



République Algérienne Démocratique et
populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

Département de biologie moléculaire et cellulaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

THEME

**Évaluation de l'activité insecticide des
extraits et des huiles essentielles d'origine
végétale sur *Tribolium castaneum*.**

Présenté par :

GUELBOU NOUR ECHEMS

ZEHRI FATMA ZOHRA

Fonction	Devant le jury composé de :	Grade	Université
Président	Saadi Hamza	MCA	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued
Examinatrice	Laoufi Hayat	MCB	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued
Encadreuse	Mouane Aïcha	MCA	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued
Co-encadreuse	Bendribem Afaf		

Année Académique : 2025-2026



Dédicace

Louange à Dieu Tout-Puissant qui m'a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour accomplir ce travail, fruit d'un long parcours de fatigue, d'efforts et de persévérance.

Je dédie ce modeste travail aux êtres les plus chers à mon cœur...

À mon père bien-aimé et à ma mère adorée, qui ont toujours été une source d'amour, de soutien et de prières, et qui se sont sacrifiés pour me voir réussir et atteindre cette étape de ma vie. Que Dieu les protège et leur accorde une longue vie, car aucun mot ne pourra exprimer toute ma reconnaissance et mon amour envers eux,

À mon frère unique, mon soutien et mon compagnon de toujours Toi dont la présence a toujours été pour moi une source de force et de réconfort. Merci d'avoir été ce frère attentionné, présent dans mes moments de faiblesse comme dans mes instants de joie. Que Dieu te garde auprès de moi et t'accorde tout le bonheur que tu mérites.

À mes frères et sœurs... À ces âmes si proches de mon cœur. À ceux qui ont été ma joie dans les moments difficiles et mon soutien sans même le savoir. À ces sourires qui allégeaient le poids de la fatigue, et à ces mots simples qui me donnaient la force de continuer

Votre présence dans ma vie est une bénédiction inestimable. Vous êtes cette sécurité après la peur, cette chaleur après la tristesse, et cette joie qui demeure malgré le temps et la distance.

Je prie Dieu pour qu'Il vous garde toujours près de moi et qu'Il préserve à jamais les liens d'amour qui nous unissent.

À ma collègue et partenaire de ce parcours, avec qui j'ai partagé les moments de fatigue, de stress et d'efforts

Merci pour ton soutien, ta patience, ton encouragement et tous les beaux moments de collaboration durant ce travail.

À mes enseignants et professeurs, qui nous ont transmis le savoir avec sincérité et dévouement, et dont les conseils précieux ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

À toutes les personnes qui m'ont soutenue, de près ou de loin, par une parole bienveillante ou une prière sincère.

Et enfin, à moi-même... À cette personne qui a résisté à la fatigue, au doute et aux difficultés sans jamais abandonner. À cette âme qui a cru en ses rêves malgré tous les obstacles

Je dédie cette réussite qui fut un jour un rêve lointain et qui est aujourd'hui une réalité grâce à Dieu.

J'espère que ce travail sera une source de savoir utile et le début d'un avenir rempli de réussite, de bonheur et d'accomplissements.

Fatma zohra



Dédicace

Louange à Allah, dont les bienfaits permettent l'accomplissement de toutes les bonnes œuvres, et qui m'a accordé la force et la patience pour atteindre cette étape après un long effort et une grande persévérance. À moi-même... À cette fille qui a beaucoup enduré, qui a affronté les difficultés en silence et qui n'a jamais abandonné malgré la fatigue. À moi-même qui a cru en ses rêves et a persévéré jusqu'à les réaliser... Je t'offre ce succès, car tu as été assez forte pour continuer le chemin et tu mérites pleinement ce moment de fierté.

À ma chère mère, qu'Allah lui fasse miséricorde et lui accorde Son vaste paradis... À mon âme, à mes prières et à ma nostalgie éternelle, je dédie cette réussite en demandant à Allah d'en faire une lumière dans sa tombe et une élévation de son rang au Paradis.

