau stérile. Les adultes nouvellement émergés des deux espèces, sont transférés sur de nouveaux grains de blé par tamisage, une opération répétée tous les 30 jours pendant plusieurs mois. Seuls les adultes sont utilisés pour les tests de toxicité, et toutes les expériences sont menées dans les mêmes conditions environnementales.



Figure 20 : Elevage des insectes

II.9. Activité insecticide des extraits bruts et des huiles essentielles

II.9.1. Tests insecticides préliminaires

Des essais insecticides préliminaires sont réalisés afin de définir la plage de concentrations à utiliser pour les tests de toxicité des extraits bruts et des huiles essentielles des plantes ciblées, en direction des adultes de *R. dominica* et *T. castaneum*. En se basant sur ces résultats, les concentrations sont sélectionnées comme suit :

Les extraits bruts secs sont dissous dans un solvant hydro-alcoolique (éthanol et eau) pour obtenir cinq niveaux de concentration : 50 mg/ml, 100 mg/ml, 200 mg/ml, 400 mg/ml. En ce qui concerne les huiles essentielles, elles sont diluées dans de l'acétone pour obtenir six concentrations différentes : 1 µl/ml, 2 µl/ml, 3 µl/ml, 4 µl/ml, 5 µl/ml, 6 µl/ml qui seront utilisées pour les tests de contact.

II.9.2. Effet insecticide des extraits bruts de *Z. lotus* et de *D. viscosa*

Le plan expérimental pour le test insecticide est entièrement aléatoire, comprenant trois répétitions pour chaque concentration de l'extrait hydro-alcoolique (éthanol et eau). Vingt individus de chaque espèce de coléoptère (*R. dominica* et *T. castaneum*), tous de taille similaire et issus du même élevage, sont placés dans des boîtes de Pétri. Les essais se déroulent selon la méthode décrite par **De Cássia et al. (2010)**, où les insectes sont traités avec des extraits de chaque plante à différentes concentrations. Chaque solution (1 µl) est appliquée directement sur la face dorsale des adultes à l'aide d'une micropipette. Après un temps d'exposition de 10 minutes à l'air libre, les insectes sont transférés séparément dans des bocaux en verre d'une capacité de 75 g, recouverts d'un tissu en organza et contenant 10 g de grains de blé stériles (grains entiers pour *R. dominica* et grains concassés pour *T. castaneum*) (**Fig. 21**). Les bocaux sont incubés dans des conditions contrôlées à 25 °C ± 2 et 75 % d'humidité relative. Pour chaque test de toxicité, des témoins sont traités avec de l'éthanol, afin de déterminer les taux de mortalité corrigés et d'estimer les concentrations létales (CL50). Le nombre d'insectes morts est enregistré toutes les 24 heures pendant 5 jours. Les insectes sont considérés comme morts lorsqu'ils montrent des signes de paralysie et d'immobilité au toucher d'une brosse en silicone pendant 60 secondes sous une loupe binoculaire. Les taux de mortalité sont calculés et corrigés selon la formule d'**Abbott (1925)** :

$$M\% = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

M : Taux de mortalité

M₀ : Taux de mortalité dans les lots traités

M_t : Taux de mortalité dans les lots témoins



Figure 21 : Lots des tests de contact

II.9.3. Effet insecticide des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii*

Les tests de contact suivent la méthodologie de **Conti *et al.* (2011)**. Les individus sont traités avec des huiles essentielles d'*A. arborescens* et *R. tournefortii*, diluées dans de l'acétone (50 %) aux concentrations de 1, 2, 3, 4, 5 et 6 µl/ml. Un volume de 1 µl de chaque solution est appliqué sur la face dorsale des adultes de *R. dominica* et *T. castaneum* (**Fig. 22**). Les individus traités sont ensuite séchés à l'air libre pendant 10 minutes avant d'être placés dans des bocaux en verre contenant 10 g de grains de blé stériles. Le dispositif expérimental pour le test insecticide est entièrement randomisé, avec trois répétitions par concentration, et l'acétone (50 %) sert de contrôle négatif. La mortalité des insectes est relevée toutes les 24 heures pendant une période d'exposition de 5 jours.

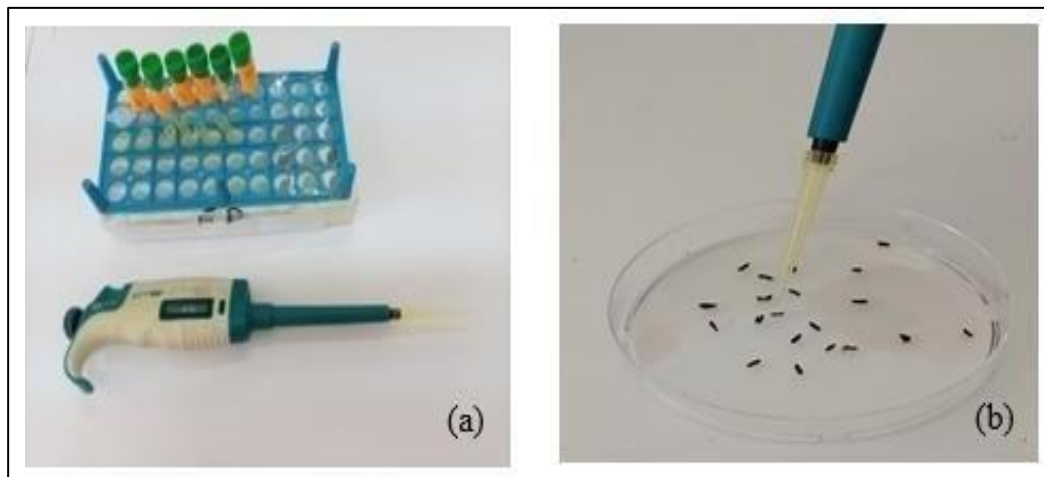


Figure 22 : Réalisation des bio essais

(a) : Doses préparées, (b) : Application de traitement.

II.10. Analyse des résultats

L'activité insecticide des extraits hydro-éthanoliques et des huiles essentielles est exprimée en taux de mortalité (%) (moyenne \pm écart type). Les données sont traitées par une analyse ANOVA, complétée par les tests de comparaison de Tukey et Duncan, à l'aide du logiciel Graph Pad Prism 8.0.2 pour évaluer les taux de mortalité des différents traitements. Par ailleurs, la régression probit des taux de mortalité en fonction des logarithmes des concentrations et du temps est réalisée à l'aide du logiciel SPSS 28 pour déterminer les valeurs de CL_{50} (Finney, 1971).

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

La région de Bouira renferme une flore très riche et moins valorisée. Parmi cette végétation qui se minimise, on trouve les plantes médicinales traditionnellement utilisées par nos ancêtres à des fins thérapeutiques.

Un des axes de recherche développé par notre laboratoire consiste à valoriser et à caractériser de nouvelles molécules bioactives à partir de plantes médicinales. A cet effet, différentes étapes sont mises en jeu dont les deux principales sont l'extraction et l'identification des substances d'intérêts, les processus comprennent des analyses phytochimiques et des tests biologiques.

Ce chapitre donc se consacre à l'exposition et à l'analyse des résultats obtenus au cours de cette étude, visant à évaluer l'activité insecticide des extraits de plantes et des huiles essentielles sur deux ravageurs d'importance économique pour les produits stockés, *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium castaneum*. En tenant compte des particularités de chaque extrait et des huiles essentielles étudiés, nous aborderons les résultats de manière comparative avec ceux de la littérature existante. Cette approche permet de situer nos travaux dans un contexte scientifique plus large, tout en soulignant les aspects innovants et les spécificités de notre étude, notamment l'utilisation combinée de quatre plantes spontanées collectées dans la région de Bouira.

Dans ce cadre, nous présenterons d'abord les résultats de la caractérisation des extraits et des huiles essentielles, puis leur activité insecticide par des tests de contact, en établissant des comparaisons avec des travaux similaires, en particulier ceux réalisés en Algérie.

III.1. Rendement en huile essentielle

Le rendement en huiles essentielles des espèces végétales étudiées est exprimé en pourcentage, calculé par rapport à la quantité de matière végétale sèche utilisée pour l'extraction. Les valeurs correspondantes sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Rendement des huiles essentielles (%)

Espèce végétale	<i>Artemisia arborescens</i>	<i>Rosmarinus tournefortii</i>
Rendement en huile (%)	2,4 %	1,8 %

Dans cette étude, l'huile essentielle d'*A. arborescens* présente un rendement de 2,4 %, ce qui témoigne de sa richesse et de la qualité de notre extraction. Ce rendement, relativement élevé, est un indicateur favorable des conditions spécifiques de culture et de distillation appliquées, contribuant à maximiser la production d'huile essentielle.

En comparaison, **Younes (2015)** à Tlemcen, observe des rendements en huile essentielle variant entre 0,31 % et 1,64 % selon les facteurs de localisation et la date de récolte. Par exemple, les plantes récoltées dans la région de Nedroma affichent un rendement de 1,64 %, supérieur à ceux observés dans d'autres régions telles que Béni Snous (0,52 %), Bidar (0,31 %) et Chetouane (0,64 %). Cependant, notre rendement de 2,4 % demeure supérieur à ces résultats, ce qui indique une qualité et une concentration en composés volatils remarquables dans notre huile.

A l'échelle internationale, les rendements rapportés pour *A. arborescens* restent également inférieurs à notre résultat. En Sicile (Italie), **Lai et al. (2006)** ont obtenu un rendement de 0,8 % par distillation à vapeur, une valeur appréciable mais inférieure à celle observée dans notre étude. En Sardaigne, deux études montrent des rendements inférieurs : **Sinico et al. (2005)** rapportent un rendement de 0,8 % avec un appareil de type Clevenger, tandis que **Militello et al. (2011)** mentionnent un rendement de 0,33 % obtenu par distillation à vapeur.

En résumé, le rendement de 2,4 % obtenu dans notre étude se distingue positivement par rapport aux rendements rapportés dans la littérature, tant nationale qu'internationale. Ce résultat reflète non seulement l'efficacité de notre méthode d'extraction mais aussi la qualité exceptionnelle de l'huile essentielle obtenue.

L'hydrodistillation des parties aériennes de *R. tournefortii* dans notre étude a donné un rendement en huile essentielle de 1,8 %, un résultat supérieur à ceux rapportés par les études menées en Algérie et au Maroc. Ce rendement élevé reflète une forte concentration en composés volatils et atteste de la qualité de l'huile obtenue dans notre extraction, probablement influencée par des conditions environnementales spécifiques et une technique d'hydrodistillation optimisée.

En comparaison, **Outaleb et al. (2020)** rapportent un rendement de 1 % pour l'huile essentielle de *R. tournefortii* issue des feuilles dans la région de Bouira, un résultat qui, bien qu'intéressant, demeure inférieur au nôtre. Cette différence pourrait être due à la variation de la partie de la plante distillée (feuilles seules), comparée à notre extraction qui inclut les parties aériennes dans leur intégralité, ce qui favorise une plus grande richesse en huiles essentielles.

Dans la région de Sétif, une étude de **Bendif et al. (2017)** montrent également des rendements inférieurs, avec une variation selon la partie de la plante. Les fleurs présentent le rendement le plus élevé avec 0,89 %, suivies des feuilles avec 0,73 %, tandis que les tiges ne contiennent qu'une quantité modeste d'huile essentielle (0,02 %). En regroupant l'ensemble des parties aériennes, notre rendement de 1,8 % reste nettement supérieur, soulignant une différence notable en termes de concentration et de rendement global.

Menaceur et al. (2016), travaillant dans la région de Tablat en Algérie, ont obtenu un rendement de 1,6 %, proche mais toujours inférieur à notre résultat. Cette légère différence pourrait être influencée par des facteurs locaux tels que l'altitude, le climat ou le stade de croissance au moment de la récolte, autant de paramètres qui impactent directement la production d'huiles essentielles.

Enfin, au Maroc, **Fadel et al. (2011)** ont obtenu un rendement de 1,2 % pour *R. tournefortii*, un taux supérieur à certaines études algériennes mais qui reste en dessous de notre rendement de 1,8 %. Cette différence peut être attribuée aux variations géographiques et climatiques entre l'Algérie et le Maroc, ainsi qu'aux techniques de récolte et de distillation.

En conclusion, notre rendement de 1,8 % pour l'huile essentielle de *R. tournefortii* se distingue par sa supériorité par rapport aux études nationales et régionales, attestant de la qualité particulière de notre huile essentielle. Ce résultat témoigne également de l'efficacité de notre processus de distillation, mettant en lumière l'importance de facteurs comme le choix des parties de la plante et les spécificités locales pour optimiser le rendement en huiles essentielles.

III.2. Rendement sec d'extraction

Les rendements secs des extraits phénoliques hydro-éthanoliques obtenus par l'extraction assistée aux Ultrasons sont illustrés dans la **figure 23** suivante :

Le graphique montre les rendements secs (%) de quatre espèces végétales (*R. tournefortii*, *Z. lotus*, *A. arborescens* et *D. viscosa*) avec une analyse statistique indiquant des différences significatives entre elles (lettres a, b, c, d). *R. tournefortii* affiche le rendement le plus élevé (~40 %), suivi de *Z. lotus* (~30 %), tandis que *A. arborescens* (~25 %) et *D. viscosa* (~20 %) ont des rendements plus faibles. Les lettres distinctes suggèrent que chaque groupe est statistiquement différent, confirmant que *R. tournefortii* surpasse significativement les autres espèces, tandis que *Z. lotus* est également supérieur à *A. arborescens* et *D. viscosa*, qui diffèrent entre elles.

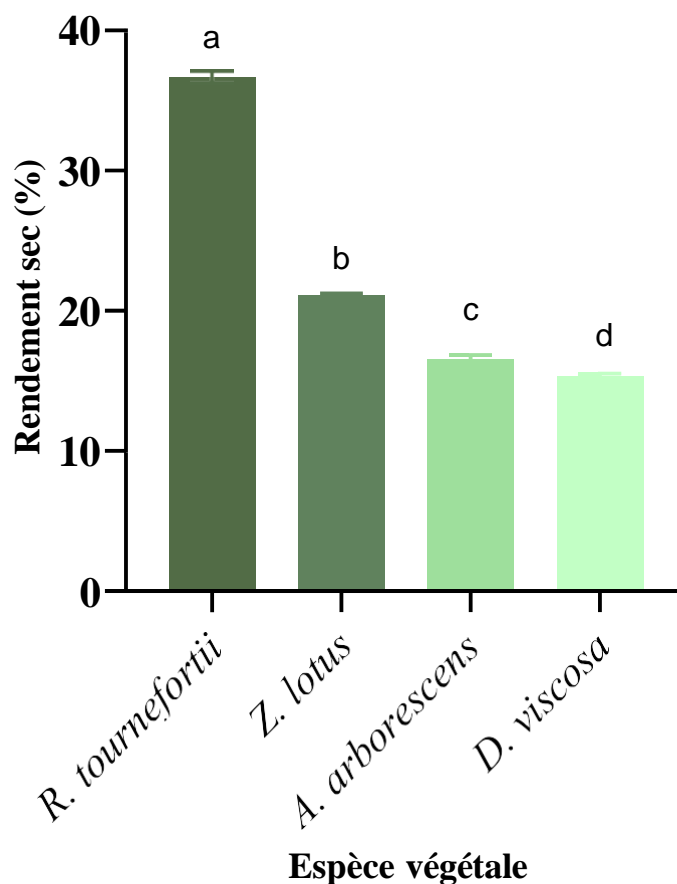


Figure 23 : Rendement sec en % des extraits phénoliques obtenus par extraction assistée aux Ultrasons

Les rendements d'extraction hydro-éthanolique assistée par Ultrasons révèlent une variation notable en fonction du poids de la matière sèche des plantes étudiées. *R. tournefortii* affiche un rendement particulièrement élevé ($36,67 \pm 0,4$ %), montrant une proportion importante d'extraits obtenus par rapport à la matière sèche initiale. Ce rendement élevé fait du romarin une plante prometteuse en termes de quantité d'extrait récupéré. *Z. lotus* suit avec un rendement modéré de $21,09 \pm 0,16$ %, représentant une extraction efficace en proportion de la matière sèche. *A. arborescens* et *D. viscosa*, avec des rendements plus modestes de $16,57 \pm 0,28$ % et $15,35 \pm 0,18$ % respectivement, suggèrent une quantité moindre d'extrait par rapport à leur matière sèche, tout en restant intéressants pour leurs profils d'extraits spécifiques. Par ailleurs, les résultats révèlent que les rendements des extraits hydro-éthanoliques des quatre plantes étudiées, exprimés en pourcentage par rapport au poids de la matière sèche, sont significativement élevés ($P < 0,05$). Ce constat souligne l'efficacité de ce solvant pour extraire une quantité importante de matière à partir de ces plantes, renforçant ainsi son potentiel en tant que méthode d'extraction pour des sources d'extraits exploitables.

Les rendements obtenus pour les extraits hydro-éthanoliques par Ultrasons montrent une variation en fonction des espèces étudiées, cohérente avec les tendances observées dans la littérature. Par exemple, notre rendement de 36,67 % pour *R. tournefortii* dépasse celui obtenu par **Menaceur et Hazzit (2014)**, qui rapportent un rendement de 30,6 % pour la même espèce en utilisant l'extraction éthanolique au Soxhlet. Cette augmentation de rendement pourrait être attribuée à l'efficacité accrue des Ultrasons. En effet, **Meraghni (2019)**, dont l'échantillon de *R. tournefortii* provient de Souk-Ahras, a obtenu pour cette espèce des rendements de 17,06 % pour l'extrait méthanolique, 17,66 % pour l'extrait aqueux, et 18,8 % pour l'extrait méthanolique soniqué. La hausse observée pour l'extrait méthanolique assisté à l'Ultrasons illustre bien l'effet bénéfique des Ultrasons. Par ailleurs, **Amraoui et al. (2022)** montrent qu'un extrait aqueux de *R. tournefortii* collecté à Sétif atteint seulement 9,62 %, un rendement inférieur qui pourrait s'expliquer par l'absence de sonication, soulignant ainsi l'importance de cette technique dans nos propres résultats.

Les résultats obtenus pour *Z. lotus* indiquent un rendement d'extraction de 21,09 %. Cette valeur peut être mise en perspective avec celle rapportée par **Khouchlaa et al. (2017)** au Maroc, qui, en travaillant également sur *Z. lotus*, ont observé que différentes fractions de l'extrait brut des feuilles de jujubier présentent des rendements variables. L'extrait de méthanol atteint ainsi un rendement notable de 31,08 %, tandis que les fractions à l'hexane et au dichlorométhane montrent des valeurs plus faibles, de 2,28 % et 2,02 % respectivement. Par ailleurs, une étude de **Letaief et al. (2021)** en Tunisie indique un rendement de 9,23 % pour l'extrait éthanolique des feuilles de *Z. lotus*, ce qui contraste avec nos résultats. Ces différences peuvent être attribuées à divers facteurs, tels que les conditions climatiques, les méthodes d'extraction ou encore la partie de la plante utilisée, soulignant ainsi l'importance de ces paramètres dans l'obtention des extraits.

Le rendement de 16,57 % obtenu pour *A. arborescens* dans notre étude est nettement supérieur à celui rapporté par **Al-Maqtari et al. (2021)** pour la même espèce au Yémen, où un rendement de seulement 4 % a été obtenu en utilisant l'extraction par fluide supercritique au dioxyde de carbone (SFE-CO₂) sur les parties aériennes de la plante. A notre connaissance, il s'agit de la seule étude disponible permettant de comparer notre résultat, ce qui met en évidence la spécificité de notre rendement et de notre méthode expérimentale pour cette espèce. En outre, il existe peu de données disponibles pour comparer les rendements des extraits bruts d'*A. arborescens*, car la majorité des recherches se concentrent principalement sur le rendement et la composition de ses huiles essentielles.

Le rendement de 15,35 % obtenu pour *D. viscosa* dans notre étude se révèle relativement modeste. En comparaison, **Mssillou et al. (2022)** ont effectué une extraction éthanolique des feuilles de *D. viscosa* au Maroc et ont obtenu un rendement supérieur, atteignant 21 %. Ces résultats montrent une variation notable, probablement due aux conditions environnementales, aux méthodes de traitement des plantes, ou aux différences dans les protocoles d'extraction. Par ailleurs, **Sevgi et al. (2021)** ont étudié les rendements des extraits éthanoliques de *D. viscosa* en Turquie, obtenant des pourcentages variables entre 12 % et 22 % pour les spécimens d'Istanbul et entre 14 % et 15 % pour ceux de Marmaris. Ces valeurs illustrent une hétérogénéité des rendements selon les régions géographiques, suggérant que le climat et le sol pourraient influencer la composition chimique des extraits. Ces auteurs soulignent également que l'extraction à l'éthanol constitue une stratégie efficace pour isoler des molécules bioactives avec des rendements plus élevés que d'autres techniques d'extraction. L'éthanol, en raison de sa polarité, permet en effet d'extraire une gamme large de composés bioactifs, notamment les polyphénols et les flavonoïdes, reconnus pour leurs propriétés biologiques. Nos résultats, bien que modestes, confirment cette observation et encouragent l'utilisation de l'éthanol dans des études futures afin d'optimiser l'obtention de molécules d'intérêt.

Le rendement de l'extraction varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'espèce végétale, l'organe utilisé, ainsi que la nature et la polarité du solvant. Ce rendement dépend également du matériel végétal et de la méthode d'extraction, qui influencent tous les teneurs en composés extraits. Ces différences de rendement mettent ainsi en lumière la variabilité propre à chaque plante, ouvrant la voie à des applications diversifiées selon les caractéristiques spécifiques de leurs extraits.

Dans cette étude, nous avons choisi de calculer uniquement le rendement sec d'extraction par la méthode assistée aux Ultrasons et non par la macération. Cette décision est justifiée par une revue des travaux précédents, notamment celui de **Saada et al. (2022)**, qui montre que l'extraction par Ultrasons offre des rendements supérieurs et optimise l'extraction des composés bioactifs par rapport à la macération. En effet, l'application des Ultrasons permet une rupture plus efficace des parois cellulaires, facilitant ainsi la libération des métabolites secondaires de la plante. De plus, cette technique réduit le temps d'extraction et diminue la consommation de solvant, ce qui en fait une méthode plus performante et plus efficace pour obtenir un extrait concentré et de haute qualité (**Chemat et al., 2017 ; Zhang et al., 2018 a ; Oprescu et al., 2022**).

III.3. Screening phytochimique qualitative des extraits végétaux

Les extraits des espèces végétales *A. arborescens*, *R. tournefortii*, *D. viscosa* et *Z. lotus* préparés par la méthode d'extraction assistée aux Ultrasons ont fait l'objet de quelques tests phytochimiques basés sur des phénomènes de précipitation et de changement de couleur qui permettent de mettre en évidence la présence ou l'absence de certaines substances recherchées.

Le **tableau 3** représente les résultats du screening phytochimique classés en fonction des observations à savoir une réaction positive (+) ou négative (-). Le screening phytochimique a permis d'enregistrer la présence d'un groupe de métabolites secondaires, comprenant des alcaloïdes, des polyphénols, des flavonoïdes, des tanins, des terpénoïdes, des saponines, des quinones et des sucres réducteurs.

Tableau 3 : Résultats du screening phytochimique des extraits des espèces végétales étudiées

Espèces végétales	<i>Artemisia arborescens</i>	<i>Rosmarinus tournefortii</i>	<i>Dittrichia viscosa</i>	<i>Ziziphus lotus</i>
Alcaloïdes	++	-	-	-
Polyphénols	+++	+++	+++	+++
Flavonoïdes	+	+++	+	+
Tannins	+++	+++	+++	+++
Saponines	+	++	+	+++
Quinones	+	-	-	+
Terpénoïdes	++	-	++	-
Sucres réducteurs	-	+	-	+

+ : Présence ++ Forte présence +++ Très forte présence ; - : Absence

Nous remarquons que les plantes étudiées sont plus ou moins riches en métabolites secondaires ce qui laisse prévoir des activités insecticides intéressantes, il s'agit essentiellement de polyphénols, flavonoïdes, tanins, saponines et terpénoïdes.

Les résultats des tests phytochimiques obtenus ont révélé une forte présence des alcaloïdes dans les feuilles d'*A. arborescens* après le test positif de Mayer et l'apparition d'un précipité blanc. En revanche, les autres espèces végétales ne présentent pas de traces d'alcaloïdes détectables.

En effet, la forte présence des composés phénoliques dans les extraits de toutes les plantes analysées pourrait justifier leur utilisation potentielle en thérapie pour l'entretien des

neurones (**Akter et al., 2021**). De plus, ces métabolites sont dotés d'un fort pouvoir antibactérien et antifongique (**Rashed et al., 2014**).

Les résultats des tests de caractérisation des flavonoïdes ont indiqué une forte présence de flavonoïdes dans l'extrait préparé à partir de *R. tournefortii*. En revanche, les réactions sont marquées comme faibles chez l'*A.arborescens*, *D. viscosa* et *Z. lotus*.

D'après **Park et al. (2014)** ; **Carvalho et al. (2018)**, les tanins sont connus pour leurs propriétés antiseptique, antibactérienne, antifongique, antioxydante et anti-inflammatoire. Les extraits des quatre plantes étudiées sont estimés comme très riches en tanins, le test a montré la présence d'une coloration brune verdâtre très intense.

Les résultats expérimentaux des tests phytochimiques de saponines réalisées ont montré que leur présence est très fortement positive uniquement dans l'extrait de *Z. lotus*. *R. tournefortii* est considéré comme espèce très riche en saponines, en revanche chez *A. arborescens* et chez *D. viscosa*, ces métabolites sont de faible présence.

Pour les quinones, un test positif est observé sauf chez *A. arborescens* et *Z. lotus*. En ce qui concerne les terpénoïdes, les résultats des tests phytochimiques obtenus révèlent leur présence moyenne dans les feuilles d'*A. arborescens* et de *D. viscosa*. En revanche, les autres espèces végétales n'ont pas présenté de traces de terpénoïdes.

Les précipités de couleur rouge brique présents dans les extraits du Romarin et du Jujubier confirment leurs contenus en sucres réducteurs. D'un test à l'autre, l'absence de ces sucres est notée chez l'Armoise et chez l'Inule.

Les résultats obtenus dans cette étude sont en accord avec ceux de **Tounsi et al. (2021)**, qui ont révélé par leur tests phytochimiques la présence des tanins, des terpénoïdes des polyphénols et des flavonoïdes, et par d'autres tests l'absence des sucres dans l'extrait préparé à partir des feuilles de *D. viscosa*.

Sur le plan phytochimique, nos résultats sont similaires à ceux obtenus par **Chentouf et al., (2018)** ; **Belgharbi et Meddah (2018)** et **El Maaiden et al. (2019)**, dont les tests de caractérisation des quinones, flavonoïdes, saponines et tanins se sont tous révélés positifs, alors que notre étude a marqué l'absence des alcaloïdes dans les extraits de *Z. lotus*. Contrairement à nos résultats, les tests réalisés par **Cadi et al. (2020)** ont montré que les feuilles du Jujubier sont dépourvues de polyphénols.

Par ailleurs, pour *R. tournefortii*, nous constatons que les différentes réactions ont révélé l'abondance de trois grands groupes chimiques importants ; il s'agit des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins, cependant, les alcaloïdes et les quinones sont inexistantes. Ces résultats concordent avec ceux trouvés par **Meraghni (2019)**.

Concernant la plante *A. arborescens*, le criblage phytochimique a mis en évidence la richesse de l'extrait en polyphénol, tanins, alcaloïdes et terpénoïdes. Les flavonoïdes et les quinones sont présents en faibles quantités, cependant, les sucres réducteurs sont révélés absents.

Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Benmansour *et al.* (2016)**, **Allam (2022)** travaillant sur l'espèce *Artemisia judaica*, qui ont mis en évidence la présence des alcaloïdes, des saponines, des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins. De même **Acheuk *et al.* (2017)** ont révélé la présence de ces molécules ainsi que les coumarines pour la même espèce.

Dans une étude de **Naili *et al.* (2010)** réalisée sur les tests phytochimiques de *Artemisa campestris*, la présence des mêmes métabolites secondaires a été mise en évidence, ce qui est comparable à nos résultats à l'exception des tanins qui se sont révélés dans nos extraits et qui sont absents dans leur étude.

De ce fait, ce qui caractérise particulièrement la famille des Astéracées, c'est le polymorphisme chimique surtout chez les *Artemisia*. Cette variation ou chimio variété peut se présenter d'un peuplement à l'autre ou même d'un individu à l'autre.

Su *et al.* (2006) précisent que la différence dans la composition en métabolites secondaires dépend de plusieurs facteurs à savoir des facteurs exogènes comme l'ensoleillement, la nature et les composants du sol, la température, l'altitude, la différence climatique d'une région à une autre, la méthode d'extraction, la durée de macération du matériel végétal dans le solvant, le solvant utilisé et la partie de la plante étudiée, ainsi qu'aux facteurs endogènes tel que le patrimoine génétique des individus.

III.4. Analyse quantitative des extraits phénoliques

Le criblage phytochimique qualitatif des extraits s'effectue par des réactions spécifiques pour identifier les familles de composés présentes, suivi de dosages quantitatifs pour mesurer les contenus en composés phénoliques et flavonoïdes. Ces analyses quantitatives sont appliquées à l'ensemble des parties végétales sélectionnées, afin de caractériser les substances chimiques exploitables pour leurs propriétés insecticides. Il est essentiel de noter que l'étape d'extraction est cruciale pour valoriser la plante, car la quantité et la qualité des composés extraits dépendent du choix de la méthode d'extraction et du solvant approprié.

III.4.1. Dosage des polyphénols totaux

Les concentrations en polyphénols totaux des extraits issus des partie aériennes d'*A. arborescens*, *R. tournefortii*, *D. viscosa*, et *Z. lotus*, déterminées à partir des courbes d'étalonnage, sont présentées sous forme d'histogramme dans la **figure 24** ci-dessous :

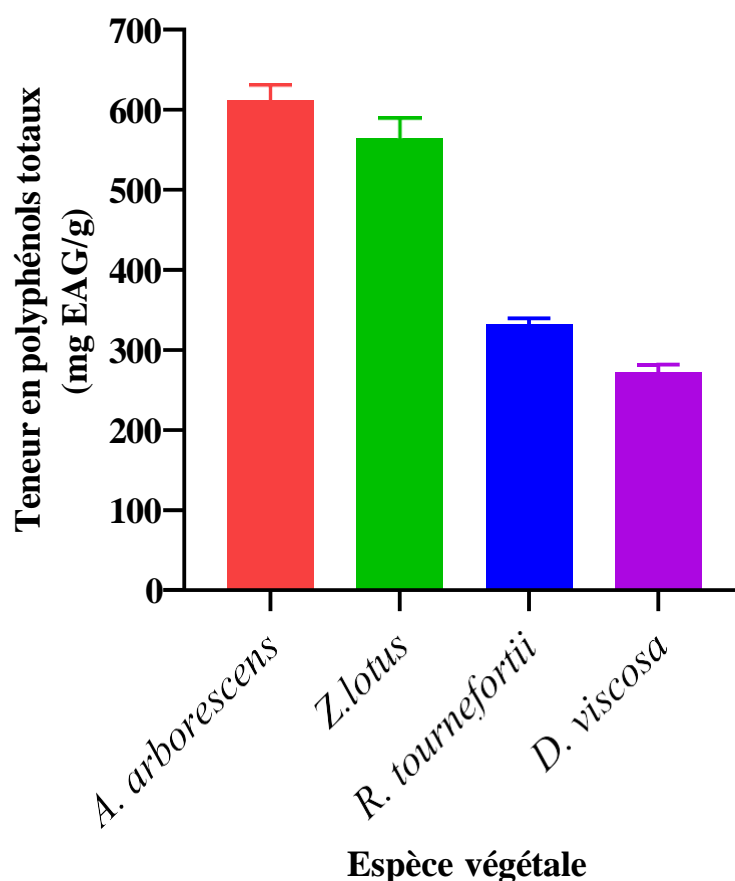


Figure 24 : Teneurs des extraits végétaux en polyphénols exprimées en mg EAG/g

Les résultats montrent que les teneurs en composés phénoliques varient de manière significative entre les différentes espèces. *A. arborescens* présente la concentration la plus élevée en polyphénols avec $612,16 \pm 18,60 \mu\text{g EAG/mg}$, suivie de *Z. lotus* avec $563,9 \pm 25,26 \mu\text{g EAG/mg}$, indiquant un potentiel intéressant pour des applications bioactives. *R. tournefortii* affiche une teneur modérée de $332,45 \pm 7,07 \mu\text{g EAG/mg}$, tandis que *D. viscosa* a la concentration la plus faible avec $271,64 \pm 10,16 \mu\text{g EAG/mg}$.