À mon cher père, qu'Allah lui accorde santé et longue vie... À mon premier soutien, mon pilier inébranlable, et à celui dont les paroles ont toujours été une source de force et de confiance. À mon frère, mon refuge et mon soutien... Merci pour ton soutien constant et ta présence à mes côtés à chaque étape.

À ma chère tante... Mon véritable soutien après Allah, et celle qui a été pour moi une seconde mère par sa tendresse, son affection et ses paroles réconfortantes qui m'ont toujours relevée dans les moments difficiles. Qu'Allah la protège, la bénisse et la récompense grandement.

À ma famille et à mes proches... À tous ceux qui ont été pour moi une aide, une joie et une source de réconfort dans ce parcours.

À mon fiancé, compagnon de route et précieux soutien... Merci pour ta présence, ton écoute et la sérénité que tu m'as apportée dans les moments difficiles. Qu'Allah te préserve et fasse de toi une bénédiction dans ma vie, et nous réunisse dans le bien, l'amour et la sérénité. À mon amie de parcours Fatma... À celle qui a partagé avec moi chaque étape de ce chemin, merci pour ta présence précieuse et ton soutien inoubliable.

À mes amies Noussaïba, Chifa et Nada... À celles dont l'amitié sincère a embelli mes journées et dont la présence a toujours été une source de joie, de réconfort et de paix. Merci pour chaque mot de soutien et chaque beau geste qui restera gravé dans mon cœur.

Et à tous ceux qui m'ont appris quelque chose, soutenue par un mot ou contribué de près ou de loin à ce succès... Je vous dédie ce travail, fruit d'un long effort et de prières sincères.

NOURECHEM





Remerciements

Louange à **Allah**, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons nos vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail.

Nos sincères remerciements s'adressent particulièrement à Monsieur **Saadi Hamza**, Président du jury, ainsi qu'à Madame **Laoufi Hayat**, Examinatrice, pour le temps consacré à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques, suggestions et critiques constructives qui ont contribué à l'amélioration de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promotrice, Madame **Mouane Aïcha**, pour son encadrement précieux, ses conseils avisés, sa disponibilité constante et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier chaleureusement l'assistante **Bendrihem Afaf** ainsi que **Telli Alia** pour leur aide précieuse, leur patience, et leur soutien continu durant toutes les étapes du travail pratique.

Nous adressons une reconnaissance toute particulière à **Sana**, responsable du laboratoire, pour la qualité exceptionnelle de son accueil, son professionnalisme remarquable, ainsi que pour son engagement constant à offrir un cadre de travail rigoureux et favorable.

Nous adressons des remerciements tout particuliers à Monsieur **Amor Khanoufa**, pour sa gentillesse, son esprit de coopération et son aide précieuse au quotidien au sein du laboratoire.

Nos sincères remerciements s'étendent à l'ensemble du personnel du laboratoire pour leur collaboration et leur soutien.

Leur disponibilité et leur sens de l'organisation ont grandement contribué au bon déroulement de la partie expérimentale de ce travail.

Par leur présence et leur disponibilité, ils ont largement facilité les conditions de travail et contribué à la bonne réalisation de ce mémoire.

Nous n'oublions pas d'adresser nos remerciements à tous nos enseignants pour la qualité de la formation qu'ils nous ont dispensée.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos famille pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur patience tout au long de notre parcours.

Liste des abréviations

T. castaneum : *Tribolium castaneum*.

A. campestris : *Artemisia campestris*

M. vulgare : *Marrubium vulgare*

T. serpyllum : *Thymus serpyllum*

DL10 : dose létale qui tue 10% de la population

DL50 : dose létale qui tue 50% de la population.

DL90 : dose létale qui tue 90% de la population

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم النشاط الكيميائي النباتي والبيولوجي لثلاثة نباتات طبية جزائرية هي *Artemisia campestris* و *Marrubium vulgare* و *Thymus serpyllum*، ودراسة فعاليتها ضد حشرة *Tribolium castaneum* باستعمال الزيوت الأساسية والمستخلصات النباتية. تم تحضير المستخلصات واستخلاص الزيوت الأساسية وإجراء التحليل الكيميائي النباتي النوعي، بالإضافة إلى تقدير محتوى المركبات الفينولية والفلافونويدات. كما تم تقييم النشاط الحشري بطرق التماس المباشر والتبخير والطرء، مع متابعة نسب الوفيات خلال فترات تعريض مختلفة وعند تراكيز متعددة. أظهرت النتائج وجود تنوع في المستقبلات الثانوية، حيث تم الكشف عن الفلافونويدات والقلويدات والتانينات والتربينويدات، في حين غابت الفلوباتانينات والفيتوسيترونول عن النباتات المدروسة. كما سجل نبات *Artemisia campestris* أعلى محتوى من الفينولات الكلية (0.351 ± 72.171 $\mu\text{g EAG/mg}$)، يليه *Thymus serpyllum* (0.219 ± 43.186 $\mu\text{g EAG/mg}$) ثم *Marrubium vulgare* (0.938 ± 35.736 $\mu\text{g EAG/mg}$)، بينما أظهر *Thymus serpyllum* أعلى محتوى من الفلافونويدات (0.171 ± 38.980 $\mu\text{g EQ/mg}$). وفيما يتعلق بالنشاط الحشري، بينت قيم DL_{50} أن *Thymus serpyllum* كان الأكثر سمية تجاه الحشرة المدروسة، يليه *Marrubium vulgare*، في حين سجل *Artemisia campestris* أقل سمية. كما ازدادت نسب الوفيات بزيادة التركيز ومدة التعرض، لتصل إلى 100% عند بعض تراكيز *Artemisia campestris*. وتؤكد هذه النتائج وجود علاقة بين الفعالية الحشرية وغنى النباتات بالمركبات الفينولية والتربينويدية، مما يبرز إمكانيتها كمصدر واعد للمبيدات الحيوية الطبيعية والبدائل الصديقة للبيئة في مكافحة الآفات المخزنية.

الكلمات المفتاحية: *Thymus serpyllum*، *Marrubium vulgare*، *Artemisia campestris*، الزيوت الأساسية، خنفساء الدقيق الصدفية (*Tribolium castaneum*)، النشاط الحشري، المبيدات الحيوية.

Résumé

Cette étude a eu pour objectif d'évaluer l'activité phytochimique et biologique de trois plantes médicinales algériennes : *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, ainsi que d'étudier leur efficacité contre *Tribolium castaneum* à l'aide des huiles essentielles et des extraits végétaux. Les extraits ont été préparés, les huiles essentielles ont été obtenues par extraction, puis des analyses phytochimiques qualitatives ont été réalisées en complément du dosage des composés phénoliques totaux et des flavonoïdes. L'activité insecticide a été évaluée par les méthodes de contact direct, de fumigation et de répulsion, en enregistrant les taux de mortalité après 24, 48 et 72 heures d'exposition à différentes concentrations. Les résultats ont révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes, les alcaloïdes, les tanins et les terpénoïdes, tandis que les phlobatanins et les phytostérols étaient absents. *Artemisia campestris* a présenté la teneur la plus élevée en polyphénols totaux ($72,171 \pm 0,351 \mu\text{g EAG/mg}$), suivie de *Thymus serpyllum* ($43,186 \pm 0,219 \mu\text{g EAG/mg}$) et de *Marrubium vulgare* ($35,736 \pm 0,938 \mu\text{g EAG/mg}$), alors que *Thymus serpyllum* a enregistré la teneur la plus importante en flavonoïdes ($38,980 \pm 0,171 \mu\text{g EQ/mg}$). Concernant l'activité insecticide, les valeurs de DL50 ont montré que *Thymus serpyllum* était l'espèce la plus toxique, suivie de *Marrubium vulgare*, tandis qu'*Artemisia campestris* était la moins toxique. Les taux de mortalité ont augmenté avec la concentration et la durée d'exposition, atteignant 100 % à certaines concentrations d'*Artemisia campestris*. Ces résultats suggèrent une relation entre l'activité insecticide et la richesse des plantes en composés phénoliques et terpénoïdes, soulignant ainsi leur potentiel en tant que biopesticides naturels pour la lutte contre les ravageurs des denrées stockées.