Les résultats d'**Ilehi et al. (2023)** concernant les teneurs en composés phénoliques totaux dans les extraits aqueux de deux géotypes d'*A. arborescens* par macération en Tunisie révèlent des niveaux relativement modérés. Le géotype de Bousselem présente des quantités plus élevées de composés polyphénoliques ($35,79 \pm 2,04$ mg EAG/g) que le géotype de Kef ($27,89 \pm 2,91$ mg EAG/g). Cependant, ces valeurs sont inférieures à celles obtenues dans notre étude, où l'extraction hydro-éthanolique, combinée à la technique des Ultrasons, a permis d'atteindre des concentrations plus élevées de composés phénoliques.

L'utilisation des Ultrasons dans notre extraction a sans doute contribué à une meilleure récupération des composés bioactifs. En effet, la technique des Ultrasons est connue pour améliorer l'efficacité de l'extraction en favorisant une meilleure diffusion du solvant dans le tissu végétal et en brisant les structures cellulaires, ce qui permet une libération plus complète des polyphénols. Comparée à l'extraction aqueuse utilisée par **Ilehi et al. (2023)**, cette méthode a permis d'obtenir une concentration plus élevée de composés phénoliques totaux, ce qui pourrait s'expliquer par la synergie entre l'éthanol et les Ultrasons, deux facteurs qui favorisent l'extraction des substances bioactives.

Nos résultats, avec une teneur en polyphénols totaux de $612,16 \pm 18,60$ µg EAG/mg pour *A. arborescens*, sont nettement supérieurs à ceux obtenus dans d'autres études, soulignant l'efficacité de notre méthode d'extraction hydro-éthanolique assistée par Ultrasons. En comparaison, **Al-Maqtari et al. (2024)** ont rapporté des valeurs significativement plus faibles pour les extraits éthanoliques de deux espèces d'*Artemisia* au Yémen : *A. arborescens* atteint seulement $133,43 \pm 2,44$ mg EAG/g, tandis que *Artemisia abyssinica* affiche $70,85 \pm 2,75$ mg EAG/g.

Les valeurs rapportées par **Al-Maqtari et al. (2021)** pour les extraits obtenus par fluide supercritique (SFE-CO₂) montrent également une teneur inférieure aux nôtres, avec $143,86 \pm 9,96$ mg EAG/g pour *A. arborescens* et $58,95 \pm 2,66$ mg EAG/g pour *A. abyssinica*. Le SFE-CO₂, bien qu'efficace pour extraire certains composés, ne semble pas aussi performant pour la récupération des polyphénols en comparaison avec notre extraction hydro-éthanolique couplée aux Ultrasons.

Par ailleurs, **Araniti et al. (2016)** ont trouvé une teneur de $110,67$ mg EAG/g pour un extrait méthanolique d'*A. arborescens*. Bien que le méthanol soit souvent considéré comme un bon solvant pour les polyphénols, notre approche hydro-éthanolique, associée à l'Ultrason, semble fournir un rendement nettement plus élevé.

En résumé, ces comparaisons avec les études d'**Al-Maqtari et al. (2021, 2024)** et d'**Araniti et al. (2016)** démontrent que la combinaison du solvant hydro-éthanolique et des

Ultrasons dans notre méthode permet non seulement d'augmenter considérablement les niveaux de polyphénols, mais aussi de surpasser les rendements obtenus par d'autres techniques d'extraction. Ce constat renforce l'idée que le choix de la méthode d'extraction est déterminant pour maximiser le potentiel bioactif des extraits d'*Artemisia*, et notre approche pourrait servir de référence pour des applications ciblées dans la valorisation de cette plante.

La teneur en polyphénols des parties aériennes de *Z. lotus* dans notre étude, estimée à $563,9 \pm 25,26$ μg EAG/mg, montre une richesse marquée en composés phénoliques par rapport aux fruits de la même plante. En effet, au Maroc **Bencheikh et al. (2021)** ont quantifié une concentration de 278 ± 12 μg EAG/mg pour les fruits de *Z. lotus*, ce qui est sensiblement inférieur. Cette différence notable souligne que les parties aériennes de *Z. lotus* possèdent un potentiel phénolique plus élevé que les fruits, ce qui peut être attribué aux variations de composition en polyphénols entre les différentes parties de la plante. En outre, ces résultats concordent avec ceux de **Khouchlaa et al. (2018)**, qui ont montré que l'extrait aqueux des fruits de *Z. lotus* au Maroc contient $285,19$ μg EAG/mg de polyphénols totaux, dépassant la teneur observée dans l'extrait n-hexane de ces mêmes fruits. Ce constat suggère que le solvant et la partie de la plante analysée influencent fortement le niveau de composés phénoliques extraits. L'utilisation de l'eau en tant que solvant semble particulièrement efficace pour l'extraction des polyphénols, mais elle ne permet pas d'atteindre les niveaux observés dans les parties aériennes de *Z. lotus* par extraction hydro-éthanolique.

La comparaison de nos résultats avec ces études met en lumière la richesse des parties aériennes en polyphénols, indiquant un intérêt pour l'utilisation de cette partie spécifique de *Z. lotus* dans des applications valorisant ses propriétés antioxydantes et bioactives.

Dans notre étude, *R. tournefortii* a révélé une teneur en composés phénoliques totaux de $332,45 \pm 7,07$ μg EAG/mg, obtenue grâce à une extraction hydro-éthanolique assistée par Ultrasons. Cette valeur est considérablement plus élevée que celles rapportées par **Outaleb et al. (2020)**, qui, par extraction éthanolique par Soxhlet, ont obtenu des teneurs nettement inférieures pour des échantillons récoltés dans différentes régions d'Algérie, à savoir : $60,04 \pm 1,39$ μg EAG/mg (Bouira), $65,75 \pm 1,27$ μg EAG/mg (M'sila), $96,15 \pm 1,15$ μg EAG/mg (Djelfa), $121,07 \pm 2,77$ μg EAG/mg (Béchar) et $147,77 \pm 2,95$ μg EAG/mg (Mostaganem).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet écart notable. La méthode d'extraction que nous avons employée, à savoir l'extraction hydro-éthanolique assistée par Ultrasons, est une technique moderne qui améliore considérablement l'efficacité d'extraction. Par ailleurs, les travaux de **Klavins et al. (2017)** corroborent l'efficacité de ce procédé pour optimiser la récupération des polyphénols dans le solvant au cours de l'extraction. En revanche, l'extraction

éthanolique par Soxhlet, bien qu'efficace, peut entraîner la dégradation de certains composés sensibles à la chaleur, ce qui pourrait expliquer les différences observées.

Par ailleurs, la richesse phénolique des plantes peut varier considérablement en fonction des conditions édapho-climatiques propres à la région de récolte. Dans notre cas, *R. tournefortii* a été collecté à El Hachimia, Wilaya de Bouira, une zone caractérisée par des conditions climatiques et pédologiques distinctes, susceptibles d'induire une biosynthèse accrue de métabolites secondaires tels que les polyphénols. En revanche, les échantillons d'**Outaleb et al. (2020)** provenaient de régions variées (Bouira, M'sila, Djelfa, Béchar, Mostaganem) avec des conditions environnementales différentes, ce qui pourrait expliquer la variation inter-régionale des teneurs.

Enfin, les divergences méthodologiques dans la quantification des polyphénols pourraient également contribuer à ces différences. Nous avons appliqué des conditions optimisées pour la réaction avec le réactif de Folin-Ciocalteu, garantissant une estimation précise des teneurs en composés phénoliques.

Notre étude révèle une teneur en composés phénoliques totaux de $271,64 \pm 10,16$ µg EAG/mg pour *D. viscosa*. Cette valeur dépasse largement celles rapportées par **Trimech et al. (2014)** en Grèce, qui indiquent une variation des teneurs en phénols totaux de 0,42 à 24,18 mg EAG/g d'extrait en fonction du tissu végétal. Ces auteurs ont également montré que la teneur en composés phénoliques totaux suit un ordre décroissant : tiges > fleurs > feuilles > racines, avec les extraits de tiges présentant les concentrations les plus élevées. En outre, la nature du solvant joue un rôle majeur dans l'efficacité de l'extraction, les extraits d'acétate d'éthyle étant systématiquement plus riches en composés phénoliques que ceux obtenus avec le méthanol ou l'éther diéthylique, quelle que soit la partie de la plante.

En comparaison, **Mssillou et al. (2022)**, au Maroc, ont rapporté des teneurs plus élevées pour *D. viscosa* mais toujours inférieures aux nôtres. Leurs résultats montrent une teneur en phénols totaux de $151,18 \pm 1,57$ mg EAG/g pour les extraits aqueux et de $127,09 \pm 15,81$ mg EAG/g pour les extraits éthanoliques. Ces valeurs confirment l'influence significative de la polarité des solvants sur l'extraction des composés phénoliques, avec des extraits aqueux et éthanoliques qui capturent efficacement ces métabolites.

La préparation des extraits phénoliques est effectuée en utilisant les parties aériennes des plantes sélectionnées, celles-ci étant généralement privilégiées pour leurs activités biologiques (**Benabdallah et al., 2016 ; Chassagne et al., 2020 ; Berkani et al., 2021**). Cette approche vise à éviter le déracinement des plantes afin de préserver leur capacité de régénération.

III.4.2. Dosage des flavonoïdes

Les résultats de la quantification des flavonoïdes, présentés dans la **figure 25**, montrent que *R. tournefortii* et *Z. lotus* présentent les concentrations les plus élevées, avec respectivement $89,24 \pm 10,34 \mu\text{g EQ/mg}$ et $86,01 \pm 11,49 \mu\text{g EQ/mg}$. *A. arborescens* et *D. viscosa* ont des teneurs plus faibles en flavonoïdes, soit $61,24 \pm 9,50 \mu\text{g EQ/mg}$ et $55,65 \pm 25,11 \mu\text{g EQ/mg}$ respectivement.

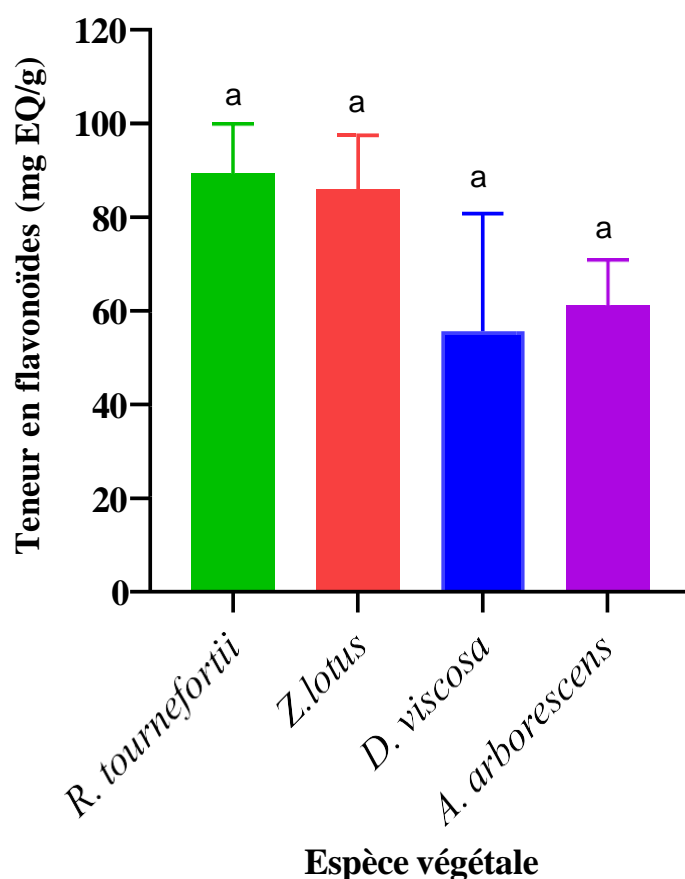


Figure 25 : Teneurs des extraits végétaux en flavonoïdes exprimées en mg EQ/g

Dans le cadre de notre étude, la teneur en flavonoïdes de *R. tournefortii* est estimée à $89,24 \pm 10,34 \mu\text{g EQ/mg}$, ce qui représente une valeur nettement supérieure à celles rapportées par **Outaleb et al. (2020)**. Ces derniers, ayant utilisé une extraction éthanolique par Soxhlet, ont obtenu des teneurs plus faibles pour des échantillons récoltés dans diverses régions d'Algérie : $23,98 \pm 0,55 \mu\text{g EQ/mg}$ à Bouira, $20,00 \pm 0,53 \mu\text{g EQ/mg}$ à M'sila, $20,74 \pm 0,35 \mu\text{g EQ/mg}$ à Djelfa, $23,61 \pm 0,30 \mu\text{g EQ/mg}$ à Béchar, et $27,85 \pm 0,31 \mu\text{g EQ/mg}$ à Mostaganem.

Pour *Z. lotus*, notre étude met en évidence une teneur en flavonoïdes de $86,01 \pm 11,49$ $\mu\text{g EQ/mg}$, supérieure à celle rapportée par **Benslama et al. (2017)** en Algérie, qui ont obtenu $66,34$ $\mu\text{g EQ/mg}$ en utilisant une extraction méthanolique. Cette différence souligne l'importance du choix du solvant dans l'extraction des flavonoïdes. L'éthanol, utilisé dans notre protocole hydroalcoolique, est connu pour son efficacité à extraire une large gamme de composés phénoliques, y compris les flavonoïdes, grâce à sa polarité intermédiaire qui favorise une meilleure solubilisation de ces molécules. En revanche, le méthanol, bien que souvent utilisé en extraction, peut présenter une efficacité moindre pour certains types de flavonoïdes en fonction de leur structure chimique.

Ces résultats suggèrent que *R. tournefortii* et *Z. lotus* pourraient être particulièrement intéressants pour des activités bioactives liées aux flavonoïdes.

La teneur en flavonoïdes que nous avons obtenue pour *A. arborescens* ($61,24 \pm 9,50$ $\mu\text{g EQ/mg}$) dépasse nettement les valeurs rapportées par **Ilehi et al. (2023)** dans leurs extraits aqueux obtenus par macération en Tunisie. Ces auteurs indiquent des teneurs proches pour les géotypes de Kef ($17,65 \pm 0,43$ mg EQ/g MS) et de Bousselem ($18,25 \pm 0,84$ mg EQ/g MS), sans variations significatives entre eux.

La teneur en flavonoïdes enregistrée dans notre étude, obtenue par extraction hydro-éthanolique pour *D. viscosa*, est de $55,65 \pm 25,11$ $\mu\text{g EQ/mg}$, une valeur nettement inférieure à celles rapportées au Maroc. En effet, **Mrid et al. (2022)** ont observé une teneur de $123,05$ mg QE/g dans un extrait méthanolique de *D. viscosa*. En revanche, l'extrait aqueux, moins riche, affiche une teneur réduite à $78,89$ mg QE/g . Plus récemment, **Eddardaki et al. (2024)** ont confirmé cette tendance en rapportant une concentration de $117,82$ mg EQ/g pour l'extrait méthanolique des feuilles de *D. viscosa*. Ces différences pourraient s'expliquer par des variations dans les solvants utilisés, les protocoles d'extraction, ou encore les conditions écologiques propres aux zones de récolte, reflétant ainsi l'influence de multiples facteurs sur la composition en flavonoïdes.

III.5. Caractérisation chromatographique des huiles essentielles

Les parties aériennes des plantes *A. arborescens* et *R. tournefortii*, récoltées à El Hachimia, dans la wilaya de Bouira, sont hydrodistillées à l'aide d'un dispositif de Clevenger. Une huile essentielle de couleur bleu avec une teinte verdâtre et une odeur forte et caractéristique est obtenue à partir d'*A. arborescens*. En revanche, l'huile essentielle de *R.*

tournefortii se présente sous une couleur jaune pâle et dégage une odeur intense caractéristique du Romarin.

Après extraction par hydrodistillation, la composition chimique des deux huiles essentielles est déterminée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM). Cette analyse chromatographique a permis d'identifier 20 composés. Les pourcentages et les temps de rétention des composés identifiés sont présentés dans le **tableau 4**, dans l'ordre de leur élution. Les résultats révèlent que les concentrations relatives de ces composés varient entre les deux huiles essentielles. Par exemple, dans l'huile essentielle d'*A. arborescens*, le camphre est le principal constituant (46,35%), accompagné d'autres composés d'intérêt, tels que le terpinène-4-ol (6,53%), le chamazulène (5,06%), le linalol (4,35%), le camphène (3,99%), le myrcène (3,83%) et l' α -pinène (3,47%). Dans l'huile essentielle de *R. tournefortii*, le camphre demeure également majoritaire (29,20%), suivi du camphène (19,42%), de l' α -pinène (17,17%) et du β -pinène (8,90%).

Tableau 4 : Composition chimique des huiles essentielles des parties aériennes d'*Artemisia arborescens* et de *Rosmarinus tournefortii* récoltées dans la région de Bouira

Constituants	Pic	Tr	<i>A. arborescens</i>	Pic	Tr	<i>R. tournefortii</i>
	N°	(mn)		N°	(mn)	
<i>a-thujène</i>	01	11.96	0.25 %	01	11.73	0.69 %
α -pinène	02	12.32	3.47 %	02	12.50	17.17 %
camphène	03	13.13	3.99 %	03	13.34	19.42 %
Sabinene	04	14.62	0.13 %	--	--	--
β -pinène	05	14.77	0.22 %	04	14.94	8.90 %
Myrcene	06	15.77	3.83 %	05	15.83	0.68 %
a.Phellandrène	--	--	--	06	16.59	0.23 %
a.terpinène	07	17.33	0.96 %	07	17.40	0.33 %
P.Cymène	08	17.83	1.09 %	08	17.94	2.02 %
limonène	09	18.13	1.04 %	09	18.27	4.46 %
1.8 Cinéole	10	18.48	0.14 %	10	18.60	3.27 %

gamma-terpinène	11	20.19	2.34 %	11	20.25	0.63 %
<i>Terpinolene</i>	12	22.22	0.54 %	12	22.29	0.37 %
<i>linalol</i>	13	23.34	4.35 %	13	23.47	0.12 %
<i>Camphre</i>	14	26.52	46.35 %	14	26.70	29.20 %
<i>Bornéol</i>	15	27.88	0.33 %	15	27.97	1.11 %
<i>Terpinene -4OL</i>	16	28.75	6.53 %	16	28.76	0.75 %
<i>Alpha.Terpéneol</i>	17	29.25	0.25 %	17	29.76	0.55 %
<i>Verbenone</i>	--	--	--	18	36.39	1.22 %
<i>Béta.Cariophyllène</i>	18	45.19	1.19 %	19	45.23	1.91 %
<i>Chamazulène</i>	19	49.21	5.06 %	--	--	--
<i>a.Humulène</i>	20	51.24	1.15 %	20	45.23	0.97 %

Tr= Temps de rétention.

La caractérisation chromatographique des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii* est essentielle pour déterminer leur composition chimique.

Les espèces du genre *Artemisia*, appartenant à la famille des *Asteraceae*, sont reconnues pour leur forte teneur en huiles essentielles et leur riche concentration en terpénoïdes et flavonoïdes, des composés chimiques qui leur confèrent un parfum distinctif et des propriétés aromatisantes souvent exploitées dans les aliments et liqueurs (**Bora et Sharma, 2011**). Cette famille de plantes produit également des composés organiques volatils qui jouent un rôle clé dans les interactions interspécifiques au sein des écosystèmes, influençant le comportement des insectes et permettant le développement de méthodes écologiques pour réguler leurs populations. De plus, l'étude de ces composés révèle des corrélations entre la composition chimique des huiles essentielles et les caractéristiques morphologiques des plantes (**Atazhanova et al., 1999 ; Khalilov et al., 2001**).

La majorité des recherches se sont concentrées sur la variabilité de la composition des huiles essentielles, influencée par des facteurs tels que l'origine géographique, la période de récolte et les conditions édaphiques environnementales (**Geçmişte, 1999 ; Khalilov et al., 2001 ; Juteau, 2002 ; Erel et al., 2012**).

Selon **Younes et al. (2012)** ; **Younes (2015)**, l'huile essentielle extraite de la partie aérienne d'*A. arborescens*, cultivée dans les riches terres de Béni Snous, Bidar, Chetouane et Nedroma, au sein de la wilaya de Tlemcen, révèle une composition remarquable dominée par le camphre, présent en proportions impressionnantes : 72,20 %, 50,30 %, 32,80 % et 33,75 % respectivement, en accord avec nos résultats où le camphre est également identifié comme le constituant majeur. De puissants constituants supplémentaires, dépassant 4 %, enrichissent cette huile : à Bidar, il a été observé le myrcène (7,40 %) et le terpinèn-4-ol (6,10 %) ; à Chetouane, le terpinèn-4-ol (8,90 %) et le chamazulène (8,70 %) ; à Nedroma, le trans-hydrate de sabinène (5,71 %) et le chamazulène (27,41 %).

Une autre étude sur l'huile essentielle d'*A. arborescens*, provenant de trois stations du sud de l'Italie (Sicile, Calabre et l'île de Lipari), est réalisée par **Presti et al. (2007)**. Les composés majoritaires observés sont le camphre (21,4 %, 39,5 %, 20,1 %) et le chamazulène (37,6 %, 27,1 %, 34,6 %). Ces résultats soulignent la prévalence du camphre, en accord avec nos résultats, où le camphre est également identifié comme un composant majeur dans l'huile essentielle d'*A. arborescens*.

En revanche, l'étude d'**Abderrahim et al. (2010)** portant sur l'huile essentielle d'*A. arborescens* de la région de Béjaïa révèle une composition remarquablement riche, mettant en évidence deux composés majoritaires : le chamazulène (30,2 %) et le β -thujone (27,8 %). Ces résultats divergent nettement de nos observations, où le chamazulène n'atteint que 5,06 %. Cependant, ils confirment des études antérieures, où le chamazulène apparaît régulièrement comme un constituant clé, tandis que le β -thujène, bien que présent en Algérie, se distingue par des concentrations plus élevées dans d'autres régions, telles que le Maroc. Cette divergence souligne des variations marquées dans la composition chimique de l'huile essentielle d'*A. arborescens* en fonction des conditions environnementales et géographiques, mettant en lumière la complexité et la diversité chimique de cette plante à travers différentes régions.

En Turquie, l'étude de **Erel et al. (2012)** révèle une huile essentielle d'*A. arborescens* particulièrement concentrée en camphre (33,39 %) et en chamazulène (21,05 %), des résultats qui viennent appuyer nos propres observations.

La richesse en camphre observée dans notre étude corrobore les travaux de **Kordali et al. (2005)**, qui ont démontré que les huiles essentielles isolées des parties aériennes d'*Artemisia absinthium*, *Artemisia santonicum* et *Artemisia spicigera* par hydrodistillation présentent une composition similaire. En effet, le camphre émergeait comme le composant principal de ces huiles essentielles, soulignant ainsi son rôle prépondérant dans la chimie de ces espèces. Des constatations similaires ont été rapportées par **Demirci et al. (2005)**, où le camphre (37,5 %) a

été identifié comme le constituant principal de l'huile d'*A. spicigera*. Ces résultats renforcent l'idée que le camphre est un constituant clé, non seulement en raison de sa présence fréquente dans diverses espèces du genre *Artemisia*, mais également en tant qu'indicateur de la qualité et de l'efficacité des huiles essentielles dérivées de ces plantes.

En opposition, aux États-Unis, l'analyse approfondie de **Pappas et Sheppard-Hanger (2000)** montrent un profil différent, avec plus de vingt composés représentant 99,09 % du contenu total de l'huile essentielle, parmi lesquels se distinguent le chamazulène (39,60 %), le camphre (16,71 %), le germacrène D (7,15 %), le myrcène (5,05 %) et le β -caryophyllène (3,56 %). La divergence entre nos résultats et ceux des États-Unis souligne l'impact des conditions environnementales locales, qui semblent influencer la composition chimique de l'huile essentielle d'*A. arborescens* selon les régions.

Au Liban, la recherche d'**El Beyrouthy et al. (2011)** identifie quarante-trois composés dans l'huile essentielle d'*A. arborescens*, avec une forte prévalence de β -thujène (68,5 %) et de chamazulène (12,3 %). En Palestine, les travaux de **Jaradat et al. (2022)** montrent une dominance encore plus marquée de la β -thujène, qui atteint 89,64 %, tandis que le camphre reste à un faible taux de 5,34 %. Ces observations diffèrent nettement de nos résultats, où le camphre se révèle être le constituant principal de l'huile essentielle d'*A. arborescens*. Cette discordance met en évidence l'influence profonde des conditions environnementales régionales, qui semblent modeler différemment le profil chimique de l'huile essentielle d'une région à l'autre.

En outre, les travaux de **Lai et al. (2006)** et **Militello et al. (2011)** sur les huiles d'*A. arborescens* provenant de Sardaigne et de Sicile, en Italie, révèlent des variations significatives : le β -thujène (23,97 %, 45,04 %), le camphre (35,73 %, 6,78 %) et le chamazulène (7,66 %, 22,71 %) figurent parmi les composés les plus présents. Bien que le camphre soit également présent, les proportions de β -thujène sont nettement plus élevées que celles rapportées dans d'autres régions en Italie, ce qui met en évidence l'impact des conditions locales sur la composition chimique.

En revanche, l'huile essentielle d'origine marocaine présente une composition distincte, avec une prédominance de β -thujène (30,06 %), suivie par le camphre (21,67 %) et le myrcène (9,10 %), tandis que le chamazulène (1,45 %) apparaît en faible quantité (**Pappas et Sheppard-Hanger, 2000**). Ces résultats mettent en évidence une divergence par rapport aux études précédentes, où le chamazulène est généralement présent en concentrations plus élevées.

Ces études illustrent donc la diversité chimique de l'huile essentielle d'*A. arborescens* selon ses conditions géographiques, tout en établissant des points de convergence et de

divergence qui méritent une attention particulière pour comprendre son potentiel d'utilisation varié.

Les disparités observées mettent en lumière l'impact significatif du climat et du sol sur la composition chimique des huiles essentielles. Toutefois, il est frappant de constater que les composés principaux demeurent stables malgré des conditions de culture variées. Les études de **Khalilov et al. (2001)** confirment cette stabilité en analysant les huiles essentielles de quatre espèces du genre *Artemisia*, à savoir *Artemisia absinthium*, *Artemisia santolinifolia*, *Artemisia vulgaris* et *Artemisia campestris*, provenant du Kazakhstan et de l'Italie. Ces travaux révèlent que les composants principaux des plantes cultivées dans ces deux pays sont identiques, tandis que les composants mineurs affichent des variations légères. Ces résultats soulignent que la composition chimique des huiles essentielles reste remarquablement stable, même face à des changements environnementaux significatifs, renforçant ainsi l'idée que certains composés peuvent être considérés comme des marqueurs fiables de l'identité chimique de ces espèces.

En ce qui concerne le Romarin, dans notre étude, les composés majoritaires de l'huile essentielle de *R. tournefortii* se composent de camphre (29,20 %), de camphène (19,42 %), d' α -pinène (17,17%) et de β -pinène (8,90 %). En comparant ces valeurs avec celles rapportées par **Outaleb (2016)** dans la région de Bouira, des différences sont observées pour certains constituants. **Outaleb (2016)** a, en effet, identifié des teneurs de 21,9 % pour le camphre, 21,4 % pour le camphène, 22,2 % pour l' α -pinène, et 8,3 % pour le β -pinène. Bien que les proportions de β -pinène soient très similaires entre les deux études (respectivement 8,90 % et 8,3 %), des variations notables apparaissent pour les autres constituants. La concentration de camphre dans notre étude est supérieure à celle de **Outaleb (2016)**, (29,20 % contre 21,9 %), tandis que le camphène et l' α -pinène présentent des valeurs inférieures dans notre analyse (19,42 % et 17,17 %), respectivement, contre (21,4 % et 22,2 %) chez **Outaleb (2016)**. Ces différences s'expliquent par plusieurs facteurs, notamment les conditions de l'année de prélèvement, comme la température, l'humidité et les précipitations, qui influencent la biosynthèse des composés volatils dans le Romarin. Par ailleurs, des variations dans la composition chimique peuvent également résulter de différences naturelles liées au sol ou à d'autres facteurs environnementaux, ainsi qu'aux méthodes de prélèvement et d'extraction employées. Enfin, une variabilité génétique au sein des populations locales de Romarin pourrait expliquer ces différences de profils chimiques, même au sein de la même région géographique.

En résumé, bien que les compositions présentent des similitudes, ces légères divergences soulignent l'importance des facteurs biotiques et abiotiques dans la variabilité des huiles essentielles, rendant chaque étude spécifique à ses conditions de réalisation.

Dans l'étude de **Menaceur et al. (2016)**, les principaux constituants identifiés sont le camphre (39,4 %), l' α -pinène (10,4 %), le p-cymène + limonène (11 %), le camphène (9,6 %) et le 1,8-cinéole (4 %). Comparés à ces résultats, nos propres valeurs révèlent des similitudes et des écarts marqués pour certains composants. Le camphre apparaît comme un constituant majeur dans les deux études, bien que nos résultats montrent une concentration différente, indiquant potentiellement une influence des conditions environnementales et des méthodes de récolte et d'extraction. Concernant l' α -pinène, nos résultats sont également comparables, mais une légère variation est présente, ce qui peut être attribué aux mêmes facteurs. Pour les autres composés, tels que le p-cymène, le limonène, et le 1,8-cinéole, les différences de proportions peuvent refléter des variations saisonnières ou géographiques, même si les deux sites sont relativement proches. Ces divergences témoignent de la variabilité naturelle des huiles essentielles en fonction des influences abiotiques comme le climat et le sol, ainsi que des différences méthodologiques entre les études.

L'huile essentielle de *R. tournefortii* a fait l'objet de plusieurs études qui mettent en lumière sa composition chimique en Algérie. **Beneddouch et al. (2011)** ont analysé les composés volatils issus de l'hydrodistillation des parties aériennes de *R. tournefortii* poussant à l'état sauvage dans l'ouest de l'Algérie. Les résultats ont révélé la présence de 36 composés, parmi lesquels le camphre (37,6 %), le 1,8-cinéole (10,0 %), le p-cymène-7-ol (7,8 %) et le bornéol (5,4 %) figuraient comme principaux composants. Ces résultats soulignent l'importance du camphre tout en mettant en lumière la richesse de la composition chimique dans cette région.

Une étude menée par **Outaleb et al. (2020)** a également exploré l'huile essentielle de *R. tournefortii* provenant de différentes régions d'Algérie. Cette recherche a révélé des constituants clés tels que l' α -pinène, le camphre, le camphène et le limonène. Les résultats soulignent la stabilité de ces composés, malgré les variations géographiques, et enrichissent notre compréhension du profil chimique de l'espèce dans le pays.

Dans une étude réalisée par **Bensouici et al. (2020)** à Béchar, l'huile essentielle extraite de la partie aérienne fraîche de *R. tournefortii* a révélé des composés majeurs tels que le 1,8-cinéole (55,26 %), le L-borneol (9,57 %) et le β -pinène (9,41 %). Ces résultats indiquent une forte dominance du 1,8-cinéole, suggérant son rôle prépondérant dans l'activité biochimique de l'huile essentielle.

Outaleb (2016) a également montré que l'huile essentielle de Bouira possédait la plus grande diversité de composés, avec 53 éléments identifiés, tandis que les huiles de Mostaganem, Béchar, Djelfa et M'sila contenaient respectivement 49, 42, 49 et 43 composés. Bien que les huiles des différentes régions aient des composés majoritaires similaires, leurs proportions

varient, incluant l' α -pinène (22 à 27 %), le camphre (20 à 28 %), le camphène (21 à 26 %) et le limonène (8 à 11 %).

Enfin, l'étude de **Tahri *et al.* (2014)**, bien qu'elle ait été menée au Maroc, permet d'apporter une perspective complémentaire sur la composition chimique de *R. tournefortii*. Dans cette recherche, les analyses effectuées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) ont permis d'identifier environ 99,50 % des composants, avec le camphre comme principal constituant (39,27 %). Bien que cette étude montre également la prédominance du camphre, elle révèle des différences dans la composition chimique par rapport aux études algériennes, mettant en évidence l'influence des facteurs géographiques et environnementaux sur la variation des huiles essentielles.

Cette synthèse montre que, bien que des composés similaires soient présents dans les huiles essentielles de *R. tournefortii*, les variations dans les proportions et la diversité des composants peuvent être attribuées à des conditions géographiques, climatiques et méthodologiques spécifiques. Ces éléments contribuent à la complexité du profil chimique de cette espèce, enrichissant notre compréhension des huiles essentielles de *R. tournefortii* et leur potentiel d'application dans divers domaines, notamment la pharmacologie et l'agriculture.

III.6. Effet insecticide des extraits bruts de *Z. lotus* et de *D. viscosa* vis-à-vis de *T. castaneum*

L'évolution de la mortalité corrigée, induite par les extraits bruts de *Z. lotus* obtenus par extraction assistée par Ultrasons et par macération, après 5 jours de traitement, est présentée dans les **figures 26** et **27**.

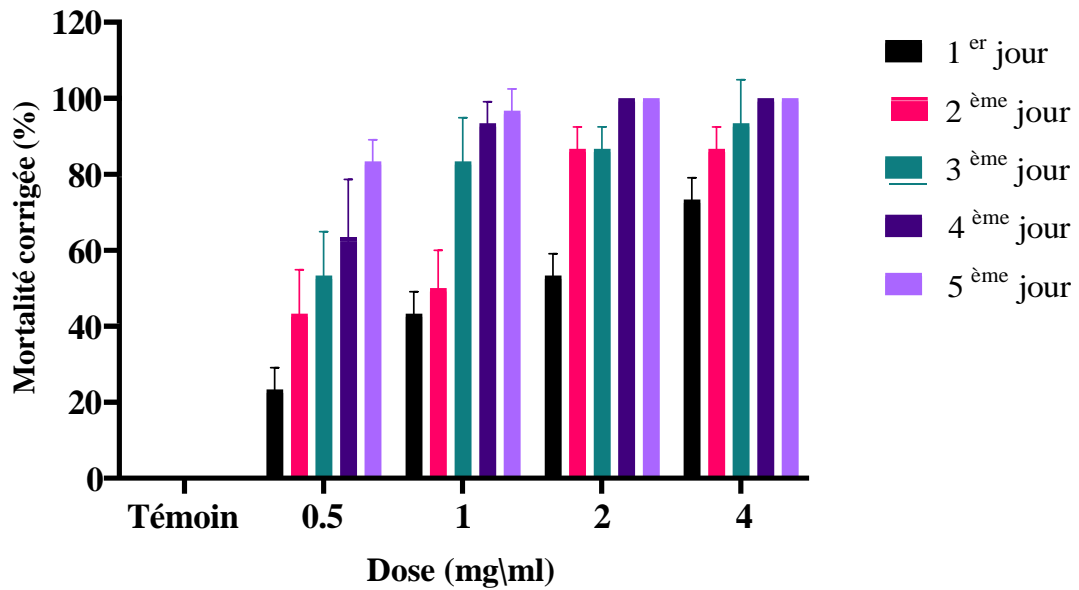


Figure 26 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Tribolium castaneum* après traitement à l'extrait de *Ziziphus lotus* par Ultrasons

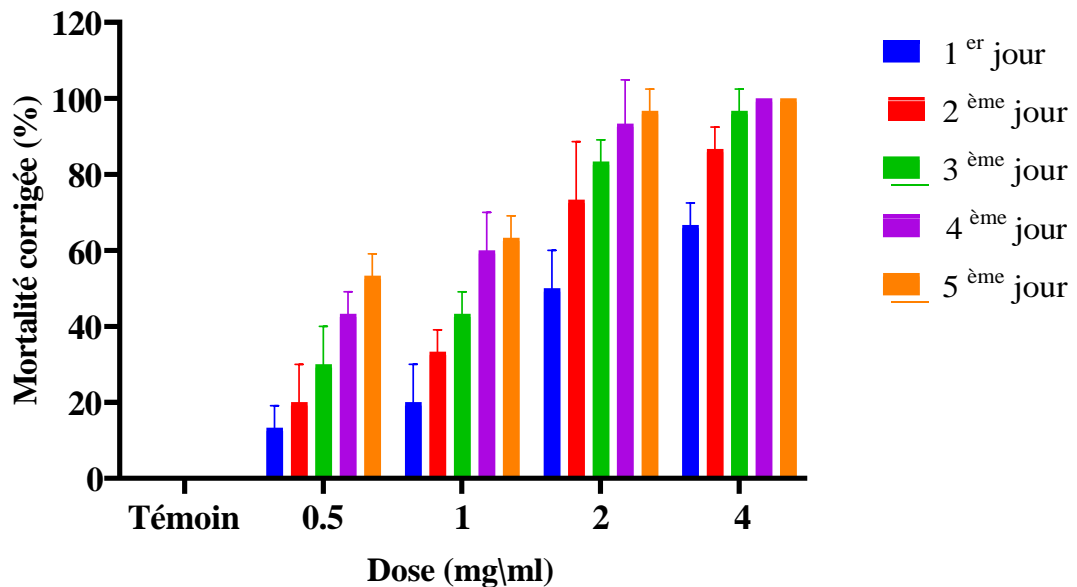


Figure 27 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Tribolium castaneum* après traitement à l'extrait de *Ziziphus lotus* par macération

L'effet insecticide par contact de l'extrait brut assisté par Ultrasons de *Z. lotus* contre *T. castaneum* met en évidence l'influence conjuguée de la dose et du temps. A la plus faible dose (dose 1), la mortalité progresse lentement, passant de $23,33 \pm 5,77$ % au 1^{er} jour à $83,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour, montrant une efficacité limitée sur une durée prolongée. Avec la dose intermédiaire (dose 2), la mortalité est plus rapide, atteignant $43,33 \pm 5,77$ % dès le 1^{er} jour et presque totale ($96,66 \pm 5,77$ %) au 5^{ème} jour. A une dose légèrement supérieure (dose 3), l'effet est encore plus marqué : $53,33 \pm 5,77$ % au 1^{er} jour, puis $100 \pm 00,00$ % dès le 4^{ème} jour. Enfin, la dose la plus élevée (dose 4) démontre un effet rapide et maximal, avec $73,33 \pm 5,77$ % de mortalité dès le 1^{er} jour et une élimination complète ($100 \pm 00,00$ %) des insectes dès le 4^{ème} jour. L'activité insecticide par contact de l'extrait brut de *Z. lotus*, obtenu par macération, contre *T. castaneum* met en évidence une progression de la mortalité corrigée en fonction de la dose et du temps. A faible dose (dose 1), la mortalité augmente lentement, passant de $13,33 \pm 5,77$ % au 1^{er} jour à $53,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour. Avec une dose intermédiaire (dose 2), la mortalité atteint $20 \pm 10,00$ % au 1^{er} jour et $63,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour, indiquant une efficacité modérée. Pour une dose plus élevée (dose 3), l'effet s'accélère, atteignant $50 \pm 10,00$ % dès le 1^{er} jour et presque total ($96,66 \pm 5,77$ %) au 5^{ème} jour. Enfin, à la dose maximale (dose 4), l'effet est rapide et complet, avec $66,66 \pm 5,77$ % de mortalité dès le 1^{er} jour et une mortalité totale ($100 \pm 00,00$ %) dès le 4^{ème} jour.

Les résultats de l'extraction assistée par Ultrasons de *D. viscosa* contre *T. castaneum* montrent une augmentation de la mortalité corrigée en fonction de la dose et du temps (**Fig.28**). A faible dose (dose 1), la mortalité progresse lentement, atteignant $53,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour. A dose intermédiaire (dose 2), l'effet est plus marqué, avec une mortalité de $73,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour. Pour la dose plus élevée (dose 3), la mortalité continue d'augmenter de manière plus rapide, atteignant $86,66 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour. Enfin, à la dose maximale (dose 4), l'efficacité est totale, avec $100 \pm 00,00$ % de mortalité dès le 4^{ème} jour, confirmant que la dose plus élevée accélère l'action insecticide.

Concernant l'effet de l'extrait brut de *D. viscosa* contre *T. castaneum* par macération, la mortalité corrigée augmente progressivement avec la dose et le temps (**Fig. 29**). A la dose la plus faible (dose 1), l'effet est modéré, avec $40 \pm 00,00$ % de mortalité au 5^{ème} jour. A une dose intermédiaire (dose 2), la mortalité atteint $43,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour, montrant une efficacité croissante. Pour la dose plus élevée (dose 3), l'efficacité est plus marquée, avec $76,66 \pm 5,77$ % de mortalité à la fin de l'expérience. Enfin, à la dose maximale (dose 4), l'effet devient rapide et complet, atteignant $100 \pm 00,00$ % de mortalité au 5^{ème} jour.

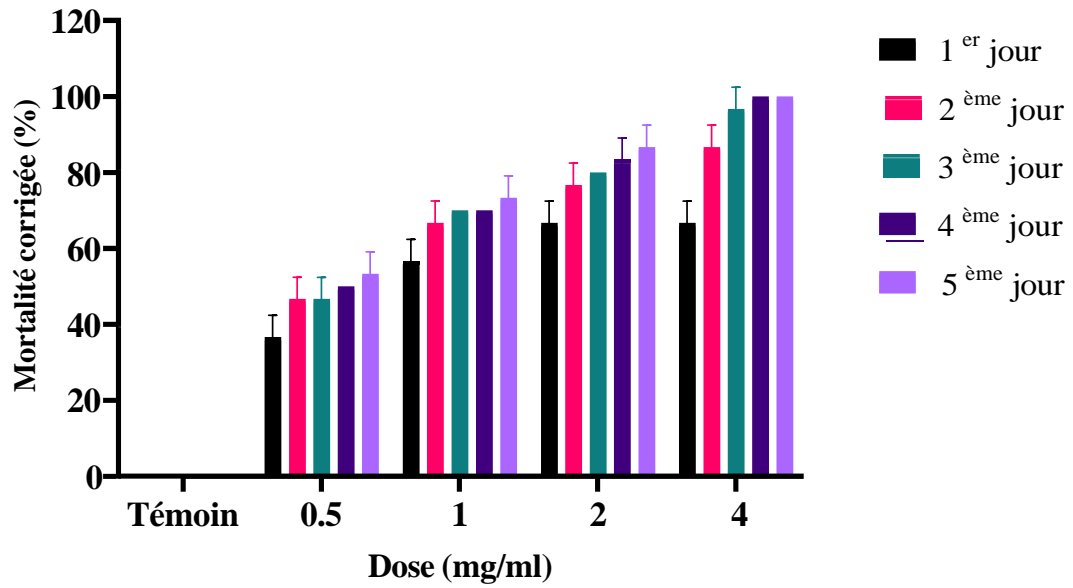


Figure 28 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Tribolium castaneum* après traitement à l'extrait de *Dittrichia viscosa* par Ultrasons

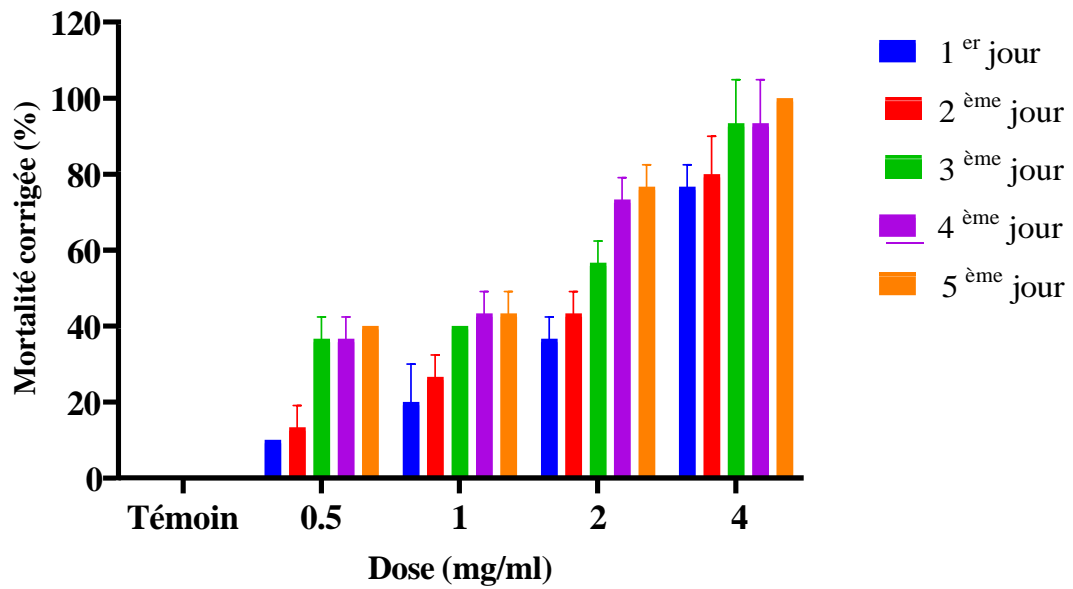


Figure 29 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Tribolium castaneum* après traitement à l'extrait de *Dittrichia viscosa* par macération

L'analyse comparative des deux techniques d'extraction et des deux plantes face à *T. castaneum* révèle des différences marquées en termes d'efficacité insecticide (**Fig. 30**). L'extraction assistée par Ultrasons se distingue nettement de la macération par sa capacité à induire des taux de mortalité plus élevés et plus rapides. En effet, pour *Z. lotus*, l'extraction assistée par Ultrasons permet une action insecticide immédiate, avec des mortalités atteignant rapidement des niveaux élevés, notamment à des doses plus faibles. Ce résultat est particulièrement frappant comparé à la macération, qui, bien que toujours efficace, produit des effets plus progressifs et nécessite un temps d'exposition plus long pour atteindre des résultats similaires. De même, pour *D. viscosa*, l'extraction assistée à l'Ultrasons a démontré une efficacité supérieure, favorisant une montée plus rapide de la mortalité, tandis que la macération se caractérise par un effet plus étalé dans le temps. Quant à la comparaison entre les plantes, *Z. lotus* se révèle incontestablement plus efficace contre *T. castaneum* que *D. viscosa*, quel que soit le mode d'extraction utilisé. Cette plante a permis d'atteindre des taux de mortalité plus élevés, et l'Ultrasons a permis de maximiser cet effet, notamment avec des doses intermédiaires, tout en agissant de manière plus rapide. En revanche, bien que *D. viscosa* présente également des effets insecticides notables, elle s'avère moins performante que *Z. lotus* dans ce contexte. Ainsi, l'extraction par Ultrasons se révèle la technique la plus efficace, et *Z. lotus* s'impose comme la plante la plus prometteuse dans la lutte contre *T. castaneum*.

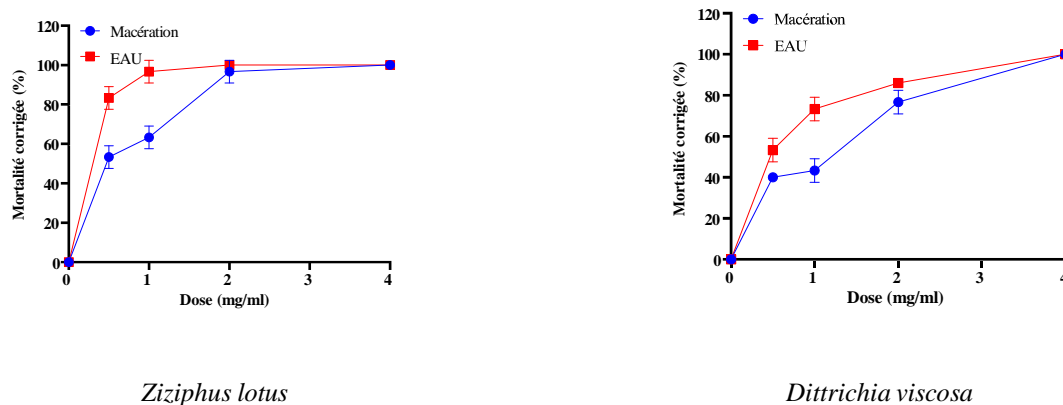


Figure 30 : Comparaison de la mortalité corrigée (%) des adultes de *Tribolium castaneum* en fonction des doses des extraits de *Ziziphus lotus* et de *Dittrichia viscosa* par macération et extraction assistée par Ultrasons (EAU) au 5^{ème} jour

III.7. Effet insecticide des extraits bruts de *Z. lotus* et de *D. viscosa* vis-à-vis de *R. dominica*

Les **figures 31** et **32** présentent l'évolution de la mortalité corrigée causée par les extraits bruts de *Z. lotus*, obtenus via l'extraction assistée par Ultrasons ainsi que la macération, après 5 jours de traitement.

L'analyse de l'effet insecticide de l'extrait brut obtenu par Ultrasons de *Z. lotus* sur *R. dominica* révèle une progression marquée de la mortalité en fonction de la dose et du temps. A la dose 1, l'efficacité demeure limitée avec une mortalité initiale de 6,66 % au premier jour, augmentant progressivement pour atteindre 46,66 % au cinquième jour. Les doses 2 et 3 affichent une dynamique plus rapide, avec des mortalités de départ respectives de 40 % et 46,66 % au premier jour, culminant à 70 % pour la dose 2 et 73,33 % pour la dose 3 au cinquième jour. La dose 4 se distingue par son efficacité supérieure, provoquant une mortalité de 53,33 % dès le premier jour et atteignant 86,66 % au cinquième jour.

L'effet insecticide par contact de l'extrait hydro-éthanolique obtenu par macération de *Z. lotus* sur *R. dominica* révèle une augmentation progressive de la mortalité en fonction de la dose et du temps. A la plus faible dose (dose 1), l'effet est limité et lent, avec une mortalité de $3,33 \pm 5,77$ % au 1^{er} jour, atteignant 30 ± 10 % au 5^{ème} jour. Avec la dose 2, la mortalité est plus marquée, débutant à $16,66 \pm 5,77$ % au 1^{er} jour pour atteindre 60 ± 10 % au 5^{ème} jour, indiquant une amélioration de l'efficacité avec l'augmentation de la dose. La dose 3 affiche une progression encore plus notable, avec une mortalité initiale de $26,66 \pm 5,77$ %, culminant à $73,33 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour. Enfin, la dose 4 montre une efficacité maximale, avec une mortalité de $36,66 \pm 11,54$ % dès le 1^{er} jour et atteignant $86,66 \pm 5,77$ % au 5^{ème} jour.

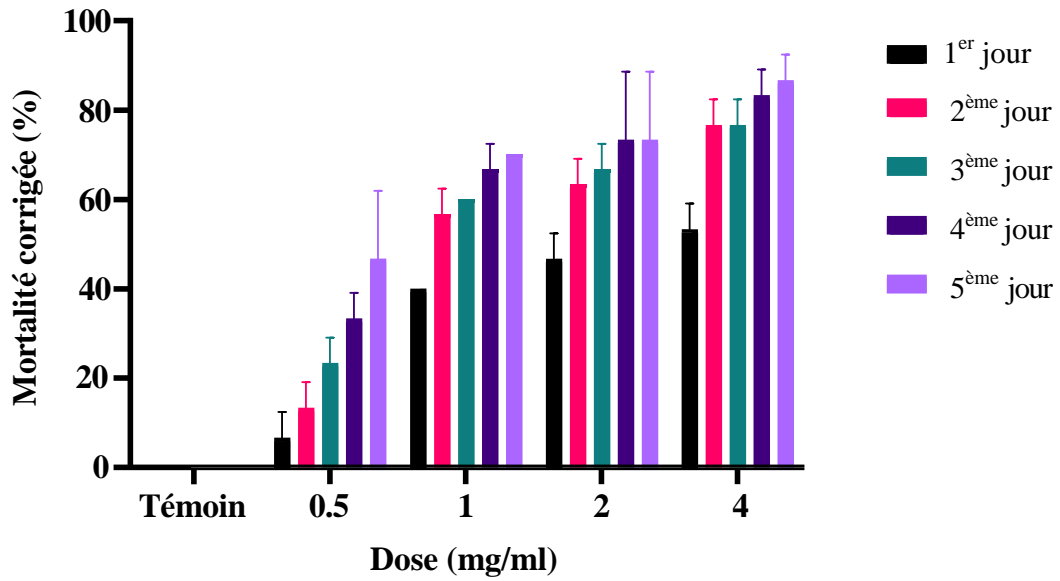


Figure 31 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Rhizopertha dominica* après traitement à l'extrait de *Ziziphus lotus* par Ultrasons

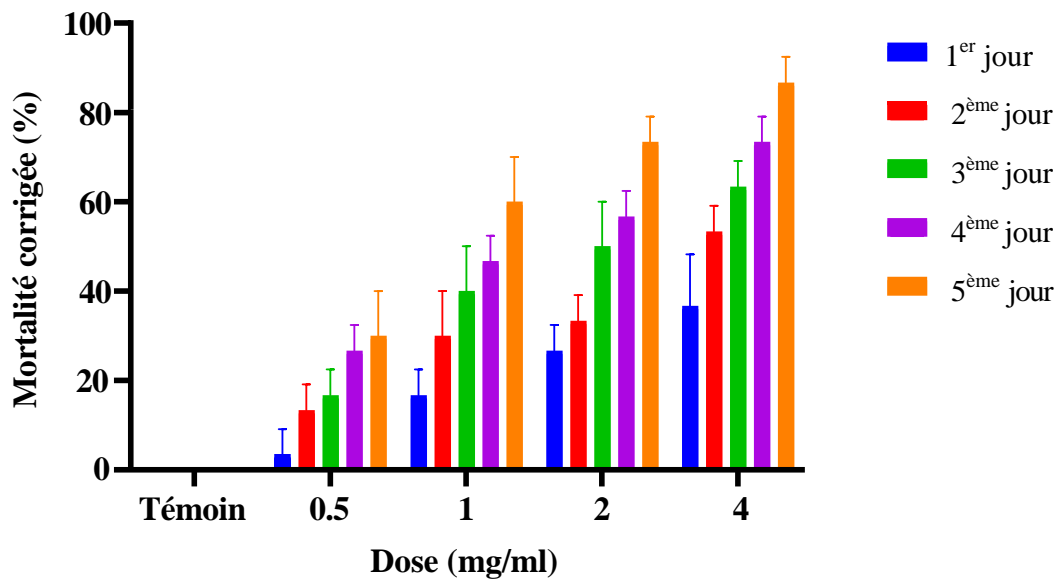


Figure 32 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Rhizopertha dominica* après traitement à l'extrait de *Ziziphus lotus* par macération

Les taux de mortalité corrigés de *R. dominica* exposés à l'extrait hydro-éthanolique de *D. viscosa* par Ultrasons montrent une progression dose-dépendante et influencée par le temps, avec des écarts types reflétant une variabilité notable (**Fig. 33**). A la dose 1, la mortalité passe de $26,66 \pm 5,77$ % le premier jour à $53,33 \pm 5,77$ % dès le troisième jour, mais se stabilise ensuite, indiquant une efficacité limitée à cette concentration. La dose 2 affiche une progression de $33,33 \pm 5,77$ % le premier jour à $60 \pm 0,00$ % le cinquième jour, bien que l'augmentation soit modérée après le troisième jour. La dose 3 montre une efficacité accrue, avec $46,66 \pm 5,77$ % le premier jour, atteignant $80 \pm 0,00$ % au cinquième jour, suggérant une activité soutenue mais non totale. Enfin, la dose 4 présente les meilleurs résultats, avec une mortalité initiale de $53,33 \pm 5,77$ % progressant jusqu'à $83,33 \pm 5,77$ % au cinquième jour, tout en montrant une variabilité plus élevée ($66,66 \pm 15,27$ % au deuxième jour). Ces données soulignent un effet insecticide amplifié par des doses plus élevées et une exposition prolongée, mais indiquent également que *R. dominica* présente une tolérance notable, particulièrement à faible dose et après plusieurs jours, ce qui pourrait limiter l'efficacité optimale à long terme.

Les taux de mortalité corrigés de *R. dominica* exposés à l'extrait hydro-éthanolique de *D. viscosa* obtenu par macération montrent une progression notable avec l'augmentation de la dose et le temps d'exposition, bien que les valeurs globales soient inférieures à celles obtenues par Ultrasons (**Fig. 34**). A la dose 1, la mortalité initiale est très faible ($3,33 \pm 5,77$ %) et plafonne rapidement à $23,33 \pm 5,77$ % dès le troisième jour, sans amélioration ultérieure, reflétant une efficacité limitée à cette concentration. La dose 2 présente une progression modérée, passant de $16,66 \pm 5,77$ % le premier jour à $36,66 \pm 5,77$ % au cinquième jour, bien que l'effet semble ralentir après le quatrième jour. La dose 3 montre une efficacité accrue, avec une mortalité de $26,66 \pm 5,77$ % au premier jour et atteignant $46,66 \pm 5,77$ % au quatrième et cinquième jour, sans progression significative au-delà. La dose 4 se distingue par la mortalité la plus élevée, atteignant $46,66 \pm 5,77$ % dès le premier jour et culminant à $66,66 \pm 5,77$ % au cinquième jour, bien qu'un plateau soit observé à partir du troisième jour.

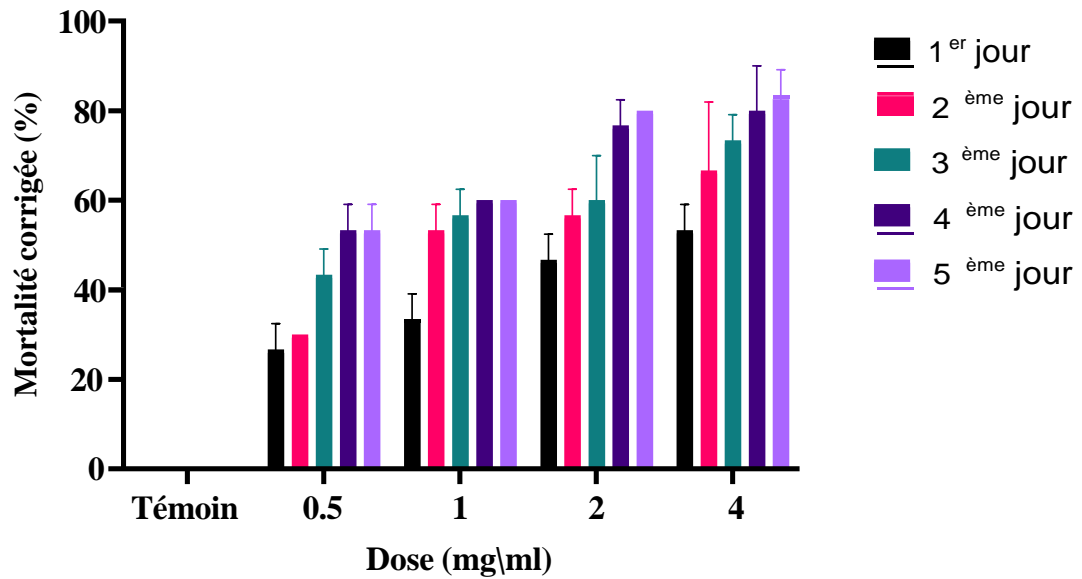


Figure 33 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Rhyzopertha dominica* après traitement à l'extrait de *Dittrichia viscosa* par Ultrasons

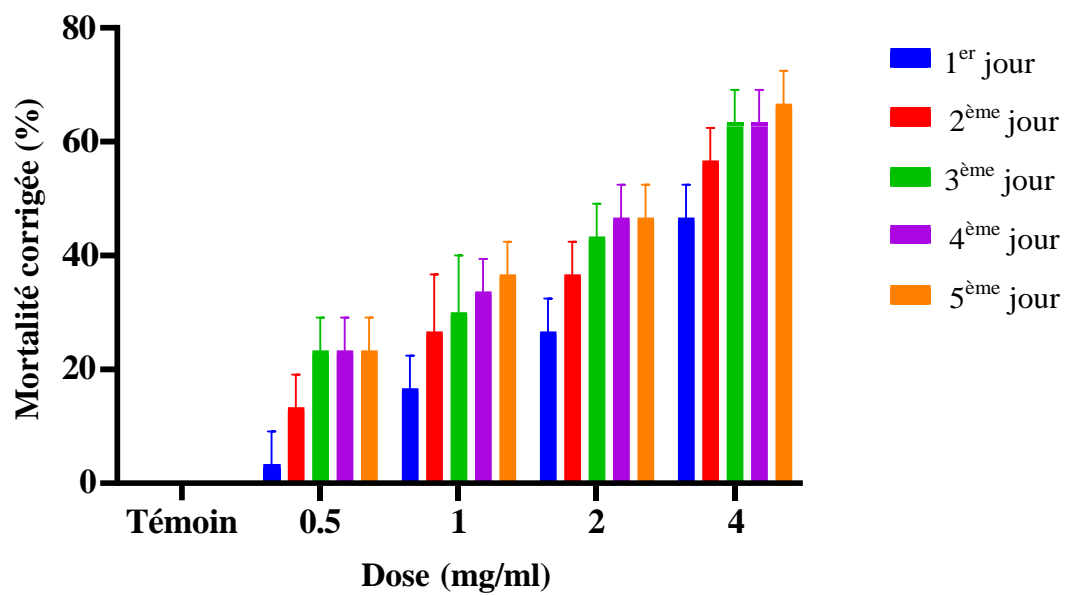


Figure 34 : Taux de mortalité (%) des adultes de *Rhyzopertha dominica* après traitement à l'extrait de *Dittrichia viscosa* par macération

La comparaison des effets insecticides de l'extrait de *Z. lotus* obtenu par extraction assistée par Ultrasons et par macération sur *R. dominica* montre des différences marquées tant dans l'efficacité des deux techniques que dans leur progression temporelle (**Fig. 35**). En effet, l'extraction par Ultrasons induit des taux de mortalité plus élevés et une progression plus rapide, notamment pour les doses les plus élevées, par rapport à la macération. De plus, l'extrait hydro-éthanolique de *D. viscosa* suit une tendance similaire, avec des taux de mortalité plus importants sous Ultrasons qu'avec la macération. Toutefois, malgré des différences dans l'efficacité des deux techniques, *R. dominica* semble présenter une certaine tolérance, surtout à faible dose et sur une période prolongée, en particulier pour la macération.

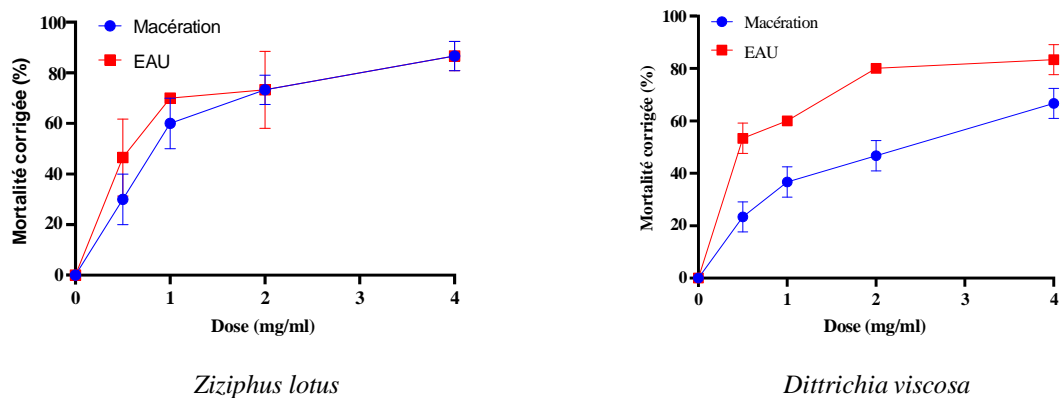


Figure 35 : Comparaison de la mortalité corrigée (%) des adultes de *Rhyzopertha dominica* en fonction des doses des extraits de *Ziziphus lotus* et de *Dittrichia viscosa* par macération et extraction assistée par Ultrasons (EAU) au 5^{ème} jour

Les résultats des tests Two-way ANOVA révèlent que l'interaction entre le temps d'exposition et les concentrations appliquées des extraits hydro-éthanoliques de *Z. lotus* et *D. viscosa* est significative pour toutes les combinaisons testées, confirmant leur influence sur la mortalité des insectes *T. castaneum* et *R. dominica*. Pour *T. castaneum*, les tests montrent des interactions significatives avec des valeurs de F de 5,624 ($P < 0,0001$) et 4,202 ($P < 0,0001$) pour les extraits obtenus par Ultrasons, tandis que pour les extraits obtenus par macération, les valeurs de F sont de 3,901 ($P < 0,0001$) et 2,782 ($P < 0,01$). Concernant *R. dominica*, les interactions pour les extraits obtenus par Ultrasons affichent également des résultats significatifs avec des valeurs de F de 5,846 ($P < 0,0001$) pour *Z. lotus* et de 4,412 ($P < 0,0001$) pour *D. viscosa*. Les extraits obtenus par macération présentent des valeurs de F de 3,801 ($P < 0,0001$) et 2,670 ($P < 0,01$), respectivement pour *Z. lotus* et *D. viscosa*. Ces résultats confirment la signification statistique des interactions entre le temps et les concentrations, indiquant que ces deux facteurs influencent notablement la mortalité des populations d'insectes testées, et que la méthode d'extraction (Ultrasons ou macération) joue un rôle important dans l'efficacité des extraits.