Mots-clés : *campestris Artemisia* , *Marrubium vulgare* , *Thymus serpyllum* , huiles essentielles, *Tribolium castaneum*, activité insecticide, biopesticides.

Abstract

This study aimed to evaluate the phytochemical and biological activities of three Algerian medicinal plants, *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare*, and *Thymus serpyllum*, and to investigate their effectiveness against *Tribolium castaneum* using essential oils and plant extracts. The extracts were prepared, essential oils were extracted, and qualitative phytochemical analyses were carried out, in addition to the determination of total phenolic and flavonoid contents. Insecticidal activity was assessed through direct contact, fumigation, and repellent assays by recording mortality rates after 24, 48, and 72 hours of exposure at different concentrations. The results revealed the presence of several secondary metabolites, including flavonoids, alkaloids, tannins, and terpenoids, while phlobatannins and phytosterols were absent. *Artemisia campestris* exhibited the highest total phenolic content ($72.171 \pm 0.351 \mu\text{g GAE/mg}$), followed by *Thymus serpyllum* ($43.186 \pm 0.219 \mu\text{g GAE/mg}$) and *Marrubium vulgare* ($35.736 \pm 0.938 \mu\text{g GAE/mg}$), whereas *Thymus serpyllum* showed the highest flavonoid content ($38.980 \pm 0.171 \mu\text{g QE/mg}$). Regarding insecticidal activity, LD50 values indicated that *Thymus serpyllum* was the most toxic species, followed by *Marrubium vulgare*, while *Artemisia campestris* was the least toxic. Mortality rates increased with increasing concentration and exposure time, reaching 100% at certain concentrations of *Artemisia campestris*. These findings suggest a relationship between insecticidal activity and the richness of plants in phenolic and terpenoid compounds, highlighting their potential as natural biopesticides for the control of stored-product pests.

Keywords: *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare*, *Thymus serpyllum*, essential oils, *Tribolium castaneum*, insecticidal activity, biopesticides.

Liste des figures

Figure1 . Morphologies de <i>Tribolium castaneum</i>	5
Figure2 . Stade des Œufs de <i>Tribolium castaneum</i>	7
Figure 3 . Stade larvaire et morphologie de la larve de <i>Tribolium castaneum</i>	8
Figure4 . Stade nymphal de <i>Tribolium castaneum</i> , montrant la morphologie	8
Figure5 . Morphologie et cycle de vie de <i>Tribolium castaneum</i> (A) Vue frontale de la tête, (B) Vue ventrale de l'adulte, (C) Schéma du cycle de vie (œuf, larve, nymphe, adulte)..	9
Figure6 . Dégâts de <i>T. castaneum</i> sur les denrées stockées.	10
Figure7 . <i>Artemisia campestris</i> – (nom vernaculaire local : Deguft).	21
Figure8 . Les feuilles de <i>Marrubium vulgare</i>	24
Figure9 . <i>Thymus serpyllum</i> L.	27
Figure 10 . Matériel essentiel utilisé au laboratoire.	30
Figure11 . Matériel végétal. (1) <i>Artemisia campestris</i> , (2) <i>Marrubium vulgare</i> et (3) <i>Thymus serpyllum</i>	31
Figure12 . Matériel biologique : adultes de <i>T. castaneum</i>	32
Figure13 . Extraction par hydrodistillation (type Clevenger) de <i>Thymus serpyllum</i>	33
Figure 14 . Extraction par macération et les filtration.....	34
Figure 15 . Tests phytochimiques des trois plantes étudiées.....	38
Figure 16 . La méthode de contact direct	41
Figure17 . La méthode de fumigation	42
Figure18 . Le test de répulsion	42
Figure19 . Extraction d'huile (g), (1) <i>Artemisia campestris</i> , (2) <i>Marrubium vulgare</i> , (3) <i>Thymus serpyllum</i>	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure20 . Teneur totale en composés phytochimiques (µg EAG/mg d'extrait végétal). خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure 21 . Activité antioxydante des extraits végétaux	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure22 . Effet insecticide d'huile essentielle <i>Artemisia campestris</i> sur <i>Tribolium castaneum</i> par contact direct.	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure 23 . . L'effet insecticide d'huile essentielle de <i>Marrubium vulgare</i> Sur <i>Tribolium castaneum</i> par contact direct.	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure24 . L'effet insecticide d'huile essentielle de <i>Thymus serpyllum</i> Sur <i>Tribolium castaneum</i> par contact direct.	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Figure25 . L'effet insecticide d'huile essentielle de <i>Artemisia campestris</i> Sur <i>Tribolium castaneum</i> par fumigation.	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure26 . L'effet insecticide d'huile essentielle de *Marrubium vulgare* Sur *Tribolium castaneum* par fumigation.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure27 . L'effet insecticide d'huile essentielle de *Thymus serpyllum* Sur *Tribolium castaneum* par fumigationخطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure28 . Effet insecticide de l'extrait végétal de *Artemisia campestris* sur *Tribolium castaneum* par contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure29 . Effet insecticide de l'extrait végétal de *Marrubium vulgare* sur *Tribolium castaneum* par contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure30 . Effet insecticide de l'extrait végétal de *Thymus serpyllum* sur *Tribolium castaneum* par contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure31 . L'effet insecticide de l'extrait végétale de *Artemisia campestris* Sur *Tribolium castaneum* par fumigation.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure32 . L'effet insecticide de l'extrait végétale de *Marrubium vulgare* Sur *Tribolium castaneum* par fumigation.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure33 . L'effet insecticide de l'extrait végétale de *Thymus serpyllum* Sur *Tribolium castaneum* par fumigation.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure 34. Droite de régression du taux de mortalité corrigée de *Tribolium castaneum* en fonction des concentrations de l'huile essentielle d'*Artemisia campestris* par la méthode de contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure 35. Droite de régression du taux de mortalité corrigé de *Tribolium castaneum* en fonction des concentrations de l'huile essentielle de *Thymus serpyllum* par la méthode de contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure 36. Droite de régression du taux de mortalité corrigé de *Tribolium castaneum* en fonction des concentrations de l'huile essentielle de *Marrubium vulgare* par la méthode de contact direct.خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure38 . Droite de régression de taux de mortalité cumulé des *Tribolium castaneum* fonction des concentrations d'huile du *Thymus serpyllum*خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure37 . Droite de régression de taux de mortalité cumulé des *Tribolium castaneum* fonction des concentrations d'huile du *Artemisia campestris*.....خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Figure 39 .Droite de régression de taux de mortalité cumulé des *Tribolium castaneum* fonction des concentrations d'huile du *Marrubium vulgare*خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Liste des tableaux