De nombreuses études présentes dans la littérature ont évalué l'effet insecticide par contact des extraits phénoliques de plantes contre les insectes nuisibles aux denrées stockées appartenant à différentes familles (Oryzae, 2006 ; Kumar *et al.*, 2011 ; Saada *et al.*, 2022).

L'analyse des résultats obtenus met en évidence des différences marquées entre les techniques d'extraction, les deux plantes étudiées, et leur efficacité contre les deux insectes cibles. L'extraction assistée par Ultrasons se démarque nettement de la macération, offrant une efficacité insecticide accrue avec des taux de mortalité plus rapides et plus élevés, quel que soit l'insecte ou la plante étudiée. Cette différence est particulièrement notable pour *Z. lotus*, qui se révèle plus efficace que *D. viscosa*, indépendamment du mode d'extraction. Contre *T. castaneum*, l'extrait de *Z. lotus* par Ultrasons atteint une mortalité complète à la dose maximale dès le quatrième jour, tandis que l'extrait obtenu par macération nécessite un temps d'exposition plus long pour obtenir des résultats similaires. En comparaison, *D. viscosa* présente des effets insecticides moins prononcés, nécessitant des doses plus élevées et des durées prolongées, tant pour l'extraction par Ultrasons que pour celle par macération. Concernant *R. dominica*, les deux plantes montrent une efficacité globalement réduite par rapport à leur action sur *T. castaneum*, mettant en évidence une résistance accrue de cet insecte. Néanmoins, l'extraction par Ultrasons de *Z. lotus* reste la méthode la plus performante, avec des mortalités plus rapides et plus importantes comparées à la macération. Ces observations confirment que l'extraction assistée par Ultrasons optimise l'activité insecticide des extraits, notamment pour *Z. lotus*, qui se

distingue comme une plante particulièrement prometteuse dans la lutte contre les insectes nuisibles des produits stockés.

L'étude menée par **Daraban et al. (2021)** met en évidence que l'activité insecticide varie en fonction de la méthode d'extraction utilisée pour préparer les extraits, ce qui concorde avec les résultats de notre recherche.

Lampiri et al. (2020) ont étudié l'effet insecticide de la matière épicuticulaire lyophilisée de *D. viscosa* sur quatre espèces majeures de coléoptères des produits stockés. Parmi les espèces testées, *Oryzaephilus surinamensis* s'est révélé le plus sensible, suivi de *Tribolium confusum* et *Sitophilus oryzae*, tandis que *R. dominica* a montré une résistance marquée. Les résultats indiquent que, pour *R. dominica*, seule l'exposition avait un impact statistiquement notable. Néanmoins, quelle que soit la dose appliquée, la mortalité des adultes ne différait pas significativement de celle du témoin à tous les intervalles d'exposition, et les taux de mortalité observés restaient inférieurs à 12 %. Ces résultats corroborent les nôtres, où nous avons également observé que *R. dominica* est plus résistant que *T. castaneum* dans toutes les conditions d'extraction testées. Cela confirme la robustesse particulière de cette espèce face à divers agents insecticides.

Les résultats de **Habib et al. (2018)** mettent en évidence que *R. dominica* se distingue par une résistance accrue par rapport à *T. castaneum*. La mortalité maximale de *T. castaneum* est de 65,06 %, observée avec l'extrait méthanolique de *Ricinus communis* à 15 % après 72 heures, tandis que celle de *R. dominica* atteint 59,51 % dans les mêmes conditions. Aux concentrations les plus faibles (5 %) et après 24 heures, *R. dominica* affiche une mortalité minimale de 1,01 % avec l'extrait de *Jatropha curcus* à base de n-hexane, contre 4,24 % pour *T. castaneum*. Ces résultats indiquent que *R. dominica* est plus résistant, notamment dans des conditions de faible concentration et d'exposition réduite, mettant en lumière une différence notable dans la sensibilité des deux insectes aux extraits testés. Ces observations corroborent nos propres résultats, où *R. dominica* s'est également révélé plus résistant que *T. castaneum* dans l'ensemble des expérimentations menées.

En revanche, une étude menée par **Manzoor et al. (2011)** révèle que l'extrait éthanolique de certaines plantes présente une faible toxicité contre *T. castaneum*, tout en étant plus efficace contre *Oryzaephilus surinamensis* et *Callosobruchus chinensis*. De manière similaire, **Saada et al. (2022)** rapportent que l'évaluation de la mortalité corrigée, exprimée en pourcentage, montre une activité insecticide par contact modérée pour les extraits de *Cupressus sempervirens* L. et *Juniperus phoenicea* L., élevée pour *Mentha rotundifolia* (L.) Huds., et faible pour *Asphodelus microcarpus* contre les adultes de *T. castaneum* après 10 jours de contact. En

outre, **Saada (2023)** compare l'efficacité des mêmes plantes sur *T. castaneum* et *R. dominica*. Les résultats montrent que les extraits testés sont plus efficaces contre les adultes de *R. dominica* que contre *T. castaneum*, ce dernier ayant démontré une tolérance notable aux faibles concentrations. Ces observations divergent de nos résultats, où *R. dominica* s'est révélé plus résistant que *T. castaneum* dans toutes les conditions d'extraction testées. D'autre part, l'évaluation de l'effet insecticide par contact de l'extrait méthanolique de *Decalepis hamiltonii* par **Rajashekar et al. (2010)** montre que les taux de mortalité les plus élevés s'observent chez *R. dominica*, par rapport à ceux enregistrés chez *Sitophilus oryzae* et *Callosobruchus chinensis*. Les mêmes constatations sont faites par **George et al. (2024)**, qui démontrent que *R. dominica* est plus sensible au bio-fumigant dérivé du manioc que *T. castaneum*.

La variation des résultats concernant la résistance de *R. dominica* et *T. castaneum* dans les différentes études pourrait être attribuée à plusieurs facteurs. D'une part, les différences dans les conditions expérimentales, telles que le type d'extraits utilisés, les méthodes d'application, ainsi que les doses et durées d'exposition, peuvent influencer l'efficacité des traitements et donc la susceptibilité des insectes. D'autre part, les caractéristiques biologiques et comportementales spécifiques des deux espèces, comme leur capacité à développer des mécanismes de résistance, leur métabolisme ou encore leurs préférences alimentaires, pourraient également jouer un rôle déterminant.

Les études antérieures ont révélé que la richesse en métabolites secondaires des extraits végétaux est étroitement liée à leur efficacité en tant qu'agents insecticides (**Baliyarsingh et al., 2020 ; Al-Massarani et al., 2021**). Il a été largement observé que l'activité insecticide est fortement influencée par la méthode d'extraction choisie ainsi que le type de solvant utilisé. Plus particulièrement, les extraits hydro-acétoniques et hydro-méthanoliques obtenus par extraction assistée par Ultrasons ont montré des pourcentages de mortalité nettement plus élevés que ceux obtenus par la méthode traditionnelle de macération. Cette tendance a également été corroborée par les travaux de **Hasaballah et al. (2018)** et **Hernandez-Trejo et al. (2021)**, qui soulignent l'impact déterminant de ces facteurs sur l'efficacité des extraits. Ces résultats mettent en lumière l'importance cruciale du choix de la technique d'extraction et des solvants dans l'optimisation des propriétés insecticides des plantes.

III.8. Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii*

Les **figure 36** et **37** illustrent l'évolution de la mortalité des adultes de *T. castaneum* par contact avec les huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii*.

L'efficacité insecticide des huiles essentielles d'*A. arborescens* et *R. tournefortii* contre *T. castaneum* varie en fonction de la concentration et du temps d'exposition, révélant des tendances marquées dans leurs activités respectives.

Pour *A. arborescens*, aucun effet insecticide n'est observé à la concentration la plus faible (1 $\mu\text{l/ml}$) après 24 et 48 heures, tandis qu'une légère mortalité de $5\% \pm 7,07$ est enregistrée après 72 heures. Aux concentrations intermédiaires (2 à 4 $\mu\text{l/ml}$), l'efficacité progresse significativement avec le temps. Pour la concentration 4 $\mu\text{l/ml}$, la mortalité passe de $36,66\% \pm 15,27$ après 24 heures à $86,66\% \pm 5,77$ après 48 heures, atteignant $96,66\% \pm 5,77$ après 72 heures. Aux concentrations les plus élevées (5 et 6 $\mu\text{l/ml}$), l'huile essentielle se montre rapidement efficace avec une mortalité importante dès 24 heures ($90\% \pm 10$ et $93,33\% \pm 5,77$, respectivement), atteignant 100 % dès 48 heures, un effet maintenu jusqu'à 72 heures.

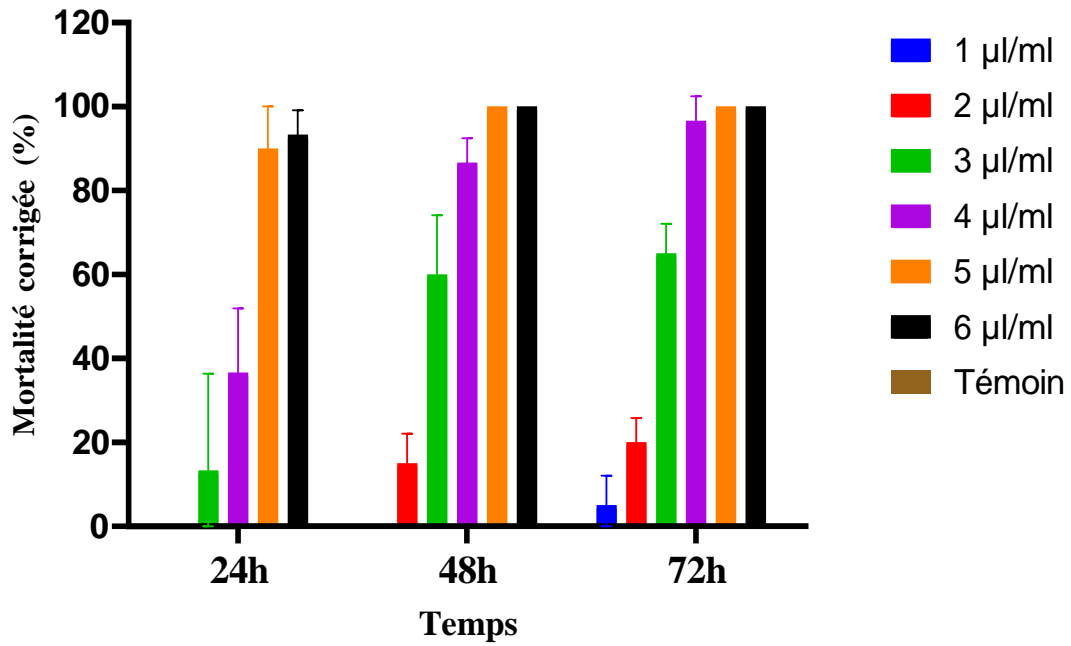


Figure 36 : Taux de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* induit par l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens*

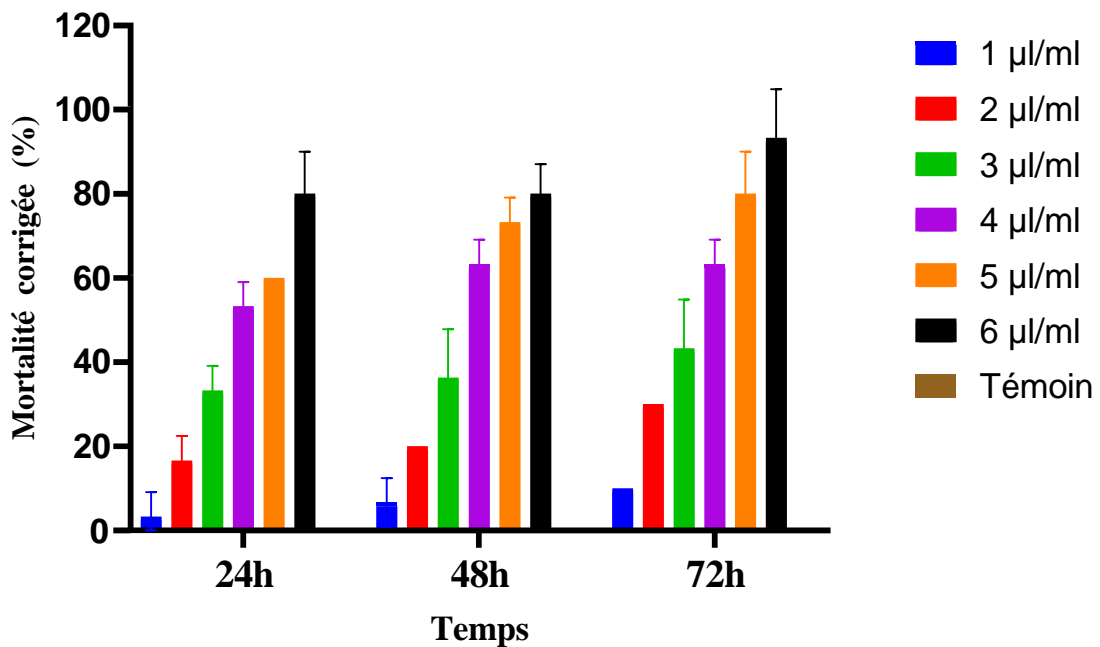


Figure 37 : Taux de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum* induit par l'huile essentielle de *Rosmarinus tournefortii*

En revanche, *R. tournefortii* montre une efficacité légèrement inférieure, notamment aux faibles concentrations. A 1 µl/ml, la mortalité reste faible avec 3,33 % ± 5,77 après 24 heures, augmentant à seulement 10 % ± 0 après 72 heures. Aux concentrations intermédiaires (2 à 4 µl/ml), une augmentation progressive est observée, atteignant 53,33 % ± 5,77 à 24 heures et 63,33 % ± 5,77 après 48 et 72 heures à 4 µl/ml. Aux concentrations élevées (5 et 6 µl/ml), *R. tournefortii* montre une efficacité accrue contre *T. castaneum*, avec des taux de mortalité atteignant respectivement 60,0 ± 0,0 % et 80,0 ± 10,0 % après 24 heures, pour culminer à 80,0 ± 10,0 % et 93,33 ± 11,54 % après 72 heures.

Par ailleurs, les témoins pour les deux huiles essentielles ne montrent aucun effet insecticide (0 % ± 0), confirmant que les mortalités observées sont exclusivement attribuées aux huiles testées.

Une comparaison entre les deux huiles essentielles met en évidence la supériorité de *A. arborescens* à toutes les concentrations, particulièrement aux faibles et moyennes doses, avec une action plus rapide et plus complète. Toutefois, à des concentrations élevées (5 et 6 µl/ml), les deux huiles atteignent une efficacité presque totale, bien que *A. arborescens* atteigne 100 % de mortalité dès 48 heures, tandis que *R. tournefortii* atteint ce niveau après 72 heures. Ces résultats soulignent le potentiel remarquable de ces huiles essentielles pour le contrôle biologique de *T. castaneum*, avec une efficacité particulièrement notable pour *A. arborescens*.

Les **figure 38** et **39** illustrent l'impact des huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii* sur la mortalité de *R. dominica* au fil du temps.

L'huile essentielle d'*A. arborescens* montre une efficacité insecticide marquée contre *R. dominica*, avec des taux de mortalité augmentant de manière significative avec la concentration et le temps d'exposition. A la concentration la plus faible (1 µl/ml), la mortalité reste faible, atteignant seulement 3,33 ± 5,77 % après 24 heures, puis progresse à 50 ± 0 % après 48 heures et 55 ± 7,07 % après 72 heures. Cette tendance s'accroît aux concentrations intermédiaires (3 µl/ml), où le taux de mortalité atteint 63,33 ± 5,77 % à 48 heures et 65 ± 7,07 % à 72 heures. Les concentrations les plus élevées (5 et 6 µl/ml) révèlent une action rapide et maximale : à 5 µl/ml, la mortalité atteint 80 ± 0 % en 24 heures et grimpe à 100 % en 72 heures, tandis qu'à 6 µl/ml, l'effet est total (100 %) dès 24 heures. Ces résultats démontrent que l'huile essentielle de *A. arborescens* possède une puissante activité insecticide dépendante de la dose et du temps, avec une efficacité optimale dès les doses élevées.

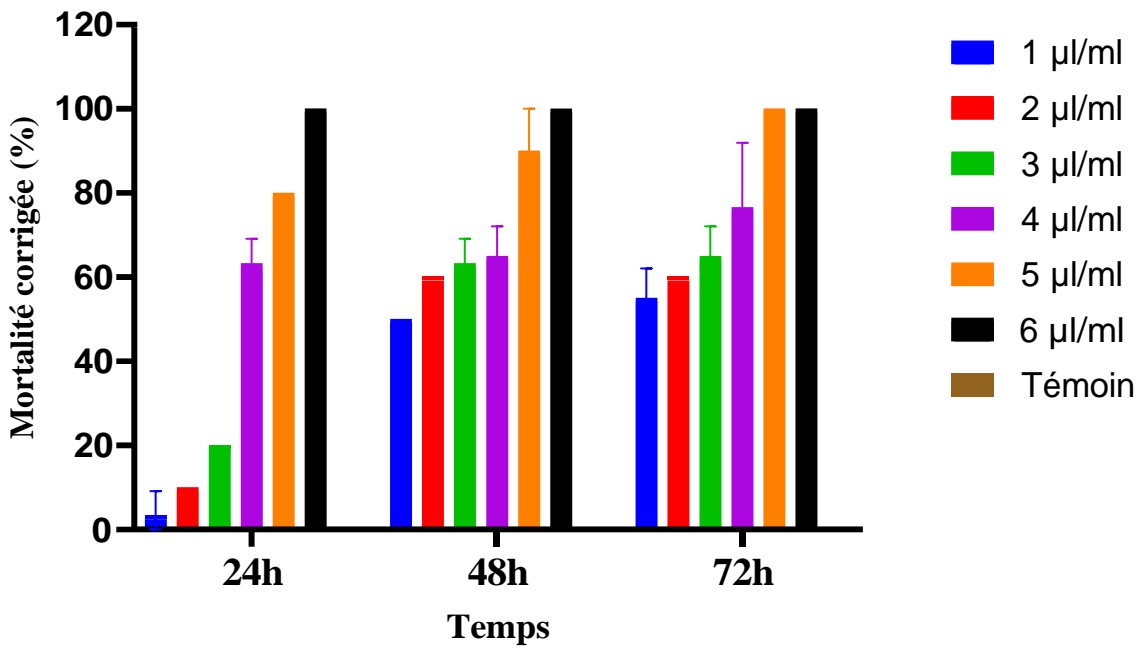


Figure 38 : Taux de mortalité des adultes de *Rhyzopertha dominica* induit par l'huile essentielle d'*Artemisia arborescens*

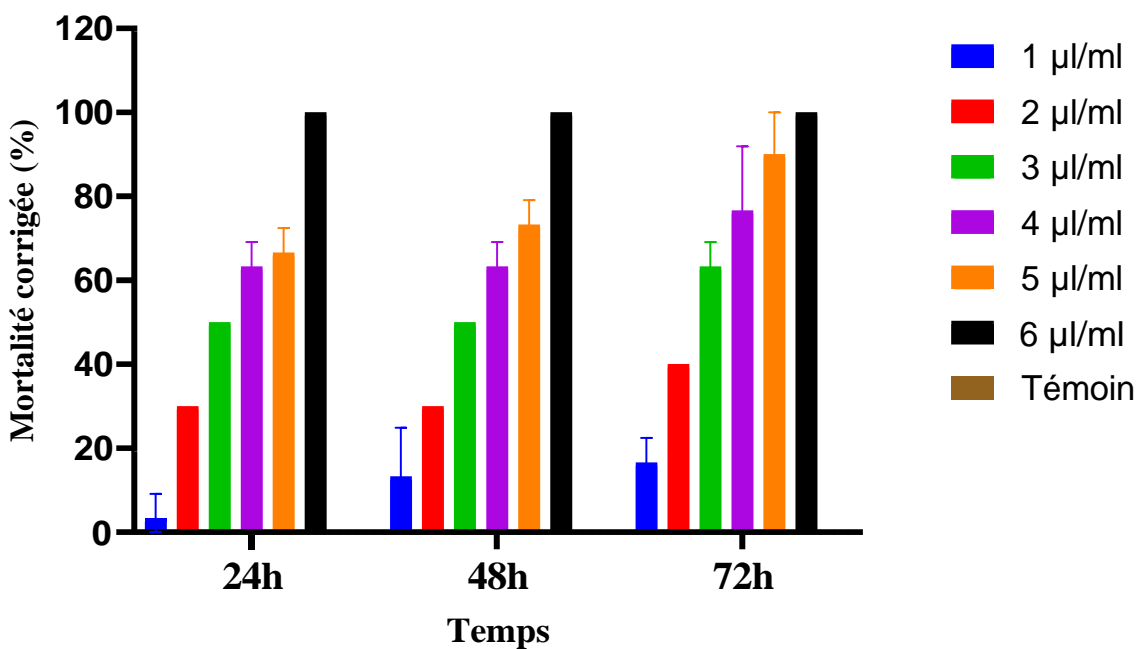


Figure 39 : Taux de mortalité des adultes de *Rhyzopertha dominica* induit par l'huile essentielle de *Rosmarinus tournefortii*

L'huile essentielle de *R. tournefortii* présente une activité insecticide modérée mais marquée contre *R. dominica*, avec une nette dépendance aux concentrations et aux temps d'exposition. A la concentration la plus faible (1 µl/ml), la mortalité initiale est faible ($3,33 \pm 5,77$ % après 24 heures) et progresse lentement, atteignant seulement $13,33 \pm 11,54$ % après 48 heures et $16,66 \pm 5,77$ % après 72 heures. Cette faible efficacité souligne une action limitée à faible dose. A des concentrations intermédiaires, l'effet devient notable. A 2 µl/ml, la mortalité est stable à 30 ± 0 % pendant les 48 premières heures, avant d'augmenter légèrement pour atteindre 40 ± 0 % à 72 heures. A 3 µl/ml, une augmentation significative est observée, avec une mortalité de 50 ± 0 % dès 24 heures et culminant $63,33 \pm 5,77$ % à 72 heures. Aux concentrations plus élevées (4 et 5 µl/ml), l'activité insecticide est plus prononcée. Pour 4 µl/ml, la mortalité atteint $63,33 \pm 5,77$ % dès 24 heures et reste constante à 48 heures avant de s'élever à $76,66 \pm 15,27$ % à 72 heures. A 5 µl/ml, une mortalité de $66,66 \pm 5,77$ % est enregistrée après 24 heures, augmentant régulièrement à $73,33 \pm 5,77$ % à 48 heures et atteignant $90,0 \pm 10$ % à 72 heures. Enfin, à la concentration la plus élevée (6 µl/ml), une mortalité totale (100 ± 0 %) est observée dès les premières 24 heures et se maintient à 48 et 72 heures, révélant une efficacité maximale dès cette dose.

En l'absence de traitement (témoin), aucune mortalité n'est enregistrée à tous les temps d'exposition (0 ± 0 %), confirmant que les effets observés sont exclusivement attribuables à l'huile essentielle. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité dose-dépendante et le potentiel insecticide accru de *R. tournefortii* contre *R. dominica*, bien que des concentrations élevées soient nécessaires pour une action rapide et complète.

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur les propriétés insecticides de diverses huiles en tant que fumigant, répulsif, antifeedant et régulateur de croissance des insectes (Hummelbrunner et Isman, 2001 ; Hierro *et al.*, 2004 ; Pérez *et al.* 2010 ; Isman *et al.* 2011 ; Ebadollahi *et al.*, 2013 ; Ajayi *et al.*, 2014). En parallèle, différentes recherches ont démontré les propriétés insecticides de plusieurs huiles essentielles extraites de diverses plantes aromatiques appartenant aux familles des Asteraceae et des Lamiaceae contre plusieurs insectes nuisibles des produits céréaliers stockés (Boussaada *et al.*, 2008 ; Khater et El-Shafiey, 2015 ; Teke et Mutlu, 2021 ; Basile *et al.*, 2022 ; Devrnja *et al.*, 2022 ; Hernández-Cruz *et al.*, 2023).

Les tests de contact confirment l'effet insecticide des huiles essentielles utilisées, montrant une augmentation significative de la mortalité des insectes à mesure que la concentration d'huile essentielle augmentait. De plus, l'efficacité dépendait du temps, avec une augmentation progressive de la mortalité des insectes au fil des heures suivant le traitement.

Ces observations sont en corrélation avec celles de **Zouirech et al. (2022)** et **El Abdali et al. (2022)**.

Les résultats obtenus donc montrent que les huiles essentielles d'*A. arborescens* et *R. tournefortii* possèdent des effets insecticides prometteurs contre le *T. castaneum* et le *R. dominica*, qui pourraient être attribués à leurs composition chimique. Ce potentiel d'efficacité provient de la présence de certains composants évalués précédemment pour leurs propriétés thérapeutiques. D'ailleurs, le camphre est un monoterpène largement présent dans les huiles essentielles qui possède des propriétés antiseptiques et anti-inflammatoires antioxydantes antifongiques (**Chang et al. 2001 ; Zuccarini, 2009 ; Ehrnhöfer-Ressler et al., 2013 ; Silva et Faria, 2014**). Ainsi que le terpinène est connu pour ses propriétés antimicrobiennes et antifongiques (**Zhang et al. 2018 b**).

Les travaux de **Bouzenna et Krichen (2013)** sur l'huile essentielle d'*A. arborescens* soulignent son potentiel comme agent insecticide contre *R. dominica*, avec une mortalité totale atteinte après 21 jours pour les doses de 3 μL et 12 μL , et plus rapidement à 17 jours pour la dose de 50 μL . Cette étude confirme la capacité de l'huile essentielle à induire une mortalité significative, dépendant de la concentration et du temps d'exposition. Nos résultats corroborent cette efficacité, en particulier à des concentrations élevées de l'huile essentielle, où nous avons observé une mortalité quasi totale de *T. castaneum* à 24 heures, atteignant même 100 % après 48 heures avec une concentration de 6 $\mu\text{L}/\text{ml}$. Cela montre que l'efficacité insecticide de *A. arborescens* contre les insectes des denrées stockées, en particulier *R. dominica*, est non seulement confirmée, mais aussi rapide à se manifester, avec une efficacité particulièrement marquée dans les conditions de forte concentration.

Dans le même sens, **Idouaaramé et al. (2018)** ont également rapporté une forte mortalité des insectes nuisibles, notamment *R. dominica*, à des concentrations plus faibles (20 $\mu\text{L}/\text{L}$ d'air) après seulement 24 heures d'exposition. Ils ont observé une mortalité de 90 % à cette concentration, soulignant que l'huile essentielle d'*A. arborescens* possède une forte activité insecticide en fumigation. Bien que nos résultats diffèrent en termes de méthode (contact direct plutôt que fumigation), ils confirment cette activité en montrant une réponse rapide et significative, notamment avec des concentrations à partir de 5 $\mu\text{L}/\text{ml}$, où la mortalité de *T. castaneum* atteint 100 % en moins de 48 heures. Il est donc intéressant de noter que l'efficacité d'*A. arborescens* semble se maintenir, voire s'intensifier, dans des conditions d'exposition prolongée et à des doses plus élevées, ce qui renforce son potentiel comme insecticide naturel.

Les résultats obtenus par **Ncibi et al. (2019)** soutiennent également l'idée que l'huile essentielle d'*A. arborescens* et de *Rosmarinus officinalis* possèdent une activité répulsive et insecticide contre *R. dominica* et *T. castaneum*. Nos résultats vont dans le même sens, en montrant que nos deux huiles essentielles sont capables d'agir efficacement contre *T. castaneum*, bien que *A. arborescens* se distingue par sa capacité à induire une mortalité plus rapide et plus élevée à des doses plus faibles que *R. tournefortii*. Par exemple, à la concentration de 6 µL/ml, l'huile essentielle d'*A. arborescens* induit une mortalité de 100 % en 48 heures, tandis que *R. tournefortii* atteint ce même taux de mortalité après 72 heures. Ce contraste témoigne de l'efficacité supérieure d'*A. arborescens* contre *T. castaneum*, en particulier dans les premiers stades d'exposition.

Ces observations globales soulignent non seulement l'efficacité insecticide notable de *A. arborescens*, mais aussi l'importance de la concentration et du temps d'exposition pour maximiser l'impact de cette huile essentielle contre les insectes des denrées stockées. Les résultats obtenus, notamment dans nos essais, confirment que l'huile essentielle d'*A. arborescens* est un agent efficace et rapide, avec une capacité à induire une mortalité totale à des concentrations relativement faibles, ce qui en fait un candidat prometteur pour le contrôle biologique de *T. castaneum*. La diversité des résultats observés dans les différentes études renforce l'idée que cette huile essentielle pourrait jouer un rôle clé dans la gestion des ravageurs des produits stockés, avec des applications possibles à la fois en fumigation et par contact direct. Par conséquent, les insecticides botaniques à base d'huiles essentielles peuvent être préférés aux insecticides conventionnels pour protéger les céréales stockées et leurs produits contre le *T. castaneum* (**Pandey et al., 2018 ; Wanna et Bozdoğan, 2024**).

A ce jour, aucune étude préalable n'a exploré l'effet insecticide de *R. tournefortii* contre *T. castaneum* et contre *R. dominica*, ce qui rend toute comparaison directe impossible et met en lumière l'originalité de notre travail. Toutefois, une étude réalisée par **Khoobdel et al. (2017)** s'est intéressée à l'effet insecticide de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* contre *T. castaneum*. Les résultats de cette étude indiquent que les huiles essentielles de *R. officinalis*, lorsqu'elles sont nanoencapsulées, peuvent être utilisées efficacement pour lutter contre *T. castaneum*. Cette technique permettrait de produire des pesticides dotés de propriétés de libération contrôlée, réduisant ainsi la concentration des doses appliquées et le nombre d'applications nécessaires. Ces observations complètent les travaux d'**Awadalla et al. (2017)**, qui ont montré l'efficacité des huiles essentielles de *Matricaria chamomilla*, *Pimpinella anisum* et *Cuminum cyminum* contre *T. castaneum* et *S. oryzae*. Bien que *T. castaneum* se soit révélé

plus tolérant que *S. oryzae* aux huiles essentielles, les deux études mettent en évidence le potentiel des huiles essentielles comme agents insecticides naturels.

Dans le cadre de nos recherches, les huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii* ont également démontré une activité notable contre *T. castaneum*. Toutefois, la tolérance relative observée chez cet insecte pourrait être atténuée par des approches telles que la nanoencapsulation, qui améliore l'efficacité et la persistance des composés bioactifs. Ainsi, la combinaison des résultats des différentes études souligne l'importance de développer des stratégies innovantes, comme la formulation avancée, pour optimiser l'utilisation des huiles essentielles dans la lutte contre les ravageurs des denrées stockées.

D'autre part, les études disponibles mettent en évidence l'activité insecticide notable de l'huile essentielle de *R. tournefortii* contre les adultes de *Callosobruchus maculatus*. D'après **Menaceur et al. (2016)**, la mortalité corrigée des adultes exposés à cette huile essentielle est proportionnelle aux concentrations testées. A des concentrations de 0,25 et 0,5 µl/g, elle entraîne des mortalités respectives de $69,00 \pm 5,68$ % et $93,00 \pm 6,75$ %. Une mortalité totale (100 %) est atteinte à une concentration de 1 µl/g. Les valeurs de CL₅₀ et CL₉₀ obtenues sont de $0,19 \pm 0,01$ et $0,39 \pm 0,01$ µl/g, ce qui confirme une forte toxicité. Dans le même contexte, les travaux récents de **Bouchikhi et al. (2022)** montrent également que l'huile essentielle de *R. tournefortii* exerce un effet biologique notable, provoquant une mortalité de 66,66 % à la dose la plus élevée après quatre jours d'exposition. Ces auteurs, indiquent que l'huile essentielle de *R. officinalis* s'est révélée plus toxique, avec une DL₅₀ de 2,97 µL/30g contre 4,74 µL/30g pour *R. tournefortii*.

L'activité insecticide observée est généralement attribuée à une intoxication des insectes. Selon **Aboua et al. (2010)**, cette intoxication bloque la transmission de l'influx nerveux en inhibant l'hydrolyse de l'acétylcholine, entraînant ainsi paralysie et mort. Une efficacité similaire contre *C. maculatus* est rapportée par **Gakuru et Foua-Bi (1995)**, qui ont utilisé les huiles essentielles d'*Eucalyptus citriodora* et *Ocimum basilicum* pour lutter contre le bruché du niébé. De plus, **Moharramipour et al. (2008)** montrent que l'huile essentielle de *Thymus persicus* présente une toxicité répulsive et fumigante contre *T. castaneum* et *C. maculatus*. Leurs bioessais révèlent que les adultes de *C. maculatus* sont nettement plus sensibles (CL₅₀ = 2,39 µl/l d'air) à cette huile essentielle que ceux de *T. castaneum* (CL₅₀ = 234,42 µl/l d'air). Ces résultats confirment le potentiel des huiles essentielles comme alternatives prometteuses dans la gestion des ravageurs des produits stockés, notamment grâce à leur toxicité élevée et à leurs effets neurotoxiques.

Afin de déterminer les concentrations des huiles essentielles étudiées nécessaire pour provoquer 50 % de mortalité, les valeurs de CL₅₀ ont été estimées chez *R. dominica* et *T. castaneum* (Tab. 5).

Tableau 5 : Concentration létale et valeurs du chi-carré pour les huiles essentielles d'*A. arborescens* et de *R. tournefortii*

Espèces végétales	Insecte	CL ₅₀ (µl/ml)	CL ₉₀ (µl/ml)	Slope	Intercept	Chi-square
<i>A. arborescens</i>	<i>T. castaneum</i>	2,425	3,859	5,41	-1,95	37,979
	<i>R. dominica</i>	1,210	5,088	0,87	0,07	47,513
<i>R. tournefortii</i>	<i>T. castaneum</i>	2,878	7,008	3,32	-1,47	11,602
	<i>R. dominica</i>	2,218	4,960	2,5	-0,98	39,297

D'après les résultats du tableau 5 ci-dessus, la valeur la plus faible de CL₅₀ (1,210 µl/ml) est soulevée par l'huile essentielle d'*A. arborescens* chez le *R. dominica*.

En examinant les valeurs des CL₅₀ obtenues dans cette étude, il est clair que *R. dominica* est l'espèce la plus sensible aux huiles essentielles par rapport à *T. castaneum*. En effet, bien que *R. dominica* soit généralement considéré comme plus résistant selon les tableaux de mortalité, il présente la plus faible CL₅₀, notamment avec l'huile essentielle d'*A. arborescens* (1,210 µl/ml), suggérant une sensibilité accrue à cette huile à des concentrations plus faibles. En revanche, *T. castaneum* nécessite des doses plus élevées pour atteindre 50 % de mortalité, avec une CL₅₀ de 2,425 µl/ml pour *A. arborescens* et de 2,878 µl/ml pour *R. tournefortii*, ce qui témoigne d'une résistance relative à ces traitements. De plus, l'huile essentielle d'*A. arborescens* se distingue comme la plus performante, enregistrant les valeurs de CL₅₀ les plus faibles pour les deux insectes, ce qui reflète son efficacité supérieure. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Ncibi et al. (2019)** qui ont montré que le *R. dominica* (CL₅₀ = 150 µl/l air) est plus sensible à l'huile essentielle de l'Armoise par rapport au *T. castaneum* (CL₅₀ ≥ 150 µl/l air) dans le test par inhalation. D'autre part, les résultats trouvés par **Abouelatta et al. (2020)** confirment que l'espèce *R. dominica* présente des CL₅₀ inférieures à celles de *T. castaneum* pour le test d'inhalation de l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens*. Ces résultats s'alignent partiellement avec ceux rapportés par **Moharramipour et al. (2008)**, qui ont étudié l'effet de l'huile essentielle de *Thymus persicus* sur des insectes similaires. Dans leur

étude, la CL₅₀ pour *T. castaneum* était de 234,42 µl/l d'air, tandis que pour *C. maculatus*, elle était beaucoup plus faible à 2,39 µl/l d'air, indiquant une sensibilité accrue de ce dernier. Bien que les insectes diffèrent, ces observations confirment que la réponse varie selon les espèces cibles. De manière similaire, **Negahban et al. (2007)** rapportent une CL₅₀ de 35,65 µl/l pour *T. castaneum* exposé à l'huile essentielle d'*Artemisia sieberi*. **Liang et al. (2017)** ont étudié l'activité biologique de l'huile essentielle d'*Artemisia anethoides* contre *T. castaneum*, mettant en évidence une toxicité notable par contact et par fumigation. Les valeurs rapportées, avec une DL₅₀ de 28,80 µg/adulte et une CL₅₀ de 13,05 mg/L d'air, sont toutefois nettement inférieures à celles obtenues dans notre étude. Cette différence pourrait s'expliquer par des variations dans la composition chimique des huiles essentielles, chaque espèce d'*Artemisia* produisant des composés bioactifs spécifiques influencés par son environnement écologique et sa localisation géographique.

En outre, les différences méthodologiques, notamment les conditions expérimentales et les concentrations testées, pourraient également jouer un rôle. Tandis que **Liang et al. (2017)** ont évalué une approche combinée de contact et de fumigation, notre travail s'est concentré uniquement sur la toxicité par contact, ce qui pourrait offrir une exposition plus directe et efficace des insectes aux composés actifs.

Dans le même contexte, l'étude de **Bachrouch et al. (2015)** met en évidence les propriétés insecticides des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* et d'*Artemisia absinthium* contre *T. castaneum*. Leur étude a montré une toxicité notable par contact et par fumigation. L'huile essentielle d'*A. herba-alba* présente une toxicité modérée en fumigation contre *T. castaneum* avec une CL₅₀ de 278,66 µL/L d'air. En comparaison, nos résultats sur l'huile essentielle d'*A. arborescens* révèlent une CL₅₀ de 2,425 µL/mL par contact contre *T. castaneum*, suggérant une efficacité nettement supérieure.

En s'appuyant sur des travaux complémentaires, **Abbad et al. (2014)** et **Moumni et al. (2014)** ont rapporté une toxicité plus élevée des huiles essentielles marocaines d'*A. herba-alba* contre *T. castaneum*, avec des CL₅₀ respectives de 17,4 et 43,3 µL/L d'air. Ces valeurs restent néanmoins moins efficaces que notre résultat par contact avec l'huile d'*A. arborescens*. De plus, **Sharifian et al. (2012)** ont étudié l'huile d'*A. herba-alba* d'origine iranienne, obtenant une CL₅₀ de 564,4 µL/L d'air, ce qui confirme une variabilité géographique dans les propriétés insecticides des huiles essentielles.

En revanche, d'autres espèces d'*Artemisia* ont montré une efficacité contre divers ravageurs. Par exemple, *A. capillaris* et *A. mongolica* ont montré une activité insecticide contre *Sitophilus zeamais* (**Liu et al., 2010**), et *A. frigida* contre le même ravageur (**Liu et al., 2014**).

Par ailleurs, une étude de **Zhang et al. (2022)** sur l'activité insecticide des huiles essentielles de cinq espèces d'*Artemisia* (*A. dalai-lamae*, *A. tangutica*, *A. sieversiana*, *A. tanacetifolia* et *A. ordosica*) met en évidence leur potentiel en tant qu'alternatives naturelles aux pesticides chimiques. Parmi ces huiles, celle d'*A. tangutica* s'est distinguée par une toxicité par contact remarquable contre *T. castaneum* ($DL_{50} = 17,42 \mu\text{g/adulte}$). En comparaison, notre étude sur l'huile essentielle d'*A. arborescens* révèle une CL_{50} de $2,425 \mu\text{l/ml}$ contre le même insecte, traduisant une efficacité qui varie en fonction de l'espèce et des conditions expérimentales.

Ces résultats, comparés à nos données, montrent que la toxicité des huiles essentielles issues du genre *Artemisia* peut varier selon les espèces végétales et les insectes testés, mais qu'elles restent efficaces pour la gestion des ravageurs des denrées stockées. Enfin, des études telles que celles de **Sahaf et al. (2008)** soulignent que les huiles essentielles de *Carum copticum* et *Mentha piperita* présentent des CL_{50} de $16,35 \mu\text{l/l}$ et $27,08 \mu\text{l/l}$ respectivement contre *T. castaneum*, démontrant une toxicité modérée à forte.

Ces études confirment le potentiel insecticide généralisé des huiles essentielles d'*Artemisia*, bien que les résultats obtenus dans notre étude sur *A. arborescens* surpassent ceux rapportés pour d'autres espèces dans de nombreuses conditions.

La supériorité observée dans notre travail pourrait être liée au camphre, identifié comme composé majoritaire dans l'huile essentielle d'*A. arborescens*. Ce monoterpène, connu pour ses propriétés insecticides, pourrait expliquer la forte efficacité par contact. Par ailleurs, comme le suggèrent **Bachrouch et al. (2015)** et **Zhang et al. (2014)**, l'efficacité des huiles essentielles ne repose pas uniquement sur leurs composés majoritaires mais également sur des interactions synergiques entre les composants majeurs et mineurs. Cette synergie pourrait contribuer à amplifier l'activité insecticide observée dans notre étude.

Les valeurs X^2 (Chi square) indiquent la corrélation positive entre les concentrations des huiles essentielles appliquées et la réponse des populations testées. Cela signifie que la mortalité des insectes est augmentée en fonction des concentrations testées comparées à celle du témoin. **Langsi et al., (2020)** ont également indiqué que les effets des insecticides dépendaient de leurs concentrations exercées. Les coléoptères utilisés dans cette étude ont réagi différemment aux huiles essentielles des espèces végétales étudiées. Une analyse probit est utilisée pour estimer la CL_{50} des huiles essentielles de *A. arborescens* et *R. tournefortii*, dont les résultats ont montré que les adultes de *T. castaneum* sont plus résistants que les *R. dominica*. Dans le même contexte, chez **Pang et al., (2020)**, la valeur de DL_{50} de l'huile

essentielle de *M. piperita* enregistrée par le test de fumigation chez les adultes *T. castaneum* (18.1 mg/l d'air) était supérieure par celle notée chez les adultes de *Liposcelis bostrychophila* (0.6 mg/L). L'activité insecticide menée par **Sabrine et al., (2018)** sur trois insectes ravageurs des denrées stockées montre que les adultes de *T. castaneum* étaient les plus tolérants à l'huile essentielle de *C. sempervirens* avec un taux de mortalité de 3 % par rapport aux adultes de

R. dominica et de *S. oryzae* 11 %, 41 % respectivement. Cela peut être justifié par la forte résistance développée par ces coléoptères. Cette estimation est confirmée par les recherches de **Richards et al., (2008)** qui ont estimé que *Tribolium* s'adapte rapidement aux changements de son environnement grâce à des modifications génétiques spécifiques.

Ces observations confirment le potentiel des huiles essentielles d'espèces d'*Artemisia* comme outils prometteurs pour la gestion des ravageurs. Elles mettent également en avant l'importance d'évaluer les paramètres spécifiques à chaque huile essentielle. Par ailleurs, l'efficacité accrue de l'huile essentielle d'*A. arborescens* obtenue dans notre étude appuie son développement en tant qu'agent insecticide naturel, répondant à la demande croissante de solutions durables et respectueuses de l'environnement pour la protection des denrées stockées.



Conclusion

Conclusion

Cette thèse s'inscrit dans le cadre des efforts mondiaux visant à réduire les pertes post-récolte et à promouvoir des alternatives écologiques aux pesticides chimiques, en particulier pour la conservation des denrées alimentaires stockées. Face aux défis posés par l'utilisation d'insecticides synthétiques, ce travail original explore les propriétés insecticides de quatre plantes médicinales et aromatiques autochtones de la région d'El Hachimia, Wilaya de Bouira : *Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Ziziphus lotus* et *Dittrichia viscosa*. Ces plantes, sélectionnées pour leur disponibilité locale, leur richesse en composés bioactifs et leurs propriétés insecticides rapportées, sont utilisées pour lutter contre deux ravageurs majeurs des stocks, *Rhizopertha dominica* et *Tribolium castaneum*.

Dans un contexte où la production céréalière joue un rôle crucial dans la sécurité alimentaire, et où l'agriculture durable devient une priorité, cette étude met en lumière la biodiversité et le potentiel phytogénétique exceptionnel de la Wilaya de Bouira. En caractérisant et en évaluant les propriétés insecticides de ces espèces végétales, ce travail contribue à la recherche de solutions naturelles et efficaces pour la gestion durable des nuisibles, tout en renforçant l'idée que cette démarche constitue une approche novatrice et essentielle dans le domaine de la protection des denrées alimentaires.

La première étape de ce travail consiste en un screening phytochimique des quatre espèces étudiées : *A. arborescens*, *R. tournefortii*, *Z. lotus* et *D. viscosa*. Cette analyse préliminaire met en lumière la diversité des composés bioactifs présents, révélant notamment des flavonoïdes, des alcaloïdes et des tanins. Ces résultats permettent de dresser un panorama de la richesse chimique de ces plantes, mettant en évidence une variété significative de métabolites secondaires, tels que les polyphénols et les flavonoïdes, reconnus pour leur efficacité contre divers insectes. Cette richesse métabolique confirme le potentiel insecticide de ces espèces pour des applications biologiques et durables.

Après le screening phytochimique, les extraits éthanoliques des quatre espèces étudiées sont préparés par macération, suivie d'une extraction assistée par Ultrasons. Cette méthode permet de concentrer efficacement les composés bioactifs, en vue des analyses ultérieures et des tests d'activité insecticide.

Ensuite, nous avons procédé au dosage des polyphénols et des flavonoïdes pour évaluer la richesse des extraits en métabolites secondaires. Les polyphénols atteignent des concentrations de $612,16 \pm 18,60$ $\mu\text{g EAG/mg}$ pour *A. arborescens* et de $563,9 \pm 25,26$ $\mu\text{g EAG/mg}$ pour *Z. lotus*. En ce qui concerne les flavonoïdes, les teneurs mesurées sont de 89,24

$\pm 10,34 \mu\text{g EQ/mg}$ pour *R. tournefortii* et $86,01 \pm 11,49 \mu\text{g EQ/mg}$ pour *Z. lotus*. Ces résultats confirment la richesse chimique de ces plantes et leur potentiel pour des applications insecticides.

Ces analyses quantitatives permettent de mettre en évidence la relation entre la richesse en métabolites secondaires et le potentiel insecticide des extraits. Les polyphénols et les flavonoïdes, reconnus pour leurs propriétés bioactives, constituent des indicateurs clés de l'efficacité des formulations naturelles contre les insectes nuisibles. Ces données préliminaires orientent les étapes suivantes du travail, notamment l'évaluation des propriétés insecticides des extraits et leur impact sur les ravageurs ciblés.

Dans la continuité des analyses précédentes, l'étape suivante vise à extraire les huiles essentielles par hydrodistillation, permettant d'isoler les composés volatils responsables de l'activité biologique des plantes. L'analyse par GC/MS des huiles essentielles de *A. arborescens* révèle une prédominance marquée du camphre (46,35 %), tandis que le terpinène-4-ol reste présent à un faible niveau (6,53 %). Quant aux huiles essentielles de *R. tournefortii*, elles se distinguent par des concentrations élevées de camphre (29,20 %) et de camphène (19,42 %), témoignant de profils chimiques diversifiés et prometteurs.

L'activité insecticide des extraits bruts de *Z. lotus* et de *D. viscosa* est évaluée par contact direct sur les insectes adultes de *T. castaneum* et *R. dominica*. Les résultats montrent que l'extraction assistée par Ultrasons est nettement plus efficace que la macération, avec des taux de mortalité plus rapides et élevés. *Z. lotus* se distingue par une meilleure efficacité insecticide par rapport à *D. viscosa*. Contre *T. castaneum*, les extraits de *Z. lotus* obtenus par Ultrasons atteignent une mortalité de $100 \pm 00,00 \%$ dès le quatrième jour à la dose maximale (dose 4), tandis que ceux obtenus par macération nécessitent un temps d'exposition plus long pour atteindre $100 \pm 00,00 \%$ à la même dose. En revanche, pour *D. viscosa*, l'efficacité reste inférieure, avec une mortalité de $96,66 \pm 5,77 \%$ au cinquième jour pour l'extrait par Ultrasons à la dose maximale (dose 4). Concernant *R. dominica*, bien que les extraits de *Z. lotus* par Ultrasons soient également les plus performants, la résistance plus élevée de cet insecte est manifestée, avec une mortalité de $86,66 \pm 5,77 \%$ au cinquième jour à la dose maximale (dose 4). Ces résultats confirment l'intérêt de l'extraction assistée par Ultrasons et le potentiel insecticide prometteur de *Z. lotus*, notamment contre *T. castaneum*.

Enfin, la dernière étape de ce travail consiste à évaluer l'effet insecticide par contact des huiles essentielles d'*A. arborescens* et *R. tournefortii* sur deux insectes ravageurs des produits stockés, *T. castaneum* et *R. dominica*. Les résultats montrent que, bien que *R. dominica* soit généralement considéré comme plus résistant selon les tableaux de mortalité, il enregistre la

plus faible CL_{50} , particulièrement avec l'huile essentielle d'*A. arborescens* (1,210 $\mu\text{l/ml}$), indiquant une sensibilité accrue à cette huile à des concentrations plus faibles. A l'inverse, *T. castaneum* nécessite des doses plus élevées pour atteindre 50 % de mortalité (CL_{50} de 2,425 $\mu\text{l/ml}$ avec *A. arborescens* et 2,878 $\mu\text{l/ml}$ avec *R. tournefortii*), confirmant une résistance relative à ces traitements. Par ailleurs, l'huile essentielle de *A. arborescens* s'impose comme la plus performante, affichant les valeurs de CL_{50} les plus basses pour les deux insectes, ce qui traduit une efficacité supérieure. Ces observations confirment le potentiel des huiles essentielles, en particulier celle de *A. arborescens*, en tant qu'alternatives biologiques prometteuses pour une gestion durable et efficace des ravageurs des produits stockés.

En conclusion, cette thèse apporte une contribution importante à la compréhension des propriétés insecticides des plantes médicinales et aromatiques, et ouvre la voie à des recherches futures sur leur utilisation dans des applications écologiques. Les résultats obtenus soulignent la richesse chimique de ces espèces et leur potentiel en tant que solutions durables pour la protection des cultures et des denrées alimentaires.

Ce travail ouvre des perspectives prometteuses dans le domaine de la bioprospection et de l'agriculture durable. Il est crucial d'approfondir l'étude des extraits et huiles essentielles des plantes étudiées, notamment en explorant leurs mécanismes d'action spécifiques sur les insectes cibles. La formulation de nouveaux produits phytosanitaires d'origine naturelle, combinant l'efficacité insecticide des extraits d'*Artemisia*, de romarin, de jujubier et d'inule avec des approches écologiques, pourrait révolutionner la lutte contre les nuisibles en offrant des alternatives viables aux insecticides chimiques. L'intégration de ces solutions dans des systèmes de culture durable améliorerait la santé des écosystèmes tout en préservant la biodiversité.

Il est également nécessaire d'entreprendre des recherches complémentaires pour concevoir un modèle mathématique permettant d'optimiser les paramètres du processus d'extraction verte. Cela permettrait d'augmenter le rendement des extraits végétaux présentant des activités biologiques prometteuses. En outre, l'utilisation de modèles numériques pour identifier les conditions optimales de récolte des plantes pourrait conduire à des rendements plus élevés en extraits utiles. En résumé, ce travail ouvre des perspectives innovantes et prometteuses, positionnant ces plantes comme des alliées essentielles pour une agriculture durable et une gestion responsable des ressources.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abbad, A., Kasrati, A., Jamali, C. A., Zeroual, S., Ba M'hamed, T., Spooner-Hart, R., & Leach, D. (2014).** Insecticidal properties and chemical composition of essential oils of some aromatic herbs from Morocco. *Natural product research*, 28(24), 2338-2341.
- **Abbott, W.S. (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol*, 18, 265-267.
- **Abderrahim A., Belhamel K., Chalchat J.C., Figuérédo G. (2010).** Chemical composition of the essential oil from *Artemisia arborescens* L. growing wild in Algeria. *Records of Natural Products*, 4(1) :87- 90.
- **Aboua, L., Seri-Kouassi, B. P., & Koua, H. (2010).** Insecticidal activity of essential oils from three aromatic plants on *Callosobruchus maculatus* F. in Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 39(2), 243-250.
- **Abouelatta, A. M., Keratum, A. Y., Ahmed, S. I., & El-Zun, H. M. (2020).** Repellent, contact and fumigant activities of geranium (*Pelargonium graveolens* L.'Hér) essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *International Journal of Tropical Insect Science*, 40, 1021-1030.
- **Achat, S. (2013).** Polyphénols de l'alimentation : Extraction, pouvoir antioxydant et interaction avec des ions métallique. Thèse de doctorat. Ecole Doctorale, d'Avignon. 211 p.
- **Acheuk F., Lakhdari W., Khemais A., Belaid M., Allouane R., Halouane F., (2017).** Phytochemical study and bioinsecticidal effect of the crude ethonolic extract of the algerian plant *Artemisia judaica* L. (Asteraceae) against the black bean aphid, *Aphis fabae* Scop. *Agriculture Forestry*, 63(1) : 95-104.
- **Adams, R. P. (2007).** Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, ed. 4.1.
- **AFNOR, (1980).** Association Française de Normalisation, Tour Europe, Cedex 7- 92080, Paris.
- **Ahameethunisa, A.R., Hopper W. (2010).** Antibacterial activity of *Artemisia nilagirica* leaf extracts against clinical and phytopathogenic bacteria, *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10 :6.

- **Ajayi, O. E., Appel, A. G., & Fadamiro, H. Y. (2014).** Fumigation toxicity of essential oil monoterpenes to *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae). *Journal of Insects*, 2014(1), 917212.

- **Akou-Edi, D. (1983).** Effects of neem seed powder and oil on *Tribolium confusum* and *Sitophilus zeamais*. In : Proceedings of the 2nd Neem conference, Rauischolzhausen, 445-452.

- **Akter, R., Chowdhury, M.A., Rahman, M.H. (2021).** Flavonoids and polyphenolic compounds as potential talented agents for the treatment of Alzheimer's disease and their antioxidant activities. *Current pharmaceutical design*, 27(3), 345-356.

- **Alara, O.R., Abdurahman, N.H., Ukaegbu, C.I., Azhari, N.H. (2018).** *Vernonia cinerea* leaves as the source of phenolic compounds, antioxidants, and anti-diabetic activity using microwave-assisted extraction technique. *Ind Crop Prod*, 122, 533-544.

- **Allam, H., (2022).** Étude phytochimique et activités biologiques de deux plantes médicinales sahariennes *Artemisia judaica* L subsp. sahariensis et *Thymelaea microphylla* Coss. & Dur. Thèse Doctorat LMD. Université Tlemcen. 141 p.

- **Al-Maqtari, Q. A., Al-Ansi, W., Mahdi, A. A., Al-Gheethi, A. A. S., Mushtaq, B. S., Al-Adeeb, A., ... & Yao, W. (2021).** Supercritical fluid extraction of four aromatic herbs and assessment of the volatile compositions, bioactive compounds, antibacterial, and anti-biofilm activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 25479-25492.

- **Al-Maqtari, Q. A., Othman, N., Mohammed, J. K., Mahdi, A. A., Al-Ansi, W., Noman, A. E., ... & Asharuddin, S. M. (2024).** Comparative analysis of the nutritional, physicochemical, and bioactive characteristics of *Artemisia abyssinica* and *Artemisia arborescens* for the evaluation of their potential as ingredients in functional foods. *Food Science & Nutrition*.

- **Al-Masri, M.I., Sharawi S.M., Barakat R.M. (2015).** Effect of Clammy inula (*Inula viscosa*) plant extract in combination with a low dose of the fungicide iprodione on *Botrytis cinerea* in vitro and in vivo. *American Journal of Plant Sciences* ; 6 : 1519-1526.

- **Al-Massarani, S. M., El-Gamal, A. A., Al-Rehaily, A. J., Al-Sheddi, E. S., Al-Oqail, M. M., Farshori, N. N., ... & Becnel, J. J. (2021).** Insecticidal activity and free radical scavenging properties of isolated phytoconstituents from the Saudi plant *Nuxia oppositifolia* (hochst.). *Molecules*, 26(4), 914.

- **Álvarez-Martínez, F. J., Barrajon-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021).** Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils : An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, 90, 153626.
- **Amara, M. et Benabdeli, K. (2020).** Potentialités écologiques de *Zizyphus lotus* et possibilités de développement durable des espaces arides : cas de la région de Naâma (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 44(2), 269-277.
- **Ammar, M. (2014).** Organisation de la chaîne logistique dans la filière céréales en Algérie. Etat des lieux et perspectives. Thèse du diplôme de hautes études du CIHEAM, Montpellier, 121 p.
- **Amoabeng, B. W., Gurr, G. M., Gitau, C. W., Nicol, H. I., Munyakazi, L. et Stevenson, P. C. (2013).** Tri-trophic insecticidal effects of African plants against cabbage pests. *PloS one*, 8(10), e78651.
- **Amraoui, N., Laroui, H., Charef, N. E., Baghiani, A., & Arrar, L. (2022).** Antioxidant, anti-hemolytic and anti-inflammatory activities of aqueous extract of aerial parts of *Rosmarinus tournefortii*. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 26(01), 2912-2923.
- **Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S. et Cabras, P. (2006).** Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(12), 4364-4370.
- **Araniti, F., Gullì, T., Marrelli, M., Statti, G., Gelsomino, A., & Abenavoli, M. R. (2016).** *Artemisia arborescens* L. leaf litter : phytotoxic activity and phytochemical characterization. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-12.
- **Arnold, N., Valentini, G., Bellomaria, B. et Hocine, L. (1997).** Comparative study of the essential oils from *Rosmarinus eriocalyx* Jordan & Fourr. from Algeria and *Rosmarinus officinalis* L. from other countries. *Journal of essential oil Research*, 9(2), 167-175.
- **Assadpour, E., Can Karaça, A., Fasamanesh, M., Mahdavi, S. A., Shariat-Alavi, M., Feng, J., et Jafari, S. M. (2023).** Application of essential oils as natural biopesticides; recent advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21.
- **Atazhanova, G. A., Dembitskii, A. D., Yakovleva, T. D., Mikhailov, V. G., & Adekenov, S. M. (1999).** About composition of essential oil from *Artemisia filatovae*. *Chemistry of Natural Compounds*, 35, 529-531.
- **Audfray, J.L., Audoin, A., Calvar, C., Coisman-Molica, M., Conan, S., Delarue, S., Dupont, A., Joly, A., Lacocquerie, M., Lannuzel, P., Nézet, B., Pailler, I., Perche, S. et**

- Roger, F., (2011).** Céréales et oléoprotéagineux. Le stockage des grains à la ferme en agriculture biologique. Chambre d'Agriculture de Bretagne. www.capbio-bretagne.com
- **Awadalla, S. S., Zayed, G. M., & Hashem, A. S. (2017).** Chemical composition and bioactivity of three plant essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Plant Protection and Pathology*, 8(10), 535-539.
 - **Azhar, M. K., Anwar, S., Hasan, G. M., Shamsi, A., Islam, A., Parvez, S., & Hassan, M. I. (2023).** Comprehensive insights into biological roles of rosmarinic acid : implications in diabetes, cancer and neurodegenerative diseases. *Nutrients*, 15(19), 4297.
 - **Baba Aissa, F. (1999).** Encyclopédie des plantes utilisées. Flore d'Algérie et du Maghreb – Substance végétale, *Edition Librairie Moderne*, Rouiba, 145 p.
 - **Bachrouch, O., Ferjani, N., Haouel, S., & Jemâa, J. M. B. (2015).** Major compounds and insecticidal activities of two Tunisian *Artemisia* essential oils toward two major coleopteran pests. *Industrial Crops and Products*, 65, 127-133.
 - **Badiaga, M. (2012).** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith une plante médicinale africaine récoltée au Mali. Thèse de doctorat. Université de Mali. Bamako, 137 p.
 - **Bakhtaoui, F.-Z. ; Lakmichi, H. ; Megraud, F. ; Chait, A. ; Gadhi, C.E. A. (2014).** Gastroprotective, anti-*Helicobacter pylori* and, antioxidant properties of Moroccan *Zizyphus lotus* L. *Journal of applied pharmaceutical science*, 4 (10), 81-87.
 - **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, 46(2), 446-475.
 - **Baliyarsingh, B., Mishra, A., Rath, S. (2020).** Evaluation of insecticidal and repellency activity of leaf extracts of *Andrographis paniculata* against *Tribolium castaneum* (red flour beetle). *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, 765-773.
 - **Balog, A., Hartel, T., Loxdale, H. D., & Wilson, K. (2017).** Differences in the progress of the biopesticide revolution between the EU and other major crop-growing regions. *Pest Management Science*, 73(11), 2203-2208.
 - **Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D. et Giri, S.K. (2018).** Techniques for Insect Detection in Stored Food Grains : An Overview, *Food Control*, 94, 167-176.
 - **Barbosa, J., Borges, S., Amorim, M., Pereira, M. J., Oliveira, A., Pintado, M. E., & Teixeira, P. (2015).** Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. *Journal of Functional Foods*, 17, 340-351.
 - **Bärtels, A. (1997).** Guide des Plantes du Bassin méditerranéen. Ed. Ulmer.

- **Basaid, K., Chebli, B., Mayad, E.H et al., (2021)**. Biological activities of essential oils and lipopeptides applied to control plant pests and diseases : A review. *International Journal of Pest Management*, 67(2), 155-177.
- **Basile, S., Badalamenti, N., Riccobono, O., Guarino, S., Ilardi, V., Bruno, M., & Peri, E. (2022)**. Chemical composition and evaluation of insecticidal activity of *Calendula incana* subsp. *maritima* and *Laserpitium siler* subsp. *siculum* essential oils against stored products pests. *Molecules*, 27(3), 588.
- **Battandier, J.A. (1888)**. Flore de l'Algérie. Dicotylédones. Paris, Libraire F. SAVX, 825 p.
- **Bekon, K. et Fleurat-Lessard, F., (1989)**. Evolution des pertes en matière sèche des grains dus à un ravageur secondaire : *Tribolium castaneum* (Herbst), coléoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales. Céréales en région chaudes. AUPELF-UREF, Eds John Libbey Eurotext, Paris, 97-104.
- **Belgharbi, A., & Meddah, B. (2018)**. Phytochemical and antimicrobial screening of fruits and leaves of *Zizyphus lotus* L. collected in North West of Algeria. *Maghrebian Journal of Pure and Applied Science*, 4(1), 4-1.
- **Bell A., Mück O. et Schneider H. (1998)**. La protection intégrée des denrées stockées est une affaire rentable ! GTZ, Eschborn, Germany, 42 p.
- **Belmain S.R., Neal G.E., Ray D.E. et Golob P. (2001)**. Insecticidal and vertebrate toxicity associated with ethnobotanicals used as post-harvest protectants in Ghana. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 287-291.
- **Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O., Messaoud, C., (2016)**. Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6, 760-766.
- **Benammar, C. (2011)**. Effets antioxydants et immunomodulateurs d'une plante médicinale nord-africaine, *Zizyphus lotus* l. (sedra) : étude des différents extraits. Thèse de doctorat, Université abou bekr belkaid – Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature de la Vie et des sciences de la terre et de l'Univers,96 p.
- **Benammar, C., Hichami, A., Yessoufou, A., Simonin, A.M., Belarbi, M., Allali, H. et Khan, N.A. (2010)**. *Zizyphus lotus* L. (Desf.) modulates antioxidant activity and human T-cell proliferation. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 24, 10–54.
- **Benbelaïd, F., Khadir, A., Bendahou, M., Zenati, F., Bellahsene, C., Muselli, A. et Costa, J. (2016)**. Antimicrobial activity of *Rosmarinus eriocalyx* essential oil and polyphenols : an endemic medicinal plant from Algeria. *Journal of Coastal Life Medicine*, 4(1), 39-44.

- **Bencheikh, N., Bouhrim, M., Merrouni, I. A., Boutahiri, S., Kharchoufa, L., Addi, M., ... & Elachouri, M. (2021).** Antihyperlipidemic and antioxidant activities of flavonoid-rich extract of *Zizyphus lotus* (L.) Lam. Fruits. *Applied Sciences*, 11(17), 7788.
- **Bendeddouche M.S., Benhassainia H., Zouaoui H. et Romane A. (2011).** Essential oil analysis and antibacterial activity of *Rosmarinus tournefortii* from Algeria. *Natural Product Communications*, 6 (10) : 1511-1514.
- **Bendif, H., Boudjeniba, M., Miara, M. D., Biqiku, L., Bramucci, M., Caprioli, G., ... & Maggi, F. (2017).** *Rosmarinus eriocalyx* : An alternative to *Rosmarinus officinalis* as a source of antioxidant compounds. *Food chemistry*, 218, 78-88.
- **Benmansour N., Benmansour A., El Hanbali F., González-Mas M.C., Blázquez M.A., El Hakmaoui A., Akssira M., (2016).** Antimicrobial activity of essential oil of *Artemisia judaica* L. from Algeria against multi-drug resistant bacteria from clinical origin. *Flavour and Fragrance*, 31, 137-142.
- **Bensebia O., Barth D., Bensebia B., Dahmani A. (2009).** Supercritical CO2 extraction of rosemary : Effect of extraction parameters and modelling. *The Journal of supercritical fluids*, vol. 49, p.p.161–166.
- **Benslama, A., Harrar, A., Gul, F., & Demirtas, I. (2017).** Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of *Zizyphus lotus* L. leaves extracts. *The natural products journal*, 7(4), 316-322.
- **Bensouici, C., Boudiar, T., Kashi, I., Bouhedjar, K., Boumechhour, A., Khatabi, L., & Larguet, H. (2020).** Chemical characterization, antioxidant, anticholinesterase and alpha-glucosidase potentials of essential oil of *Rosmarinus tournefortii* de noé. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(2), 632-639.
- **Benzahi, K. (2001).** Contribution à l'étude des flavonoïdes dans la plante *Cynodn dactylon* L. Mémoire de magistère. Université de Ouargla. 102 p.
- **Berkani, F., Dahmoune, F., Achat, S., Dairi, S., Kadri, N., Zeghichi-Hamri, S., ... & Madani, K. (2021).** Response surface methodology optimization of microwave-assisted polysaccharide extraction from Algerian jujube (*Zizyphus lotus* L.) pulp and peel. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 16, 630-642.
- **Bianca I., Ana Flavia B., Florina C., Crăița R. et Andreia C. (2021).** Secondary metabolites from *Artemisia* genus as biopesticides and innovative nano-based application strategies. *Molecules*, 26(10) : 30-61.
- **Blot, N., Bernard, J.G. (2012).** Atlas illustre des Médicinales et curatives 1er Ed. De Barrée, Larue des grands R Angustinus, Paris, France. 232 p.

- **Boileau, E. (2015)**. Ecotoxicologie et impact sanitaire des pesticides en réponses à l'augmentation des ravageurs amenés par les changements climatiques : Portrait, Perspectives et Recommandations. Diplôme Maitrise en environnement. Université de Sherbrooke. 81p.
- **Bonnet, J. (2001)**. Larousse des arbres - Dictionnaire des arbres et des arbustes. 512 p.
- **Bora, K. S., & Sharma, A. (2011)**. The genus *Artemisia* : a comprehensive review. *Pharmaceutical biologie*, 49(1), 101-109.
- **Botineau, M. (2010)**. Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Lavoisier. Paris.

- **Bouchikhi, T.Z., Kechairi, R., and Chemouri, S. (2022)**. Insecticidal activity on *Callosobruchus maculatus* of essential oils extracted from naturally grown and cultivated rosemary. *Lebanese Science Journal*, 23(2), 134-145.

- **Boukhatem, M.N., Ferhat, A., Kameli, A. (2019)**. Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Une*, 3(4), 1653-1659.
- **Boukroufa, M. (2016)**. Extraction de substances à haute valeur ajoutée à partir de rejets de l'industrie agro-alimentaire. Thèse de Doctorat, Sciences et Techniques de l'Environnement, ENP, 155 p.
- **Boussaada, O., Kamel, M. B. H., Ammar, S., Haouas, D., Mighri, Z., & Helal, A. N. (2008)**. Insecticidal activity of some Asteraceae plant extracts against *Tribolium confusum*. *Bulletin of Insectology*, 61(2), 283-289.
- **Bouzenna, H., & Krichen, L. (2013)**. *Pelargonium graveolens* L'Her. and *Artemisia arborescens* L. essential oils: chemical composition, antifungal activity against *Rhizoctonia solani* and insecticidal activity against *Rhysopertha dominica*. *Natural Product Research*, 27(9), 841-846.
- **Bouزيد N., Brahim B., Brahim G., Lylia H. A., Boussaad Z. et Hocine S. (2015)**. Short communication determination of some chemical elements in *Rosmarinus tournefortii* using instrumental neutron activation analysis. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(1) : 34-37.
- **Brullo S. et De Marco G. (2000)**. Taxonomical revision of the genus *Dittrichia* (Aseaceae). *Portugaliae Acta Biologica*.19 : 341-354.
- **Bruneton J. (1999)**. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème Ed. Paris : Tec & Doc Lavoisier, P. 207-211.
- **Bruneton, J. (2007)**. Plantes toxiques : Végétaux dangereux pour l'Homme et les animaux.

- 3e édition. Lavoisier, Paris.
- **Bryant J.P., Chapin F.S. et Klein D.R. (1983).** "Carbon Nutrient Balance of Boreal Plants in Relation to Vertebrate Herbivory." *Oikos*, 40(3) : 357-368.
 - **Cadi, H. E., Bouzidi, H. E., Selama, G., Cadi, A. E., Ramdan, B., Oulad El Majdoub, Y., ... & Cacciola, F. (2020).** Physico-chemical and phytochemical characterization of Moroccan wild jujube "*Zizyphus lotus* (L.)" fruit crude extract and fractions. *Molecules*, 25(22), 5237.
 - **Cai, L., Macfadyen, S., Hua, B., Zhang, H., Xu, W., & Ren, Y. (2022).** Identification of biomarker volatile organic compounds released by three stored-grain insect pests in wheat. *Molecules*, 27(6), 1963.
 - **Caron, J., Laverdière, L., Venne, J., Bélanger, R. (2006).** Recherche et développement de biopesticides et pesticides naturels à faible toxicité pour les organismes non ciblés et respectueux de l'environnement-Rapport final-Volet Phytopathologie. *Projet PARDE*. 278 p.
 - **Carré, P. (1953).** Précis de technologie et de chimie industrielle. Tome 3. Ed. Ballière J.B. et Fils. Paris. France.
 - **Carvalho, R.S., Carollo, C.A., De Magalhães, J.C., et al., (2018).** Antibacterial and antifungal activities of phenolic compound-enriched ethyl acetate fraction from *Cochlospermum regium* (mart. Et. Schr.) Pilger roots : mechanisms of action and synergism with tannin and gallic acid. *South African Journal of Botany*, 114, 181-187.
 - **Catello P., Gelsomina M., Antonella V., Rita C., Anna L.P. et Enrica F., (2023).** Phytochemical Extracts of *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter from Agroecological Systems : Seed Antigerminative Properties and effectiveness in counteracting alternaria leaf spot disease on baby leaf spinach. *Biology (Basel)*, 2023, 12(6) : 790.
 - **Chang, S. T., Chen, P. F., & Chang, S. C. (2001).** Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*. *Journal of Ethnopharmacology*, 103(1), 121-127.
 - **Chararas, C., Balachowsky, A.S., (1962).** Famille des Bostrychidae. In *Entomologie appliquée à l'Agriculture*. Traité publié sous la direction de A. S. Balachowsky Masson et Cie Editeurs. Tome I, Coléoptères, 1er Vol., 304- 315.
 - **Chassagne, F., Samarakoon, T., Porrás, G., Lyles, J.T., Dettweiler, M., Marquez, L., Salam, A.M., Shabih, S., Farrokhi, D.R., Quave, C.L. (2020).** A Systematic Review of Plants With Antibacterial Activities : A Taxonomic and Phylogenetic Perspective. *Frontiers in pharmacology*, 11, 586548.

- **Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., Abert-Vian, M. (2017).** Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 540-560.
- **Chentouf, N. C., Meddah, A. T. T., Temmouri, H. B., & Meddah, B. (2018).** Phytochemical screening and antibacterial *Zizyphus lotus* methanolic extract against oral pathogenic bacteria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(2), 252-266.
- **Chittenden, F.H. (1911).** The Lesser Grain-borer. The Larger Grain-borer. US Government Printing Office. 99 p.
- **Cissokho, P.S., Gueye, M.T., Sow, E.H., Diarra, K. (2015).** Substances inertes et plantes à effet insecticide utilisées dans la lutte contre les insectes ravageurs des céréales et légumineuses au Sénégal et en Afrique de l'Ouest. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1644-1653.
- **Clevenger, J. (1928).** Apparatus for the determination of volatile oil. *The Journal of the American Pharmaceutical Association*, (1912) 17, 345-349.
- **Coley P.D., Bryant J.P. et Chapin F.S. (1985).** "Resource Availability and Plant Antiherbivore Defense." *Science*, 230(4728) : 895-899.
- **Collins, P.J. (1990).** A new resistance to pyrethroids in *Tribolium castaneum* (Herbst). *Pesticide Science*, 28 (1), 101-115.
- **Conti, B., Canale, A., Cioni, P.L., Flamini, G., Rifici, A. (2011).** *Hyptis suaveolens* and *Hyptis spicigera* (Lamiaceae) essential oils : qualitative analysis, contact toxicity and repellent activity against *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera : Dryophthoridae). *Journal of Pest Science*, 84, 219-228.
- **Costa, R., Ragusa, S., Russo, M., Certo, G., Franchina, F. A., Zanotto, A. et Germanò, M. P. (2016).** Phytochemical screening of *Artemisia arborescens* L. by means of advanced chromatographic techniques for identification of health-promoting compounds. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 117, 499-509.
- **Couic-Marinier, F. et Lobstein, A. (2013).** Composition chimique des huiles essentielles. *Actualités pharmaceutiques*, 52(525), 22-25.
- **Cox, CB., Moore, PD., Ladle, R. (2016).** *An Ecological and Evolutionary Approach*, John Wiley & Sons. *Biogeography*, 42-43.
- **Crozier, A., Yokota, T., Jaganath, I. B., Marks, S., Saltmarsh, M., Clifford, M.N. (2006).** Secondary metabolites in fruits, vegetables, beverages and other plant based dietary

- components. *Plant secondary metabolites : Occurrence, structure and role in the human diet*, 208-302.
- **Cruz, J.F. et Diop, A. (1989)**. Génie agricole et développement : technique d'entreposage. Bulletin des services agricoles de la FAO, 74, 3-20.
 - **Cuendet, M. (1999)**. Recherche de nouveaux composés capteurs de radicaux libres et antioxydants à partir d'une plante d'Indonésie : « *Fagraea blumei* » (Loganiaceae) et de trois plantes d'altitude : « *Bartsia alpina* » (Scrophulariaceae), « *Loiseleuria procumbens* » (Ericaceae) et Camp, Thèse de doctorat. 24 p.
 - **Daghdak H., Zaitar R. (2014)**. Evaluation de l'activité anti-oxydante et anti inflammatoire de la plante medicinale algerienne *Inula viscosa* : Université Constantine1 : 91p.
 - **Daraban, G., Badeanu, M., Suteu, D. (2021)**. Reoellent and insecticide activities of plants from spontaneous flora USING conventional and innovative assisted extraction techniques. *Research jourmmal of Agricultural science*, 53(3).
 - **De Cássia Seffrin, R., Shikano, I., Akhtar, Y., Isman, M.B. (2010)**. Effects of crude seed extracts of *Annona atemoya* and *Annona squamosa* L. against the cabbage looper, *Trichoplusia ni* in the laboratory and greenhouse. *Crop Protection*, 29(1), 20-24.
 - **Delille, L. (2007)**. Les plantes médicinales d'Algérie. Édition BERTI. Alger, 122 p.
 - **Delobel, A. et Tran, M. (1993)**. Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. ORSTOMICTA, Paris : 425 p.
 - **De-Luca, M., (1980)**. Principaux insectes nuisibles aux denrées stockées. Document technique, Ecole National Supérieur Agronomique (ENSA) de Montpellier, 81p.
 - **Demirci, B., Demirci, F., & Başer, K. H. C. (2005)**. Headspace-SPME and hydrodistillation of two fragrant *Artemisia* sp. *Flavour and fragrance journal*, 20 (4), 395-398.
 - **de Oliveira, J. L. (2021)**. Nano-biopesticides : Present concepts and future perspectives in integrated pest management. *Advances in nano-fertilizers and nano-pesticides in agriculture*, 1-27.
 - **Deravel, J., Krier, F., Jacques, P. (2013)**. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*. 18 (2), 220-232.
 - **Devrnja, N., Milutinović, M., & Savić, J. (2022)**. When scent becomes a weapon plant essential oils as potent bioinsecticides. *Sustainability*, 14 (11), 6847.

- **Dias, A.L.B., de Aguiar, A.C., Rostagno, M.A. (2021).** Extraction of natural products using supercritical fluids and pressurized liquids assisted by ultrasound : Current status and trends. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105584.
- **Diaz-Montano, J., Campbell, J. F., Phillips, T. W. et Throne, J. E. (2014).** Evaluation of potential attractants for *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera : Liposcelididae). *Journal of Economic Entomology*, 107(2), 867-874.
- **Dimitra Z.L., Charalampia A., Sotirios K., Vasiliki K., Aikaterini S., Dimitra T., Panagiotis Z., Dimitris P. M., Nick K. et Andriana C. K. (2023).** *Artemisia arborescens* and *Artemisia inculta* from Crete ; Secondary metabolites, trace metals and in vitro antioxidant activities. *Life (Basel)*, 13(6) : 1416.
- **Dubreil, F.-R., (2014).** Les bonnes pratiques du stockage des céréales. Vital Concept Agriculture, Vital Conseils.
- **Dupont, F., Guignard JL. (2005).** Botanique : Systématique moléculaire. 13th ed, Masson.
- **Ebadollahi, A., Khosravi, R., Sendi, J. J., Honarmand, P., & Amini, R. M. (2013).** Toxicity and physiological effects of essential oil from *Agastache foeniculum* (Pursh) Kuntze against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera : Tenebrionidae) larvae. *Annual Research & Review in Biology*, 3(4), 649-658.
- **Eddardaki, F. E., Benoutman, A., Ettakifi, H., Legssyer, M., Saidi, R., Lamrani, Z., ... & Maouni, A. (2024).** Phytochemical composition, antioxidant and antifungal activity of essential oils and crude extracts of *Dittrichia viscosa* maritime (L.), an aromatic and medicinal plant from Northern Morocco. *Multidisciplinary Science Journal*, 6(9), 2024182.
- **Edde, P.A., (2012).** A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.). *Journal of stored products research* 48, 1-18.
- **Edeoga, H.O., Okwu, D.E., Mbaebie, B.O. (2005).** Phytochemical constituents of some Nigerian medicinal plants. *African journal of biotechnology*, 4(7), 685-688.
- **Ehrlich P.R. et Raven P.H. (1964).** Butterflies and plants : a study in coevolution. *Evolution*, 18 : 586-608.
- **Ehrnhöfer-Ressler, M. M., Fricke, K., Pignitter, M., Walker, J. M., Walker, J., Rychlik, M., & Somoza, V. (2013).** Identification of 1, 8-cineole, borneol, camphor, and thujone as anti-inflammatory compounds in a *Salvia officinalis* L. infusion using human gingival fibroblasts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(14), 3451-3459.
- **El Abdali, Y., Agour, A., Allali, A., Bourhia, M., El Moussaoui, A., Eloutassi, N., ... & Bouia, A. (2022).** *Lavandula dentata* L. : phytochemical analysis, antioxidant, antifungal and insecticidal activities of its essential oil. *Plants*, 11(3), 311.

- **El Beyrouthy M., Arnauld-Apostolides N., Labaki M., Cazier F., Najm S., AbouKaïs A. (2011).** Chemical composition of the essential oil of the *Artemisia arborescens* L. growing wild in Lebanon, *Lebanese Science Journal*, 12(1) : 71-78.
- **El Khetabi, A., Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Lyoufï, N., Banani, H., ... & Barka, E. A. (2022).** Role of plant extracts and essential oils in fighting against postharvest fruit pathogens and extending fruit shelf life : A review. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 402-417.
- **El Maaiden, E., El Kharrassi, Y., Moustaid, K., Essamadi, A. K., & Nasser, B. (2019).** Comparative study of phytochemical profile between *Ziziphus spina christi* and *Ziziphus lotus* from Morocco. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 121-130.
- **Erel, Ş. B., Reznicek, G., Şenol, S. G., Yavaşoğlu, N. Ü. K., Konyalioglu, S., & Zeybek, A. U. (2012).** Antimicrobial and antioxidant properties of *Artemisia* L. species from western Anatolia. *Turkish Journal of Biology*, 36(1), 75-84.
- **Evreinoff, V. A. (1964).** Notes sur le Jujubier (*Ziziphus sativa* G.). *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 11, 177-187.
- **Ezez, D., Tefera, M., Peana, M.F. (2021).** Effects of Solvents on Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Ginger Extracts. *Journal of Chemistry*, 1-5.
- **Fabrizio A., Tommaso G., Mariangela M., Giancarlo S., Antonio G. and Maria Rosa A., (2016).** *Artemisia arborescens* L. leaf litter : phytotoxic activity and phytochemical characterization. *Acta Physiol Plant*, 38 :128.
- **Fadel O., Ghazi Z., Mouni L., Benchat N., Ramdani M., Amhamdi H., Wathelet J. P., Asehraou A. et Charof R. (2011).** Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and traditional hydrodistillation methods for the *Rosmarinus eriocalyx* essential oils from Eastern Morocco. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2, 112-117.
- **Farhat, A. (2010).** Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : conception, optimisation et application. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. France. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès. Thèse de Doctorat en Sciences. 136 p.
- **Finney, D.J. (1971).** Probit analysis, Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- **Firn R.D. et Jones C.G. (1995).** Plants may talk, but can they hear ? *Trends Ecol. Evol.* 10, 371.
- **Fisher, W.S. (1950).** A Revision of the North America Species of Beetles Belonging to the Family Bostrichidae. In : *Miscellaneous Publication*. USDA, Washington, DC. 698.

- **Fleurat-Lessard F. (1994).** Écophysiologie des Arthropodes nuisibles aux stocks de céréales en Afrique tropicale. In Post-Récolte, principes et application en zone tropicale, *ESTEMIAUPELF Verstraeten*, 1-61.
- **Fleurat-Lessard, F. (2018).** Gestion intégrée de la protection des stocks de céréales contre les insectes sans traitement insecticide rémanent. *Phytoma*, 716, 32-40.
- **Fourar-Belaifa, R. et Fleurat-Lessard, F. (2015).** Évaluation expérimentale de la sensibilité aux attaques du charançon du riz de variétés d'espèces céréalières cultivées en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 24(5), 283-291.
- **Fraenkel G.S. (1959).** The Raison d'Être of Secondary Plant Substances : These odd chemicals arose as a means of protecting plants from insects and now guide insects to food. *Science*, 129 (3361), 1466-1470.
- **Funk, VA., Susanna, A., Stuessy, TF., Bayer, RJ. (2009).** Systematics, evolution and biogeography of Compositae. Vienna : International Association for Plant Taxonomy.
- **Gakuru, S., Foua-Bi, K. (1995).** Compared effect of four plant essential oils against cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* F. and rice weevil L. *Tropicultura*. 13 : 143-146.
- **Geçmişte, B. T. (1999).** Bugün Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi. *İstanbul, Nobel Tıp Kitabevi Ltd Şti*, 359.
- **George, A., Krishnan, J. U., & Arumughan, J. C. (2024).** Isolation of Bioactive Fumigants from Different Varieties of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and their Toxicity on *Tribolium castaneum* Herbst and *Rhyzopertha dominica* Fabricius. *Current Agriculture Research Journal*, Vol. 12, (2), 844-857.
- **Gharzouli, R., Djellouli, Y. (2005).** Diversité floristique de la Kabylie des Babors (Algérie). *Sécheresse*, 16(3), 217-23.
- **Grauso, L., Cesarano, G., Zotti, M., Ranesi, M., Sun, W., Bonanomi, G. et Lanzotti, V. (2020).** Exploring *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter phytochemical diversity to explain its antimicrobial, nematicidal and insecticidal activity. *Phytochemistry reviews*, 19, 659-689.
- **Guenha, R., Salvador, B. D. V., Rickman, J., Goulao, L. F., Muocha, I. M. et Carvalho, M. O., (2014).** Hermetic storage with plastic sealing to reduce insect infestation and secure paddy seed quality : A powerful strategy for rice farmers in Mozambique. *Journal of Stored Products Research*, 59, 275- 281.
- **Guèye, M. T., Seck, D., Wathelet, J. P. et Lognay, G. (2011).** Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(1).
- **Guignard J.L., (1996).** Abrégé de Biochimie végétale, Masson, Paris, 256 p.

- **Guignard, J.L., (2000)**. Biochimie végétale. 2ème édition. Edition Dunod, Paris, 274 p.
- **Gwinner, J., Harnish, R. et MÜch, O., (1996)**. Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte. Projet de protection des stocks et des récoltes, D- 65726 Eschborn, R.F.A., 388 p.
- **Habib, R., Mansoor H., Qurban, A., Muhammad Y., Shahzad S., Saima M., Hafiz U. S., Abid, M. A. and Hafiz, M. A. (2018)**. Potential of three indigenous plants extracts for the control of *Tribolium castaneum* (herbst) and *Rhyzopertha dominica* (fab.). Pakistan Entomologist, 40(1) :31-37.
- **Hadacek F., Bachmann G., Engelmeier D. et Chobot V. (2011)**. Hormesis and a Chemical Reason d'être for Secondary Plant Metabolites. Dose-Response, 9(1) :79-116.
- **Hamel, T., Bellili, M., Hamza, A. M. et Boulemtafes, A. (2019)**. Nouvelle contribution à l'étude de la flore mellifère et caractérisation pollinique de miels de la Numidie (Nord-Est algérien). *Livest. Res. Rural Dev*, 31, 1-24.
- **Handa, S.S., Khanuja Suman, P.S, Longo, G., Rakesh Dev D. (2008)**. Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. *International centre for science and high technology, Trieste*, 21-25.
- **Harley R.M., Atkins S., Budantsev A.L., Cantino P.D., Conn B.J., Grayer R., Harley M.M., De Kok R., Krestovskaja T., Morales R., Paton A.J., Ryding O., Upson T., (2004)**. Labiatae. In : Kadereit JW (ed) The families and genera of vascular plants VII. Flowering plantsdicotyledons : Lamiales (except Acanthaceae including Avicenniaceae). Springer, Berlin, p.p. 167–275.
- **Hasaballah, A., Shehata, A., Fouda, M., Hassan, M., Gad, M. (2018)**. The Biological Activity of *Cupressus sempervirens* Extracts against *Musca domestica*. *Asian Journal of Biology*, 5, 1-12.
- **Hassanali A., Lwande W., Sitayo O., Moreaka L., Nokoe S. et Chapaya A. (1990)**. Weevil repellent constituents of *Ocimum kilimandscharicum* (Labiatae) as post harvest protectant against infestation of three major stored product insect pests. *Bulletin of Entomological Research*, 85, 361-367.
- **Haunold, C. (1991)**. Extraction de Pyrethrine - Analyse du procédé discontinu et de l'influence des ultrasons - Modélisation et mise en oeuvre d'un procédé continu. Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse. Paris.
- **Heinrich M., Kufer J., Leonti M. and Pardo-de-Santayana M. (2006)**. Ethnobotany and ethnopharmacology-Interdisciplinary links with the historical sciences. *Journal of*

- Ethnopharmacology*, 107,157-160.
- **Heller, W., Forkmann, G. (1993)**. Biosynthesis of flavonoids. Chapman and Hall, London : 499-535.
 - **Hennebelle T. (2006)**. Investigation chimique, chimiotaxonomique et pharmacologique de lamiales productrices d'antioxydants : *Marrubium peregrinum*, *Ballota larendana*, *Ballota pseudodictamnus* (Lamiacées) et *Lippia alba* (Verbénacées). Thèse de Doctorat Université des sciences et technologies de Lille 1, Lille, Pp 304.
 - **Herms, D.A., Mattson, W. J. (1992)**. The dilemma of plants : to grow or defend. *The quarterly review of biology*, 67(3), 283-335.
 - **Hernández-Cruz, J., Luna-Cruz, A., Loera-Alvarado, E., Villanueva-Sánchez, E., Landero-Valenzuela, N., Zárate-Nicolás, B. H., ... & Granados-Echegoyen, C. A. (2023)**. Efficiency of the essential oil of *Porophyllum linaria* (Asteraceae) a Mexican endemic plant against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae). *Journal of Insect Science*, 23(5), 19.
 - **Hernandez Ochoa, L.R. (2005)**. Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine « solvant/actif » d'origine végétale. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, 217 p.
 - **Hernandez-Trejo, A., Rodríguez-Herrera, R., Sáenz-Galindo, A., et al., (2021)**. Insecticidal capacity of polyphenolic seed compounds from neem (*Azadirachta indica*) on *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) larvae. *J Environ Sci Health B*, 1-8.
 - **Herodez, S.S., Hadolinb, M., Skergeta, Zeljko K. (2003)**. Solvent extraction study of antioxidants from Balm (*Melissa officinalis* L.) leaves, *Food Chemistry*, 80, 275– 282.
 - **Herrera-Pool, E., Ramos-Diaz, A.L., Lizardi-Jimenez, M.A., Pech-Cohuo, S., Ayora-Talavera, T., Cuevas-Bernardino, J.C., Garcia-Cruz, U., Pacheco, N. (2021)**. Effect of solvent polarity on the Ultrasound Assisted extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from habanero pepper leaves (*Capsicum chinense*) and its identification by UPLC- PDA-ESI-MS/MS. *Ultrason Sonochem*, 76, 105658.
 - **Herzi, N. (2013)**. Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de l'extraction au CO2-supercritique et des techniques conventionnelles. Thèse de doctorat. 185p.
 - **Hierro, I., Valero, A., Perez, P., Gonzalez, P., Cabo, M. M., Montilla, M. P., & Navarro, M. C. (2004)**. Action of different monoterpene compounds against *Anisakis simplex* L3 larvae. *Phytomedicine*, 11(1), 77-82.

- **Huang Y., Ho S.-H., Lee H.-C. et Yap Y.-C. (2002).** Insecticidal properties of eugenol, isoeugenol and methyleugenol and their effects on nutrition of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera : Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 38, 403-412.
- **Hummelbrunner, L. A., & Isman, M. B. (2001).** Acute, sublethal, antifeedant, and synergistic effects of monoterpenoid essential oil compounds on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lep., Noctuidae). *Journal of Agricultural and food chemistry*, 49(2), 715-720.
- **Idouaaramé, S., Abdel-hamid, A. A., Elfarnin, M., Filali, O. A. et Blaghen, M. (2018).** Insecticidal activity of essential oils from five Moroccan plants on three insect pests of stored cereals. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 4(2), 52-57.
- **Ilehi, O., Chograni, H., Ben Rejeb, F., & Riahi, L. (2023).** Selectivity of the bioherbicidal potential of *Artemisia arborescens* L. among model and agronomic crops and implications for pre-and post-emergence applications. *Botanical Sciences*, 101(4), 1128-1144.
- **Imura O. (1991).** A comparative study of the feeding rabbitis of *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum* (Coleptera, Tenebrionidae). *Jour. Insect. Physiol.* N° 35. pp : 493-500.
- **Isman, M.B. (2006).** Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Ann. Rev. Entomol.*, 51 : 45-66.
- **Isman, M.B. (2016).** Pesticides based on plant essential oils : Phytochemical and practical considerations. *ACS Symp. Ser*, 1218, 13–26.
- **Isman, M. B., Miresmailli, S., & Machial, C. (2011).** Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochemistry reviews*, 10, 197-204.
- **Janovy, J., Jr., Detwiler, J., Schwank, S., Bolek, M. G., Knipes, A. K. et Langford, G. J. (2007).** New and emended descriptions of gregarines from our beetles (*Tribolium* spp. and *Palorus subdepressus*: Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Parasitology*, 93 (5), 1155-1170.
- **Jaradat, N., Qneibi, M., Hawash, M., Al-Maharik, N., Qadi, M., Abualhasan, M. N., ... & Bdir, S. (2022).** Assessing *Artemisia arborescens* essential oil compositions, antimicrobial,

- cytotoxic, anti-inflammatory, and neuroprotective effects gathered from two geographic locations in Palestine. *Industrial Crops and Products*, 176, 114360.
- **Jeffrey, C. (2007)**. Compositae : Introduction with key to tribes. In J. J. W. Kadereit, & C. Jeffrey (Eds.), *Flowering plants : Eudicots ; asterales*, 8, 61–87.
 - **Jerraya, A., (2003)**. Principaux nuisibles des plantes cultivées et des denrées stockées en Afrique du Nord : leur biologie, leurs ennemis naturels, leurs dégâts et leur contrôle Ed° Climat Pub, Tunis, 415 p.
 - **Jia, F. et Toews, M.D., Campbell, J.F. et Ramaswamy, S.B., (2008)**. Survival and reproduction of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera : Bostrichidae) on flora associated with native habitats in Kansas. *Journal of Stored Products Research*, 44, 366-372.
 - **Jian, F. (2019)**. Influences of stored product insect movements on integrated pest management decisions. *Insects*. 10 : 100.
 - **Joana Gil Chávez, G., Villa, J.A., Fernando Ayala Zavala, J., Basilio Heredia, J., Sepulveda, D., Yahia, E.M., González Aguilar, G.A. (2013)**. Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients : an overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 5-23.
 - **Jouault, S. (2012)**. La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité. Université de Lorraine, Nancy, 142 p.
 - **Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A. et Stevens P.F. (2002)**. Botanique systématique. Une perspective phylogénétique. 1ère Edition De Boeck Université. Paris, 383 p.
 - **Juteau, F., Masotti, V., Bessière, J. M., & Viano, J. (2002)**. Compositional characteristics of the essential oil of *Artemisia campestris* var. *glutinosa*. *Biochemical systematics and ecology*, 30(11), 1065-1070.
 - **Kaleem, W. A. ; Naveed, M. ; Khan, H. ; Rauf, A. (2014)**. Pharmacological and Phytochemical Studies of Genus *Ziziphus*. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21 (8), 1243-1263.
 - **Kan Y., Gokbulut A., Kartal M., Konuklugil B., et Yilmaz G. (2007)**. Development and Validation of a LC Method for the Analysis of Phenolic Acids in Turkish *Salvia* Species. *Chromatographia Supplement*, 66 : 147–152.
 - **Karahaçane T. (2015)**. Activité insecticide des extraits de quelques plantes cultivées spontanées sur les insectes du blé en poste-récolte. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique., El Harrach. 136p.

- **Karimi, A., & Meiners, T. (2021)**. Antifungal activity of *Zataria multiflora* Boiss. essential oils and changes in volatile compound composition under abiotic stress conditions. *Industrial crops and products*, 171, 113888.
- **Khalilov, L. M., Paramonov, E. A., Khalilova, A. Z., Odinkov, V. N., Muldashev, A. A., Baltaev, U. A., & Dzhemilev, U. M. (2001)**. Identification and biological activity of volatile organic compounds emitted by plants and insects. IV. Composition of vapor isolated from certain species of *Artemisia* plants. *Chemistry of Natural Compounds*, 37, 339-342.
- **Khare B.P. (1990)**. Stored grain infestation by insect in North India. *Bul. Grain. Tech.* V3, pp : 1633-1638.
- **Khater, K. S., & El-Shafiey, S. N. (2015)**. Insecticidal effect of essential oils from two aromatic plants against *Tribolium castaneum* (Herbst), (Coleoptera : Tenebrionidae). *Egypt J Biol Pest Control*, 25(1), 129-134.
- **Khoobdel, M., Ahsaei, S. M., & Farzaneh, M. (2017)**. Insecticidal activity of polycaprolactone nanocapsules loaded with *Rosmarinus officinalis* essential oil in *Tribolium castaneum* (Herbst). *Entomological research*, 47(3), 175-184.
- **Khorramshahi, A., Burkholder, W.E. (1981)**. Behavior of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Journal of Chemical Ecology*, 7(1), 33-38.
- **Khouchlaa, A., Bouyahya, A., Ait Lahcen, S., Bakri, Y., Dakka, N., & Tijane, M. (2017)**. Phytochemical screening, evaluation of antioxidant activity and litholytic effect of *Zizyphus lotus* L. extracts. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 6(3), 1354-1367.
- **Khouchlaa, A., Talbaoui, A., El Yahyaoui El Idrissi, A., Bouyahya, A., Ait Lahsen, S., Kahouadji, A., Tijane, M. (2018)**. Détermination des composés phénoliques et évaluation de l'activité litholytique in vitro sur la lithiase urinaire d'extrait de *Zizyphus lotus* L. d'origine marocaine. *Phytotherapie*, 16, 14–19.
- **Kiokias, S., Proestos, C., & Oreopoulou, V. (2020)**. Phenolic acids of plant origin—A review on their antioxidant activity in vitro (o/w emulsion systems) along with their in vivo health biochemical properties. *Foods*, 9(4), 534.
- **Klavins, L., Kviesis, J., Klavins, M. (2017)**. Comparison of methods of extraction of phenolic compounds from American cranberry (*Vaccinium macrocarpon* L.) pres residues. *Agron. Res.* 15(2), 1316-1329.
- **Klys, M., (2006)**. Nutritional preferences of the Lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera, Bostrichidae) under conditions of free choice of food. *Journal of Plant Protection Research*, 46(4) :359-367.

- **Klys, M., (2007).** The influence of the herbs sage and wormwood on the migration of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera : Bosctichidae) populations. *J. Stored Prod. Res.*, 43, 558-563.
- **Kordali, S., Cakir, A., Mavi, A., Kilic, H., & Yildirim, A. (2005).** Screening of chemical composition and antifungal and antioxidant activities of the essential oils from three Turkish *Artemisia* species. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(5), 1408-1416.
- **Koul, O. ; Walia, S. ; Dhaliwal, G.S. ; Nagar, P. (2008).** Essential oils as green pesticides potential and constraints. *Biopestic. Int.*, 4, 63–84.
- **Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., & Mishra, V. (2021).** An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*, 10(6), 1185.
- **Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., Satya, S. (2011).** Insecticidal properties of Mentha species: a review. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 802-817.
- **Lai F., Wissing S.A., Müller R.H., and Fadda A.M., (2006).** *Artemisia arborescens* L. essential oil-loaded solid lipid nanoparticles for potential agricultural application : preparation and characterization. *AAPS Pharm.Sci. Tech.*,7(1) : 1-9.
- **Lakhdar, L. (2015).** Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* : Etude in vitro. *Faculté de médecine dentaire de Rabat, centre d'étude doctorales des sciences de la vie et de la santé.*
- **Lamendin, H. (2004).** Huiles essentielles en diffusion atmosphérique. *Chir. Dent. Fr*1185, 78-80.
- **Lampiri, E., Agrafioti, P., Levizou, E., & Athanassiou, C. G. (2020).** Insecticidal effect of *Dittrichia viscosa* lyophilized epicuticular material against four major stored-product beetle species on wheat. *Crop protection*, 132, 105095.
- **Langsi, J. D., Nukenine, E. N., Oumarou, K. M., Moktar, H., Fokunang, C. N., & Mbata, G. N. (2020).** Evaluation of the insecticidal activities of α -Pinene and 3-Carene on *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera : Curculionidae). *Insects*, 11(8), 540.
- **Lautrette, S. (2004).** Utilisation des fibres de carbone activé comme catalyseurs de O- et Nglycosylation : Application à la synthèse d'analogues de saponines et de nucléosides. Thèse de doctorat. Université de Limoges. 139 p.

- **Lee, S.E. ; Lee, B.H. ; Choi, W.S. ; Park, B.S. ; Kim, J.G. (2001)**. Campbell, B.C. Fumigant toxicity of volatile natural products from Korean spices and medicinal plants towards the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L). *Pest. Manag. Sci.*, 57, 548–553.

- **Letaief, T., Garzoli, S., Laghezza Masci, V., Mejri, J., Abderrabba, M., Tiezzi, A. et Ovidi, E. (2021)**. Chemical composition and biological activities of tunisian *Ziziphus lotus* extracts : Evaluation of drying effect, solvent extraction, and extracted plant parts. *Plants*, 10(12), 2651.

- **Liang, J. Y., Wang, W. T., Zheng, Y. F., Zhang, D., Wang, J. L., Guo, S. S., ... & Zhang, J. (2017)**. Bioactivities and chemical constituents of essential oil extracted from *Artemisia anethoides* against two stored product insects. *Journal of oleo science*, 66(1), 71-76.

- **Lis-Balchin, M. (2006)**. *Aromatherapy Science : A Guide for Healthcare Professionals*. Pharmaceutical Press, 462 p.

- **Liu, M. J., & Cheng, C. Y. (1994)**. A taxonomic study on the genus *Ziziphus*. In *Internat. Symposium on Medicinal and Aromatic Plants 390*, 161-166.

- **Liu, X.C., Li, Y., Wang, T., Wang, Q., Liu, Z.L. (2014)**. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil of *Artemisia frigida* Willd (Compositae) against two grain storage insects. *Trop. J. Pharm. Res.* 13, 587–592.

- **Liu, Z.L., Liu, Q.R., Chu, S.S., Jiang, G.H. (2010)**. Insecticidal activity and chemical composition of the essential oils of *Artemisia lavandulaefolia* and *Artemisia sieversiana* from China. *Chem. Biodivers.* 7, 2040–2045.

- **Lorrain E. (2013)**. 100 questions sur la phytothérapie. Ed. La boétie, Italie.

- **Lucchesi, M. E., Chemat, F. et Smadja, J. (2004)**. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs : comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography a*, 1043(2), 323-327.

- **Maïga, A., Diallo, D., Fané, S., Sanogo, R., Paulsen, B.S, Cissé, B. (2005)**. A survey of toxic plants on the market in the district of Bamako, Mali : traditional knowledge compared with a literature dearch of modern pharmacology and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 96 : 183-193.

- **Majeed, M.Z., Mehmood, T., Javed, M., Sellami, F., Riaz, M.A., Afzal, M. (2015)**. Biology and management of stored products' insect pest *Rhyzopertha dominica* (Fab.) (Coleoptera : Bostrichidae). *International Journal of Biosciences (IJB)*, 7 (5), 78-93.

- **Manzoor, F., Nasim, G., Saif, S., Malik, S.A. (2011)**. Effect of ethanolic plant extracts on three storage grain pests of economic importance. *Pakistan Journal of Botany*, 43(6), 2941-2946.
- **Marrone, P. G. (2019)**. Pesticidal natural products—status and future potential. *Pest Management Science*, 75(9), 2325-2340.
- **Marrouf, A., Tremblin, G. (2009)**. Abrégé de biochimie appliquée, EDP sciences. 592 p.
- **Mason, L.J., (2010)**. Lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fab.). Stored Products Pests, E-238-W. Purdue University, Department of Entomology.
- **Matthews, G.A. (1993)**. Insecticide application in the stores. In Matthews, G.A. and Hislop, E.C. (Eds.). Application technology for crop protection. CAB, London, pp. 305-315.
- **Mauro, N.M. (2006)**. Synthèse d’alcaloïdes biologiquement actifs : la (+) - anatoxine-a et la (±) -camptothécine. Thèse doctorat. Université Joseph-Fourier-Grenoble. 186 p.
- **Ma, Y., Chen, J., Liu, D., Ye, X. (2008)**. Effect of ultrasonic treatment on the total phenolic and antioxidant activity of extracts from citrus peel. *Journal of Food Sciences*. 73, 115- 120.
- **Ma, Y.L., Sun, P., Feng, J., Yuan, J., Wang, Y., Shang, Y.F., Niu, X.L., Yang, S.H., Wei, Z.J. (2021)**. Solvent effect on phenolics and antioxidant activity of Huangshan Gongju (*Dendranthema morifolium* (Ramat) Tzvel. cv. Gongju) extract. *Food and Chemical Toxicology* 147, 111875.
- **Mayouf, N. (2019)**. Propriétés antioxydante, anti-inflammatoire et immunomodulatrice des extraits d’*Asphodelus microcarpus*. Thèse de doctorat. Université de Sétif. 123 p.
- **Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Espinosa-Andrews, H., Sánchez- Contreras, A., Pacheco, N. (2017)**. Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomy*, 7, 47.
- **Memelink, J., Verpoorte, R., Kijne, J.W. (2001)**. ORCAnization of jasmonate- responsive gene expression in alkaloid metabolism. *Trends in plant science*, 6(5), 212-219.
- **Menaceur F. et Hazzit M. (2014)**. Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of ethanolic extracts from algerian *Lavandula stoechas* and *Rosmarinus tournefortii*. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 4(6) : 139-146.
- **Menaceur, F., Hazzit, M., Mouhouche, F., Mohammedi, H., Baaliouamer, A., & Benchabane, A. (2016)**. Phytochemical screening and biological activities of essential oils from leaves of two algerian Lamiaceae plants on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(4), 806-819.

- **Meraghni M., (2019).** Etude de l'effet biopesticide de quelques extraits naturels d'une plante appartenant à la famille des Lamiacées. Thèse de Doctorat, Spécialité : Biologie Végétale et Environnement, Université de Annaba, 166 p.
- **Merghoub N., Benbacer L., El Btaouri V., Ait Benhassou V., Terryn C., Attaleb M., Madoulet C., Benjouad A., El Mzibri M., Morjani H., Amzazi S. (2011).** In vitro antiproliferative effect and induction of apoptosis by *Retama Monosperma* L. extract in human cervical cancer cells. *Cellular & Molecular Biology* ; 57 : 1581- 1591.
- **M'hiri, N. (2015).** Etude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone. Thèse de doctorat. Université de Lorraine. 147 p.
- **Militello, M., Carrubba, A. et Blázquez, M. A. (2012).** *Artemisia arborescens* L. : essential oil composition and effects of plant growth stage in some genotypes from Sicily. *Journal of essential oil research*, 24(3), 229-235.
- **Militello, M., Settanni, L., Aleo, A., Mammina, C., Moschetti, G., Giammanco, G. M. et Carrubba, A. (2011).** Chemical composition and antibacterial potential of *Artemisia arborescens* L. essential oil. *Current Microbiology*, 62, 1274-1281.
- **Mirjalili M. H., Tabatabaei S. M. F., Hadian J., Ebrahimi S. N., Sonboli A., (2007).** Phenological variation of the essential oil of *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 19(4) : 326-329.
- **Mochiah, M., Banful, B. Fening, K., (2011).** Botanicals for the management of insect pests in organic vegetable production. *J. Entomol. Nematol*, 3, 85-97.
- **Moharrampour, S., Taghizadeh, A., Meshkatalasadat, M. H., Talebi, A. A., & Fathipour, Y. (2008).** Repellent and fumigant toxicity of essential oil from *Thymus persicus* against *Tribolium castaneum* and *Callosobruchus maculatus*. *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 73(3), 639-642.
- **Moumni, M., Elwatik, L., Kassimi, A., Homrani Bakali, A. (2014).** Insecticidal activity of the essential oil from seven accessions of *Artemisia herba-alba* asso domesticated in Errachidia (south-east of Morocco) against *Tribolium castaneum*. *J. Eng. Res. Appl.* 4, 33–36.
- **Mrid, R. B., Bouchmaa, N., Kabach, I., Zouaoui, Z., Chtibi, H., Maadoudi, M. E., ... & Nhiri, M. (2022).** *Dittrichia viscosa* L. leaves : a valuable source of bioactive compounds with multiple pharmacological effects. *Molecules*, 27(7), 2108.

- **Mssillou, I., Agour, A., Slighoua, M., Tourabi, M., Nouioura, G., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2022).** Phytochemical characterization, antioxidant activity, and in vitro investigation of antimicrobial potential of *Dittrichia viscosa* L. leaf extracts against nosocomial infections. *Acta Ecologica Sinica*, 42(6), 661-669.
- **Mughal, M., et Fontan Sers, C. (2020).** Cereal production, undernourishment, and food insecurity in South Asia. *Review of Development Economics*, 24(2), 524-545.
- **Murugesan, R. ; Vasuki, K. ; Kaleeswaran, B. ; Santhanam, P. ; Ravikumar, S. ; Alwahibi, M.S. ; Soliman, D.A. ; Mohsen Ahmed Almunqedhi, B. ; Alkahtani, J. (2021).** Insecticidal and Repellent Activities of *Solanum torvum* (Sw.) Leaf Extract against Stored Grain Pest, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera : Bruchidae). *J. King Saud Univ. Sci*, 33, 101390.
- **Nacer Amraoui, Haifaa Laroui, Nour Eddine Charef, Abderrahman Baghiani and Lekhmici Arrar (2022).** Antioxidant, anti-hemolytic and anti-inflammatory activities of aqueous extract of aerial parts of *Rosmarinus tournefortii*. *Annals of R.S.C.B.*, 26(1) : 2912 – 2923.
- **Naghbi F., Mosaddegh M., Motamed S-M. and Ghorbani A. (2005).** Labiatae Family in folk Medicine in Iran : from Ethnobotany to Pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2, 63-79.
- **Naili M.B., Alghazeer R.O., Saleh N.A., Al-Najjar A.Y., (2010).** Evaluation of antibacterial and antioxidant activities of *Artemisia campestris* (Astraceae) and *Ziziphus lotus* (Rhamnaceae). *Arabian Journal of Chemistry*, 3(2) : 79-84.
- **Nansen, C. et Meikle, W.G., (2002).** The biology of the larger grain borer, *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Integrated Pest Management Reviews*, 7 : 91-104.
- **Ncibi, S., Barbouche, N., Haouel-Hamdi, S., & Ammar, M. (2019).** Insecticidal activity of several Tunisian essential oils against two major pests of stored grain *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) and *Tribolium castaneum* (Herbest 1797). *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 66(5), 4182-4194.
- **Ndzana Abanda, R.F.X. (2012).** Régulation des bio-agresseurs dans les cultures associées de blé dur et de pois : impact de la diversité végétale sur la démographie des pucerons du pois. Thèse de doctorat. Université de Toulouse. 141p.
- **Negahban, M., Moharramipour, S., & Sefidkon, F. (2007).** Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. *Journal of stored products research*, 43(2), 123-128.

- Nesci, A., Barra, P., et Etcheverry, M. (2011). Integrated management of insect vectors of *Aspergillus flavus* in stored maize, using synthetic antioxidants and natural phytochemicals. *Journal of stored products research*, 47(3), 231-237.
- Nidal Jaradat, Mohammad Qneibi, Mohammed Hawash, Nawaf Al-Maharik, Mohammad Qadi, Murad N. Abualhasan, Ola Ayesh, Jamila Bsharat, Malak Khadir, Roaa Morshed, Saja Yaaqbeh, Shaima'a Marei, Shahed Hamayel, Ahmed Mousa, Maysa Daqqa, Sosana Bdir, (2022). Assessing *Artemisia arborescens* essential oil compositions, antimicrobial, cytotoxic, anti-inflammatory, and neuroprotective effects gathered from two geographic locations in Palestine. *Industrial Crops and Products*, 176 : 114-360.
- Ni, Z. J., Wang, X., Shen, Y., Thakur, K., Han, J., Zhang, J. G., ... & Wei, Z. J. (2021). Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 78-89.
- Olivero-Verbel, J., González-Cervera, T., Güette-Fernandez, J., Jaramillo- Colorado, B., Stashenko, E. (2010). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils isolated from Colombian plants. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 568-574.
- Oloyede, O.I. (2005). Chemical Profile of Unripe Pulp of *Carica papaya*. *Pakistan journal of nutrition*. 4 : 379-381.
- Opit, G. P., Phillips, T. W., Aikins, M. J., & Hasan, M. M. (2012). Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1107-1114.
- Oprescu, E. E., Enascuta, C. E., Radu, E., Ciltea-Udrescu, M., & Lavric, V. (2022). Does the ultrasonic field improve the extraction productivity compared to classical methods—Maceration and reflux distillation ? *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 179, 109082.
- Ornano, L., Venditti, A., Ballero, M., Sanna, C., Quassinti, L., Bramucci, M., ... & Bianco, A. (2013). Chemopreventive and antioxidant activity of the chamazulene-rich essential oil obtained from *Artemisia arborescens* L. growing on the Isle of La Maddalena, Sardinia, Italy. *Chemistry & biodiversity*, 10(8), 1464-1474.
- Oryzae, S. (2006). Effects of six plant extracts on rice weevil *Sitophilus oryzae* L. in the stored wheat grains. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 1(4).
- Outaleb, T. (2016). *Extraits de romarin d'Algérie (Rosmarinus officinalis L. et Rosmarinus tournefortii De Noe) : Analyse chimique et activités antioxydantes et antimicrobiennes*. Doctorat en sciences alimentaires, ENSA, 132 p.

- **Outaleb, T., Yekkour, A., Hazzit, M., Zitouni, A. et Sabaou, N. (2020).** Phytochemical profiling, antioxidant and antimicrobial effectiveness of *Rosmarinus tournefortii* De Noe extracts issued from different regions of Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 32(3), 247-259.
- **Paquet J.M. (2014).** L'Inule visqueuse (*Inula viscosa*). Bulletin de la Société Botanique de France ; 70 (1) : 139-141.
- **Pandey, A. K., Tripathi, S., & Singh, P. (2018).** Plant essential oils : a substitute for conventional insecticides against *Tribolium* species (Coleoptera : Tenebrionidae) - achievements and challenges. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 51(13-14), 696-728.
- **Pang, X., Feng, Y.X., Qi, X.J., Wang, Y., Almaz, B., Xi, C., Du, S.S. (2020).** Toxicity and repellent activity of essential oil from *Mentha piperita* Linn. Leaves and its major monoterpenoids against three stored product insects. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(7), 7618-7627.
- **Panisset J.C., Dewailly E. et Doucet-Leduc H. (2003).** Contamination alimentaire. In : Environnement et santé publique-Fondements et pratiques. Tec et Doc. Acton Val, Paris, pp : 369-395.
- **Pappas, R., & Sheppard-Hanger, S. (2000).** *Artemisia arborescens*-essential oil of the Pacific Northwest : a high-chamazulene, low-thujone essential oil with potential skin-care applications. *Aromather. J*, 10, 30-33.
- **Paraginski, R. T., Vanier, N. L., Berrios, J. D. J., de Oliveira, M., & Elias, M. C. (2014).** Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. *Journal of Stored Products Research*, 59, 209-214.
- **Park, M., Cho, H., Jung, H., Lee, H., Hwang, K.T. (2014).** Antioxidant and anti-inflammatory activities of tannin fraction of the extract from black raspberry seeds compared to grape seeds. *Journal of food biochemistry*, 38(3), 259-270.
- **Parolin P, Ion Scotta M, Bresch C., (2013).** Biology of *Dittrichia viscosa*, a Mediterranean ruderal plant : a review. Artículos, 2013, 13 : 1-4.
- **Pérez, S. G., Ramos-López, M. A., Zavala-Sánchez, M. A., & Cárdenas-Ortega, N. C. (2010).** Activity of essential oils as a biorational alternative to control coleopteran insects in stored grains. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(25), 2827-2835.
- **Pétrier, C., Gondrexon, N. et Boldo, P. (2008).** Ultrasons et sonochimie. Techniques de l'ingénieur. Sciences fondamentales.

- **Potter, C. (1935).** The biology and distribution of *Rhizopertha dominica* (Fab.). *Transactions of the Royal entomological Society of London*, 83(4).
- **Presti, M. L., Crupi, M. L., Zellner, B. D. A., Dugo, G., Mondello, L., Dugo, P., & Ragusa, S. (2007).** Characterization of *Artemisia arborescens* L. (Asteraceae) leaf-derived essential oil from Southern Italy. *Journal of Essential Oil Research*, 19(3), 218-224.
- **Punt, W., Marks, A., et Hoen, P. (2003).** Rhamnaceae, Review of palaeobotany and palynology, 123 :57-66.
- **Quezel P., Santa S., (1962).** Nouvelle flore de l'Algérie et régions désertiques méridionales. Tome 1. CNRS, Paris ,565p.
- **Quezel P., Santa S., (1963).** Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris, CNRS, Tome 2, 1170 p.
- **Rabie, F., Guendouz-Benrima, A., et Chebouti-Meziou, N. (2019).** Insecticidal effect of aqueous extracts of *Pistacia lentiscus* L. and *Ziziphus lotus* L. leaves on the different larval stages of the processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera : Thaumetopoeidae).
- **Rachel, P. (2007).** Méthodologie pour le passage en continu d'extraction de soluté à partir de matière végétale. Thèse de doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse. France. 118p.
- **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. *Journal of food science and technology*, 47, 310-314.
- **Rakshit, A., Meena, V. S., Abhilash, P. C., Sarma, B. K., Singh, H. B., Fraceto, L., ... & Singh, A. K. (Eds.). (2021).** *Biopesticides : Volume 2 : Advances in bio-inoculants*. Woodhead Publishing.
- **Randrianarivelo R. (2010).** Etude de l'activité antimicrobienne d'une plante endémique de Madagascar *Cinnamosma fragrans*, alternative aux antibiotiques en crevetticulture. Thèse de doctorat : Science de la vie. Biochimie (Biotechnologie - Microbiologie) /Université d'Antananarivo, 179 p.
- **Rashed, K., Ćirić, A., Glamočlija, J., Soković, M. (2014).** Antibacterial and antifungal activities of methanol extract and phenolic compounds from *Diospyros virginiana* L. *Industrial Crops and Products*, 59, 210-215.
- **Regnault-Roger C., Philogène B.J.R. et Vincent C. (2002).** Biopesticides d'origines végétales. Tec & Doc Eds. Paris, 337 p.

- **Regnault-Roger, C. ; Vincent, C. ; Arnason, J.T. (2011).** Essential oils in insect control : Low-risk products in a high-stakes world. *Ann. Rev. Entomol*, 57, 405–424.
- **Richards, S., Gibbs, R.A., Weinstock, G.M., et al., (2008).** The genome of the model beetle and pest *Tribolium castaneum*. *Nature*, 452(7190), 949-955.
- **Roland J.C., Roland F., Bouteau H.E., Bouteau F., (2008).** Atlas Biologie végétale – Organisation des plantes à fleurs, Ed. DUNOD, p.124.
- **Saada, I. (2023).** Valorisation des ressources biologiques en lutte contre les déprédateurs et les maladies des céréales : cas des extraits de plantes autochtones. Thèse de Doctorat, Spécialité : Protection des végétaux, Université de Bouira, 134 p.
- **Saada, I., Mahdi, K., Boubekka, N., Benzitoune, N., & Salhi, O. (2022).** Variability of insecticidal activity of *Cupressus sempervirens* L., *Juniperus phoenicea* L., *Mentha rotundifolia* (L.) Huds, and *Asphodelus microcarpus* Salzm. & Viv. extracts according to solvents and extraction systems. *Biochemical Systematics and Ecology*, 105, 1-8.
- **Sabrine, I., Abdallah Abakar, A.h., Maryama, E., Ouafaa, A.F., Mohamed, B. (2018).** Insecticidal activity of essential oils from five Moroccan plants on three insect pests of stored cereals. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 4, 052-057.
- **Sahaf, B. Z., Moharramipour, S., & Meshkatalasadat, M. H. (2008).** Fumigant toxicity of essential oil from *Vitex pseudo-negundo* against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 11(4), 175-179.
- **Sakar, E. H., Zeroual, A., Kasrati, A., et Gharby, S. (2023).** Combined effects of domestication and extraction technique on essential oil yield, chemical profiling, and antioxidant and antimicrobial activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Journal of Food Biochemistry*, 2023, 1-13.
- **Sánchez Mariñez, R.I., Cortez Rocha, M.O., Ortega Dorame, F., Morales Valdes, M., Silveira, M.I. (1997).** Enduse quality of flour from *Rhyzopertha dominica* infested wheat. *Cereal Chemistry*, 74(4), 481-483.
- **Sarni-Manchado, P., Cheynier, V. (2006).** *Les polyphénols en agroalimentaire*. Techniques & documentation. 398p.
- **Sbahi K. (2017).** Etude épidémiologique, paramétrique et phytothérapeutique de la lithiase urinaire. Thèse de Doctorat. Université Abd Elhamid Ibn Badis Mostaganem. 189 p.
- **Schneider, C. (2013).** Plantes sauvages aromatiques. Les reconnaître, les utiliser. Eugen Ulmer Eds. 128 p.

- **Seck, D., (1989)**. Importance et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, de mil et de niébé en zone sahélienne, *Revue Sénégalaise des Recherches Agricoles et Halieutiques*, 2,3- 4.
- **Setzera W.N. et Haber W.A. (2007)**. Leaf Essential Oil Composition of Five Species of *Beilschmiedia* from Monteverde, Costa Rica. *Natural Product Communications*, pharmacology, and chemical ecology of natural products, 2(1) : 79-83.
- **Sevgi, E., Dag, A., Kızılarslan-Hançer, Ç., Atasoy, S., Kurt, B. Z., & Aksakal, Ö. (2021)**. Evaluation of cytotoxic and antioxidant potential of *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter used in traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 276, 114211.
- **Shaaya, E., Kostjukovski M. ; Eilberg J. ; et Sukprakarn C. (1997)**. "Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects." *Journal of Stored Products Research*, vol. 33, no. 1, 7-15.
- **Shafique, M., Ahmad, M., & Chaudry, M. A. (2006)**. Feeding preference and development of *Tribolium castaneum* (Herbst.) in wheat products. *Pakistan Journal of Zoology*, 38(1), 27.
- **Sharifian, I., Hashemi, S.M., Aghali, M., Alizadeh, M. (2012)**. Insecticidal activity of essential oil of *Artemisia herba alba* against three stored product beetles. *Biharean Biol.* 6, 90–93.
- **Sheetal Banga K.M., Kotwaliwale N., Mohapatra D. et Giri S.K. (2018)**. Corrigendum to « Techniques for insect detection in stored food grains : An overview ». *Food Control*, 94, 167–176.
- **Sherwin C. (1976)**. « Tribal interrelationships and phylogeny of the Asteraceae ». *Aliso*, 8(4),465.
- **Silva, R. M., & Faria, M. T. (2014)**. Caracterização etnobotânica e histoquímica de plantas medicinais utilizadas pelos moradores do bairro Carrilho, Goianésia (GO). *Enciclopédia Biosfera*, 10(19).
- **Sinha R.N. et Watters F.L. (1985)**. *Insectes nuisibles des minoteries, des silos-élévateurs, des usines à provendes et méthodes de désinfestation*. Ed. Station de recherche. Agriculture. Canada, 311 p.
- **Sinico, C., De Logu, A., Lai, F., Valenti, D., Manconi, M., Loy, G., ... & Fadda, A. M. (2005)**. Liposomal incorporation of *Artemisia arborescens* L. essential oil and in vitro antiviral activity. *European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics*, 59(1), 161-168.

- **Slotkin, T.A., Stadler, A., Skavicus, S., Seidler, F.J. (2016).** Adolescents and adults differ in the immediate and longterm impact of nicotine administration and withdrawal on cardiac norepinephrine. *Brain Res. Bull*, 122, 71-75.
- **Sofowera, A. (2010).** Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Karthala, Economie et Développement. Paris : 384 p.
- **Sofowora, E.A. (1982).** Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa. John Wiley and Sons, Chichester, 256 p.
- **St-Pierre, N., Bélanger, V. et Brégar, A. (2014).** Ventilation et conservation des grains à la ferme. Réseau Innovagrains et Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). 58 p.
- **Su X., Duan J., Jian Y.M., Shi J., Kakuda Y., (2006).** Effects of soaking conditions on the antioxidant potentials of oolong tea. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4) : 348-353.
- **Tabikha, R. M. (2022).** Impacts of gamma radiation, as hygiene physical control agent, on population growth of *Tribolium castaneum* (coleoptera : Tenebrionidae) in wheat flour. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 15(1), 179-186.
- **Tahri, M., Imelouane, B., Aouinti, F., Amhamdi, H., & El bachiri, A. (2014).** The organic and mineral compounds of the medicinal aromatics, *Rosmarinus tournefortii* and *Rosmarinus officinalis*, growing in eastern Morocco. *Research on Chemical Intermediates*, 40, 2651-2658.
- **Tapiero, H., Tew, K. D., Ba, G. N., Mathe, G. (2002).** Polyphenols : do they play a role in the prevention of human pathologies. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 56(4), 200-207.
- **Tavares, W.R., Barreto, M.D.C., Seca, A.M.L. (2021).** Aqueous and Ethanolic Plant Extracts as Bio-Insecticides-Establishing a Bridge between Raw Scientific Data and Practical Reality. *Plants*, 10.
- **Teke, M. A., & Mutlu, Ç. (2021).** Insecticidal and behavioral effects of some plant essential oils against *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(1), 109-119.
- **Tounsi, M., Benchohrahadria, A., & Dif, M.M. (2021).** Ethnobotanical and Phytochemical Study of *Inula viscosa* L of the Western of Algeria. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. C, Physiology and Molecular Biology*, 13(2), 199-210.
- **Trease, E., Evans, W.C. (1987).** Pharmacognosy, Billiare Tindall, London. Vogel AI (1988). In : Elementary practical organic chemistry (Second edition), Orient Longman Limited, pp. 45-168.

- **Trimech, I., Weiss, E. K., Chedea, V. S., Marin, D., Detsi, A., Ioannou, E., ... & Kefalas, P. (2014).** Evaluation of anti-oxidant and acetylcholinesterase activity and identification of polyphenolics of the invasive weed *Dittrichia viscosa*. *Phytochemical Analysis*, 25(5), 421-428.
- **Upadhyay R.K. et Ahmad S. (2011).** Management Strategies for Control of Stored Grain Insect Pests in Farmer Stores and Public Ware Houses. *World Journal of Agricultural Sciences* 7 (5) : 527-549.
- **Upson T.M. (2000).** 1. *Rosmarinus L.* In : J. Cullen *et al.* (eds.). The European Garden Flora. Vol. VI. Cambridge University Press, Cambridge.
- **Van Lenteren, J.C. (2012).** IOBC Internet Book of Biological Control. IOBC Global. Edition van Lenteren, J.C. Versión 6. 182p.
- **Veres K. (2007).** Variability and biologically active components of some Lamiaceae species. Ph.D. Thesis, Department of Pharmacognosy, University of Szeged, Hungary.
- **Vermerris, W., Nicholson, R., Vermerris, W., Nicholson, R. (2006).** Families of phenolic compounds and means of classification. *Phenolic compound biochemistry*, 1-34.
- **Wagan, T. A., Wang, W., Hua, H., Rong-Hua, L., et Cai, W. (2022).** The effects of three essential oils on adult repellency, larval fumigant toxicity, and egg hatch of *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae). *Florida Entomologist*, 105(2), 160-166.
- **Wainwright, H., Wanyamay, C., Cherotich, N. (2013).** Biopesticides and their commercialisation in Africa. In : Proceedings of the First International Conference on Pesticidal Plants, 21-24 January 2013, Egerton University and ICIPE, Nairobi, Kenya, 189-191.
- **Wang, L., Weller, C.L. (2006).** Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*. 17, 300-312.
- **Wang, Z., Ding, L., Li, T., Zhou, X., Wang, L., Zhang, H., He, H. (2006).** Improved solventfree microwave extraction of essential oil from dried *Cuminum cyminum* L. And *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. *Journal of Chromatography A*, 1102(1), 11-17.
- **Wanna, R., & Bozdoğan, H. (2024).** Activity of *Rosmarinus officinalis* (Lamiaceae) Essential Oil and Its Main Constituent, 1, 8-Cineole, against *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*.
- **Waston, L., et Dallwitz, M.J. (1992).** The families of flowering plants. Heart Disease Risk Factor Study. *Am J Clin Nutr*, 77 :133-8.
- **Wegrzyn, R., et Lamendinh, H. (2005).** Huiles essentielles et aromathérapie bucco-dentaire. *Chir. Dent. Fr*, 1225, 62-66.

- **Wichtl, M., Anton, R. (2009).** Plantes thérapeutiques tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. Édition Lavoisier, Paris. 38-41.
- **Wong, S., Leong, L., Williamkoh, J. (2006).** Antioxidant activities of aqueous extracts of selected plants. *Food Chemistry* 99, 775-783.
- **Wright C.W. (2002).** *Artemisia*. Medicinal and Aromatic Plants. Ed. Taylor & Francis, 260p.
- **Xu, D.P., Zheng, J., Zhou, Y., Li, Y., Li, S., Li, H.B. (2017).** Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Limonium sinuatum* : Optimization and comparison with conventional methods. *Food Chem* 217, 552-559.
- **Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018).** Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762.
- **Yarou, B.B., Silvie, P., Assogba Komlan, F., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F., Francis, F. (2017).** Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 21(4).
- **Younes, K. (2015).** Contribution à l'étude chimique et biologique de deux plantes médicinales de la région ouest d'Algérie : *Artemisia arborescens* L. et *Cardaria draba* (L.) Desv. Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 115 p.
- **Younes, K., Merghache, S., Djabou, N., Merghache, D., Muselli, A., Tabti, B., & Costa, J. (2012).** Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of a new essential oil chemotype of Algerian *Artemisia arborescens* L. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, Vol. 6(42), pp. 2912-2921.
- **Zdero, C., Bohlmann, F. (1990).** Systematics and evolution within the Compositae, seen with the eyes of a chemist plant systematics and Evolution. 171, 1–14.
- **Zerrouk, S., Seijo, M. C., Escuredo, O. et Rodríguez-Flores, M. S. (2018).** Characterization of *Ziziphus lotus* (jujube) honey produced in Algeria. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 166-174.
- **Zhang, J. W., Li, B. Y., Lu, X. X., Zheng, Y., Wang, D., Zhang, Z., ... & Du, S. S. (2022).** Chemical diversity and anti-insect activity evaluation of essential oils extracted from five *Artemisia* species. *Plants*, 11(13), 1627.
- **Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018 a).** Techniques for extraction and isolation of natural products : A comprehensive review. *Chinese medicine*, 13, 1-26.
- **Zhang, W.J., You, C.X., Yang, K., Chen, R., Wang, Y., Wu, Y., Geng, Z.F., Chen, H.P., Jiang, H.Y., Su, Y., Lei, N., Ma, P., Du, S.S., Deng, Z.W. (2014).** Bioactivity of essential

- oil of *Artemisia argyi* Lévl : et Van and its main compounds against *Lasioderma serricorne*. *J. Oleo. Sci.* 63, 829–837.
- **Zhang, Y., Feng, R., Li, L., Zhou, X., Li, Z., Jia, R., ... & Yin, Z. (2018 b)**. The antibacterial mechanism of terpinen-4-ol against *Streptococcus agalactiae*. *Current microbiology*, 75, 1214-1220.
 - **Ziani I., Bouakline H., Yahyaoui M.I., Belbachi Y., Fauconnier M.L., Asehrou A., Tahani A., Talhaoui A. and El Bachir A., (2023)**. The effect of ethanol/water concentration on phenolic composition, antioxidant, and antimicrobial activities of *Rosmarinus tournefortii* hydrodistillation solid residues. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 17 : 1602–1615.
 - **Zouirech, O., Alajmi, R., El Jeddab, H., Allali, A., Bourhia, M., El Moussaoui, A., ... & Derwich, E. H. (2022)**. Chemical composition and evaluation of antifungal and insecticidal activities of essential oils extracted from *Jambosa caryophyllus* (Thunb.) Nied : clove buds. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022(1), 4675016.
 - **Zrira, S., Benjlali, B., Lamaty, G. (1995)**. Effet du séchage à l'air libre des feuilles d'*E. camaldulensis* sur le rendement et la composition de l'huile essentielle. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 15(4), 27-35.
 - **Zuccarini, P. (2009)**. Camphor : risks and benefits of a widely used natural product. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13(2).

A decorative rectangular frame with a double-line border and ornate, curved corners. The word "Annexes" is centered within this frame.

Annexes

Annexe 01

Illustrations des plantes étudiées

Dittrichia viscosa



Artemisia arborescens



Rosmarinus tournefortii



Ziziphus lotus



Annexe 02

Illustrations des insectes cibles

Rhyzopertha dominica



Tribolium castaneum

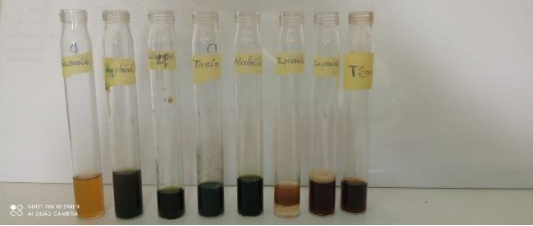
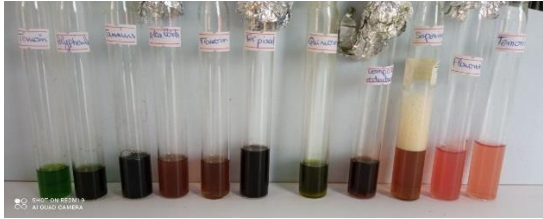
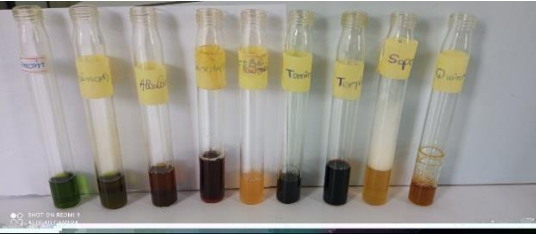
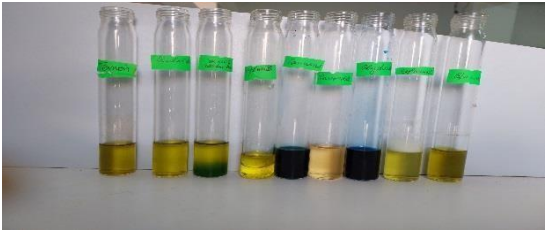


Différents stades de développement de *Tribolium castaneum*



Annexe 03

- Screening phytochimique

<p><i>Dittrichia viscosa</i></p>

<p><i>Rosmarinus tournefortii</i></p>

<p><i>Ziziphus lotus</i></p>

<p><i>Artemisia arborescens</i></p>


Annexe 03

- Résultats des tests Two-way ANOVA pour le temps, concentrations et interaction dans le test de contact des extraits bruts

Factor	^a SS	^b DF	^c MS	^d F (DFn, DFd)	^e P value
<i>Ziziphus lotus</i> X <i>Tribolium castaneum</i> (Ultrasons)					
Interaction	9354	4	2338	F (4, 90) = 5,624	<i>P</i> < 0.0001
Temps	21056	4	5264	F (4, 90) = 40,82	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	12408	5	2481	F (5, 90) = 38,13	<i>P</i> < 0.0001
<i>Dittrichia viscosa</i> X <i>Tribolium castaneum</i> (Ultrasons)					
Interaction	8460	4	2115	F (4, 90) = 4,202	<i>P</i> < 0.0001
Temps	18876	4	4719	F (4, 90) = 39,44	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	11830	5	2366	F (5, 90) = 35,29	<i>P</i> < 0.0001
<i>Ziziphus lotus</i> X <i>Tribolium castaneum</i> (Macération)					
Interaction	8242	4	2061	F (4, 90) = 3,901	<i>P</i> < 0.0001
Temps	20458	4	5114	F (4, 90) = 45,82	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	11010	5	2202	F (5, 90) = 31,17	<i>P</i> < 0.0001
<i>Dittrichia viscosa</i> X <i>Tribolium castaneum</i> (Macération)					
Interaction	6543	4	1636	F (4, 90) = 2,782	<i>P</i> < 0.01
Temps	17900	4	4475	F (4, 90) = 42,10	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	10056	5	2011	F (5, 90) = 28,54	<i>P</i> < 0.0001
<i>Ziziphus lotus</i> X <i>Rhizopertha dominica</i> (Ultrasons)					
Interaction	9158	4	2289	F (4, 90) = 5,846	<i>P</i> < 0.0001
Temps	22134	4	5534	F (4, 90) = 41,92	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	13298	5	2660	F (5, 90) = 37,51	<i>P</i> < 0.0001
<i>Dittrichia viscosa</i> X <i>Rhizopertha dominica</i> (Ultrasons)					
Interaction	8612	4	2153	F (4, 90) = 4,412	<i>P</i> < 0.0001
Temps	20012	4	5003	F (4, 90) = 40,14	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	12388	5	2477	F (5, 90) = 35,06	<i>P</i> < 0.0001

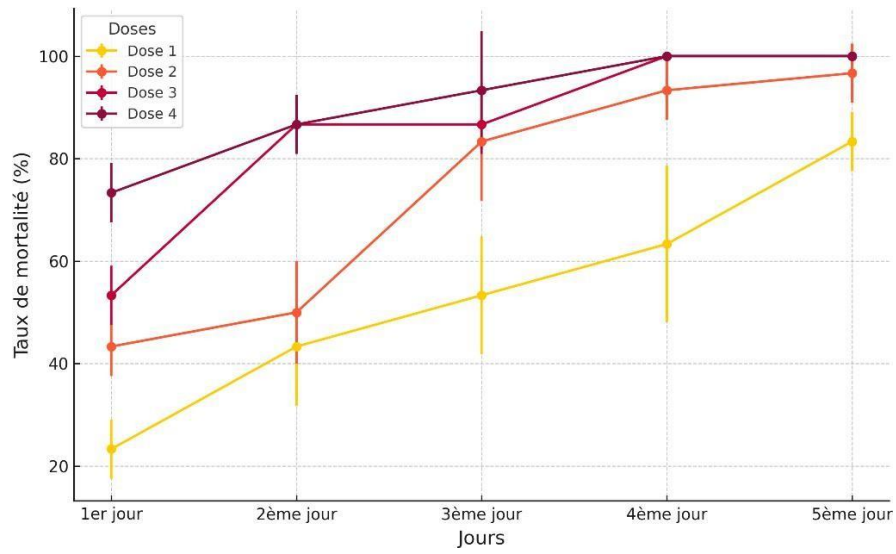
^aSS = Sum of squares, ^bDF = Degrees of freedom, ^cMS = Mean square, ^dF(n = numerator, d = denominator), ^eP = Probability of significance.

- Résultats des tests Two-way ANOVA pour le temps, concentrations et interaction dans le test de contact des extraits bruts

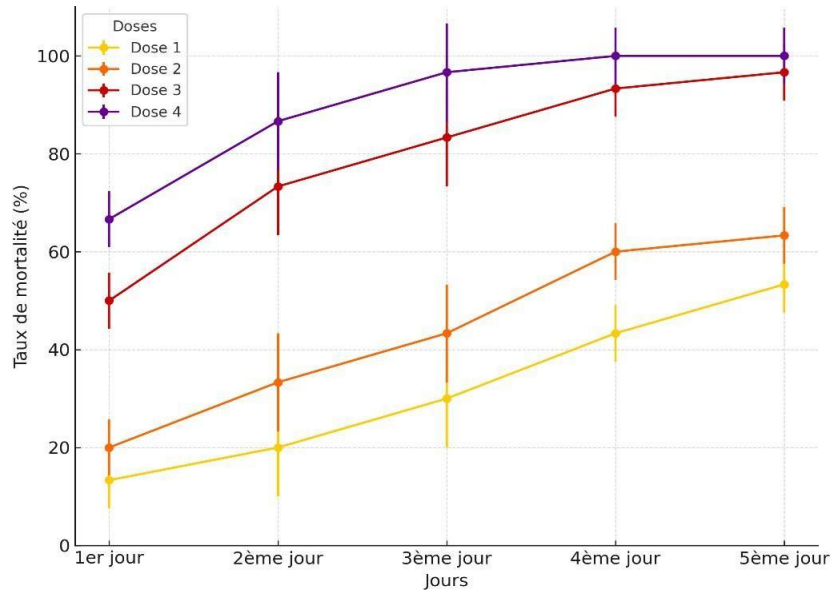
Factor	^a SS	^b DF	^c MS	^d F (DFn, DFd)	^e P value
<i>Ziziphus lotus</i> X <i>Rhizopertha dominica</i> (Macération)					
Interaction	7930	4	1982	F (4, 90) = 3,801	<i>P</i> < 0.0001
Temps	21036	4	5259	F (4, 90) = 42,56	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	11045	5	2209	F (5, 90) = 30,48	<i>P</i> < 0.0001
<i>Dittrichia viscosa</i> X <i>Rhizopertha dominica</i> (Macération)					
Interaction	6254	4	1563	F (4, 90) = 2,670	<i>P</i> < 0.01
Temps	17840	4	4460	F (4, 90) = 42,03	<i>P</i> < 0.0001
Concentrations	9843	5	1968	F (5, 90) = 27,52	<i>P</i> < 0.0001

^aSS = Sum of squares, ^bDF = Degrees of freedom, ^cMS = Mean square, ^dF(n = numerator, d = denominator), ^eP = Probability of significance.

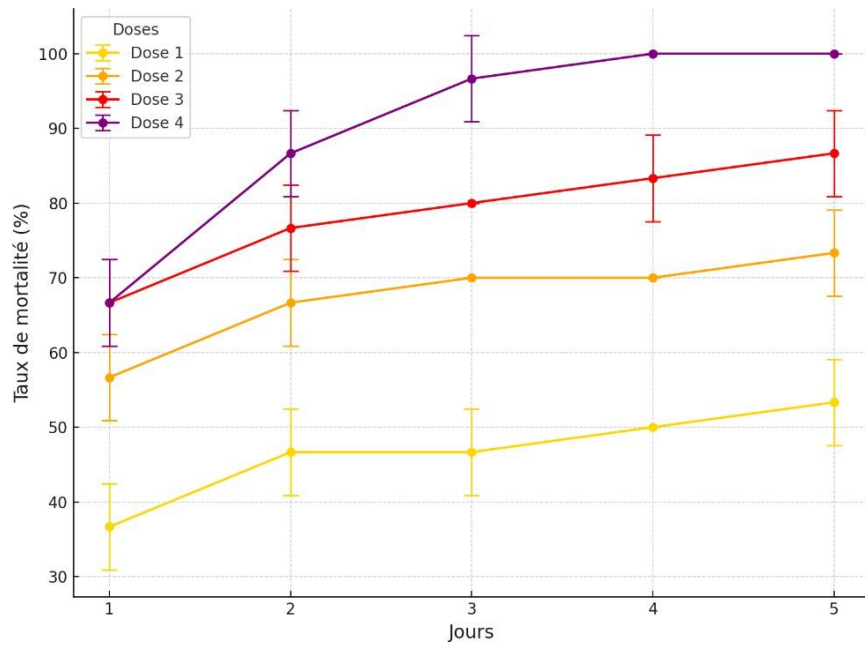
Annexe 05



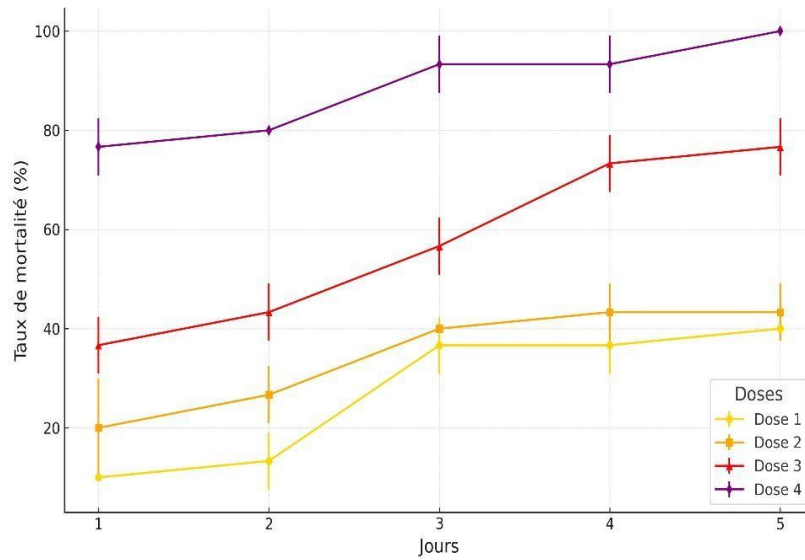
Taux de mortalité (%) des adultes de *T. castaneum* après traitement à l'extrait de *Z. lotus* par Ultrasons



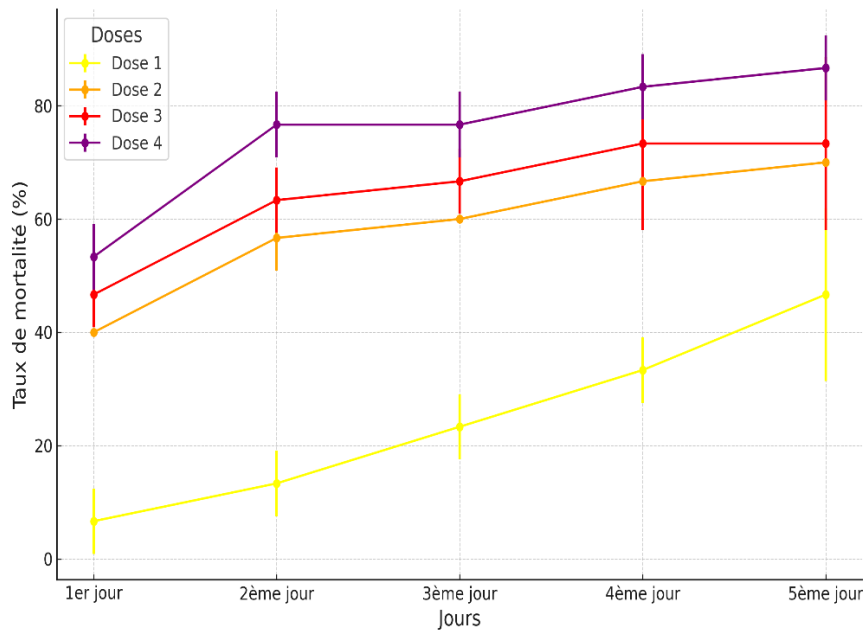
Taux de mortalité (%) des adultes de *T. castaneum* après traitement à l'extrait de *Z. lotus* par macération



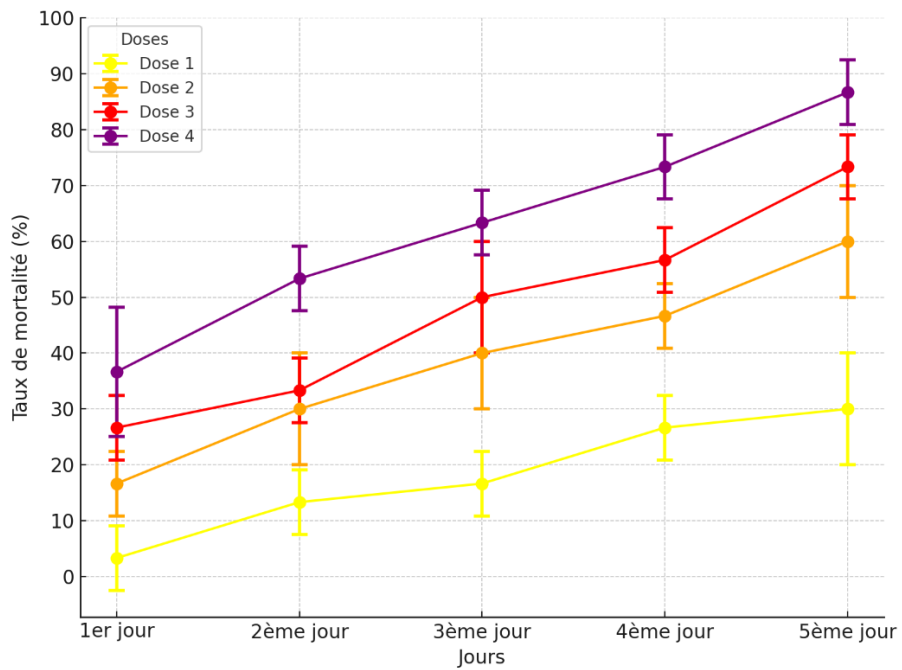
Taux de mortalité (%) des adultes de *T. castaneum* après traitement à l'extrait de *D. viscosa* par Ultrasons



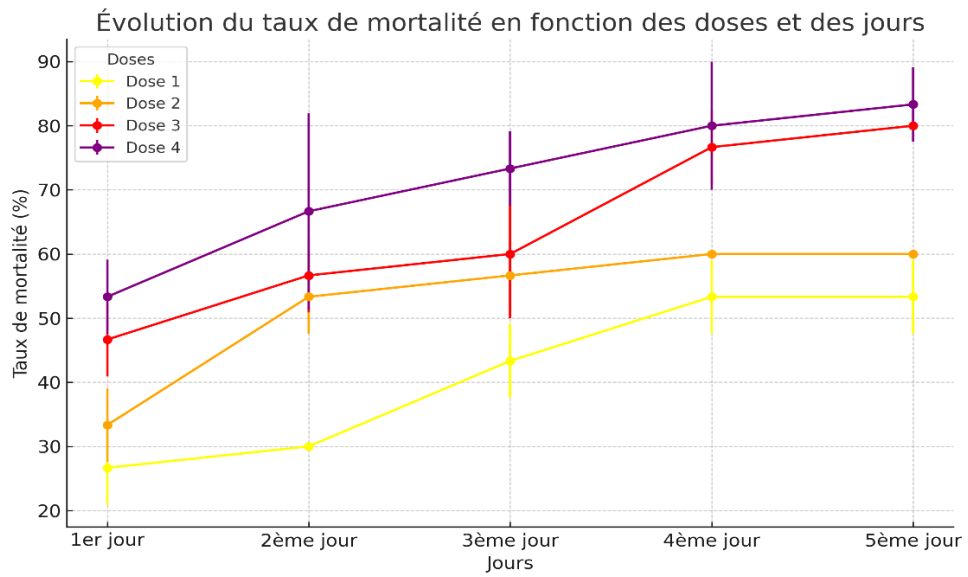
Taux de mortalité (%) des adultes de *Tribolium castaneum* après traitement à l'extrait de *Dittrichia viscosa* par macération



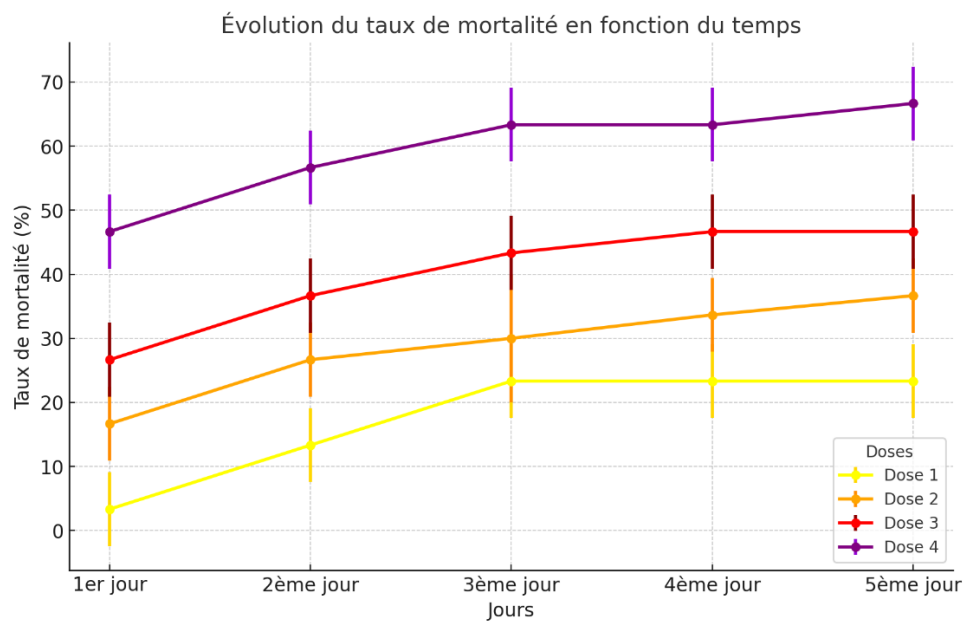
Taux de mortalité (%) des adultes de *R. dominica* après traitement à l'extrait de *Z. lotus* par Ultrasons



Taux de mortalité (%) des adultes de *R. dominica* après traitement à l'extrait de *Z. lotus* par macération



Taux de mortalité (%) des adultes de *R.dominica* après traitement à l'extrait de *D. viscosa* par Ultrasons



Taux de mortalité (%) des adultes de *R.dominica* après traitement à l'extrait de *D. viscosa* par macération



Résumé

Résumé

La préservation des denrées stockées contre les infestations d'insectes nuisibles, tels que *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium castaneum*, constitue un enjeu majeur dans les secteurs agricole et alimentaire. Face aux limites des insecticides chimiques, notre étude vise à explorer le potentiel insecticide de quatre plantes spontanées de la région d'El Hachimia, Wilaya de Bouira (*Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Ziziphus lotus* et *Dittrichia viscosa*), reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques. La démarche expérimentale inclut un screening phytochimique des plantes, suivi de la quantification des polyphénols et des flavonoïdes, ainsi que la caractérisation des huiles essentielles par GC/MS. Les résultats montrent que l'huile essentielle de *A. arborescens* est principalement composée de camphre (46,35 %), suivi par le terpinène-4-ol (6,53%) et le chamazulène (5,06%), tandis que celle de *R. tournefortii* présente une forte proportion de camphre (29,20 %) et de camphène (19,42 %). Ces caractéristiques confèrent à ces huiles une activité insecticide notable, en particulier contre *R. dominica* et *T. castaneum*. Les extraits hydro-éthanoliques ont été obtenus par macération et Ultrasons, et les activités insecticides des huiles essentielles et des extraits bruts ont été évaluées par contact direct contre les deux insectes cibles. Les résultats mettent en évidence des teneurs élevées en polyphénols pour *A. arborescens* ($612,16 \pm 18,60 \mu\text{g EAG/mg}$) et en flavonoïdes pour *R. tournefortii* ($89,24 \pm 10,34 \mu\text{g EQ/mg}$). Les huiles essentielles de *A. arborescens* et de *R. tournefortii* montrent une efficacité insecticide remarquable, atteignant une mortalité totale en quelques jours. Par ailleurs, les extraits hydro-éthanoliques bruts révèlent une activité dose-dépendante, particulièrement notable pour *Z. lotus* avec une mortalité de 100 % au quatrième jour à dose maximale contre *T. castaneum*. En comparaison, les résultats concernant les huiles essentielles montrent que, bien que *R. dominica* soit généralement considéré comme plus résistant, il présente la plus faible CL_{50} , notamment avec l'huile essentielle d'*A. arborescens* ($1,210 \mu\text{l/ml}$), suggérant une sensibilité accrue à cette huile à des concentrations plus faibles. En revanche, *T. castaneum* nécessite des doses plus élevées pour atteindre 50 % de mortalité, ce qui témoigne d'une résistance relative à ces traitements.

Ces résultats soulignent le potentiel des extraits végétaux comme alternatives aux insecticides conventionnels, ouvrant des perspectives pour le développement de bio-insecticides durables et respectueux de l'environnement.

Mots-clés : *Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Ziziphus lotus*, *Dittrichia viscosa*, insectes des stocks, bio-insecticides, *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica*.

Abstract

The preservation of stored food against infestations by harmful insects, such as *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium castaneum*, is a major challenge in the agricultural and food sectors. Given the limitations of chemical insecticides, our study aims to explore the insecticidal potential of four spontaneous plants from the El Hachimia region, Wilaya of Bouira (*Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Ziziphus lotus*, and *Dittrichia viscosa*), which are known for their therapeutic properties. The experimental approach includes a phytochemical screening of the plants, followed by the quantification of polyphenols and flavonoids, as well as the characterization of essential oils by GC/MS. The results show that the essential oil of *A. arborescens* is primarily composed of camphor (46.35%), followed by terpinene-4-ol (6.53%) and chamazulene (5.06%), while *R. tournefortii* essential oil contains a high proportion of camphor (29.20%) and camphene (19.42%). These characteristics contribute to the oils' notable insecticidal activity, particularly against *R. dominica* and *T. castaneum*. The hydro-ethanolic extracts were obtained through maceration and ultrasound, and the insecticidal activities of both essential oils and raw extracts were evaluated by direct contact with the two target insects. The results highlight high polyphenol content in *A. arborescens* ($612.16 \pm 18.60 \mu\text{g EAG/mg}$) and flavonoids in *R. tournefortii* ($89.24 \pm 10.34 \mu\text{g EQ/mg}$). The essential oils of *A. arborescens* and *R. tournefortii* exhibit remarkable insecticidal efficacy, achieving total mortality within a few days. Furthermore, the raw hydro-ethanolic extracts show dose-dependent activity, particularly for *Z. lotus*, with 100% mortality by the fourth day at the maximum dose against *T. castaneum*. In comparison, the results for essential oils show that, while *R. dominica* is generally considered more resistant, it has the lowest CL_{50} , especially with the essential oil of *A. arborescens* ($1.210 \mu\text{l/ml}$), suggesting increased sensitivity to this oil at lower concentrations. In contrast, *T. castaneum* requires higher doses to achieve 50% mortality, indicating relative resistance to these treatments.

These results highlight the potential of plant extracts as alternatives to conventional insecticides, opening perspectives for the development of sustainable and environmentally friendly bio-insecticides.

Keywords : *Artemisia arborescens*, *Rosmarinus tournefortii*, *Ziziphus lotus*, *Dittrichia viscosa*, stored-product insects, bio-insecticides, *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica*.

ملخص

تشكل حماية المواد الغذائية المخزنة من اصابات الحشرات الضارة، مثل *Rhyzopertha dominica* و *Tribolium castaneum*، تحديا رئيسيا في القطاعات الزراعية و الغذائية . و في ظل محدودية فعالية المبيدات الحشرية الكيميائية، تهدف دراستنا الى استكشاف الامكانيات الحشرية لأربع نباتات برية من منطقة الهاشمية، ولاية البويرة (*Artemisia arborescens* ، *Rosmarinus tournefortii* ، *Dittrichia viscosa* و *Ziziphus lotus*) المعروفة بخصائصها العلاجية. تتضمن المنهجية التجريبية اجراء تحليل كيميائي مبدئي للنباتات، متبوعا بتقدير كمية البوليفينولات و الفلافونويدات، اضافة الى توصيف الزيوت الأساسية باستخدام تقنية GC/MS. أظهرت النتائج أن الزيت الأساسي لنبات *A. arborescens* يحتوي بشكل أساسي على الكافور (% 46,35)، يليه التربينين-4- أول (% 6,53) و الكمازولين (% 5,06)، بينما يحتوي زيت *R. tournefortii* على نسب عالية من الكافور (% 29,20) و الكامفين (% 19,42). تمنح هذه الخصائص الزيوت الأساسية نشاطا حشريًا بارزا، خاصة ضد *R. dominica* و *T. castaneum*. تم استخراج المذيبات الهيدرو- ايثانولية باستخدام طريقتي النقع و الموجات فوق الصوتية، و تم تقييم النشاط الحشري للزيوت الأساسية و المستخلصات الخام عبر التلامس المباشر مع الحشرتين المستهدفتين. أظهرت النتائج تركيزات عالية من البوليفينولات في *A. arborescens* ($612,16 \pm 18,60$ ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ ملغ) و الفلافونويدات في *R. tournefortii* ($89,24 \pm 10,34$ ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ ملغ). أظهرت الزيوت الأساسية لكل من *R. tournefortii* و *A. arborescens* فعالية حشرية ملحوظة، حيث وصلت نسبة الوفيات الى % 100 في غضون أيام قليلة. و على صعيد اخر، أظهرت المستخلصات الخام الهيدرو – ايثانولية نشاطا يعتمد على الجرعة، و كان ذلك بارزا بشكل خاص في *Z. lotus* حيث حققت نسبة وفيات بلغت % 100 في اليوم الرابع عند الجرعة القصوى ضد *T. castaneum*. بالمقارنة، تشير النتائج المتعلقة بالزيوت الأساسية الى أنه على الرغم من اعتبار *R. dominica* أكثر مقاومة بشكل عام، إلا أنه يظهر أقل قيمة CL_{50} ، لا سيما مع الزيت الأساسي لـ *A. arborescens* (1,210 ميكرو لتر/مل)، مما يشير الى حساسية متزايدة لهذا الزيت عند تركيزات أقل. و على النقيض، يحتاج *T. castaneum* الى جرعات أعلى للوصول الى نسبة وفيات تبلغ % 50، مما يعكس مقاومة نسبية لهذه المعالجات. تؤكد هذه النتائج امكانيات المستخلصات النباتية كبدائل للمبيدات الحشرية التقليدية، مما يفتح افاقا لتطوير مبيدات حشرية بيولوجية مستدامة و صديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: *Artemisia arborescens* ، *Rosmarinus tournefortii* ، *Dittrichia viscosa* ، *Ziziphus lotus* ، حشرات المخزون، المبيدات الحشرية البيولوجية، *Rhyzopertha dominica* و *Tribolium castaneum*.