Tableau 1 . Classification du taxonomique <i>Tribolium castaneum</i>	6
Tableau 2. Classification taxonomique d' <i>Artemisia campestris</i> L.....	22
Tableau 3. Classification taxonomique d' <i>Marrubium vulgare</i> L.	25
Tableau 4. Classification taxonomique de <i>Thymus serpyllum</i> L.....	27
Tableau 5. Rendement (%).....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Tableau. 6. Composition phytochimique qualitative des extraits des trois plantes étudiées	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Tableau 7 . Les résultats du dosage des composés phytochimiques	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Tableau 8 . Activité antioxydante des extraits végétaux (DPPH et FRAP) ..	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Tableau 9. Concentrations létales (DL10, DL50 et DL90) des huiles essentielles des plantes étudiées exprimées en µl/l par la méthode de contact direct.....	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.
Tableau 10. Concentrations létales (DL10, DL50 et DL90) des huiles essentielles des plantes étudiées exprimées en µl/l	خطأ! الإشارة المرجعية غير معروفة.

Table des matières

Dédicace

Remerciements

Liste des abréviations

Résumé 8

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Chapitre I : Etude bibliographique sur l'insectes ravageurs des denrées stockées

<u>1.</u> Généralités sur insectes ravageurs des denrées stockées	4
1.1 Définition des insectes des denrées stockées	4
1.2 Les dégâts et les impacts économiques	4
<u>1.</u> Généralités sur <i>Tribolium castaneum</i>	4
1.1 Description générale	4
1.2 Classification taxonomique	5
1.3 Noms vernaculaires	6
1.4 Cycle de vie	6
<u>2.</u> Dégâts causés aux denrées alimentaires	10
<u>3.</u> Méthodes de lutte contre <i>Tribolium castaneum</i>	11
<u>4.</u> Problèmes liés à l'utilisation des insecticides chimiques	12

Chapitre II : Plantes médicinales et huiles essentielles

<u>1.</u> Les plantes médicinales et aromatiques	15
1.1 Généralités sur les plantes médicinales et aromatiques	15
1.2 Importance dans la recherche scientifique et les applications biologiques	15

<u>2.</u> Les huiles essentielles et leur potentiel insecticide.....	16
2.1 Généralités sur les huiles essentielles	16
2.2 Méthodes d'extraction des huiles essentielles	16
☐ Hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger :	16
☐ Distillation à la vapeur (Steam Distillation) :	16
☐ Hydrodistillation assistée par micro-ondes (Microwave-Assisted Hydrodistillation) :	16
☐ Extraction par fluide supercritique au dioxyde de carbone (Supercritical CO ₂ Extraction)	17
☐ Extraction par solvants organiques (Solvent Extraction)	17
2.3 Composition chimique des huiles essentielles	17
2.4 Activités biologiques des huiles essentielles	17
<u>3.</u> Les extraits végétaux	18
3.1 Généralités sur les extraits végétaux	18
3.2 Méthodes d'extraction des composés phytochimiques à partir des plantes	19
3.3 Importance et activités biologiques des extraits végétaux	19
<u>4.</u> Différences entre les huiles essentielles et les extraits végétaux	20
<u>5.</u> Les plantes médicinales	20
<u>5.1</u> <i>Artemisia campestris</i>	20
5.1.1 Description botanique.....	20
5.1.2 Classification taxonomique	22
5.1.3 Noms vernaculaires:	22
5.1.4 Répartition géographique	22
5.1.5 Composition chimique et principaux composés volatils	23
5.1.6 Activité biologique et résistance aux insectes	23
<u>5.2</u> <i>Marrubium vulgare</i>	24
5.2.2 Description botanique	24
5.2.3 Classification Taxonomique	24

5.2.4 Noms vernaculaires	25
5.2.5 Répartition géographique	25
5.2.6 Composition chimique et principaux composés volatils	25
5.2.7 Activités biologiques et résistance aux insectes	26
5.3 <i>Thymus serpyllum L.</i>	26
5.3.1 Description botanique	26
5.3.2 Classification Taxonomique	27
5.3.3 Noms vernaculaires	28
5.3.4 Répartition géographique	28
5.3.5 Composition chimique	28
5.3.6 Activités biologiques et résistance aux insectes	29

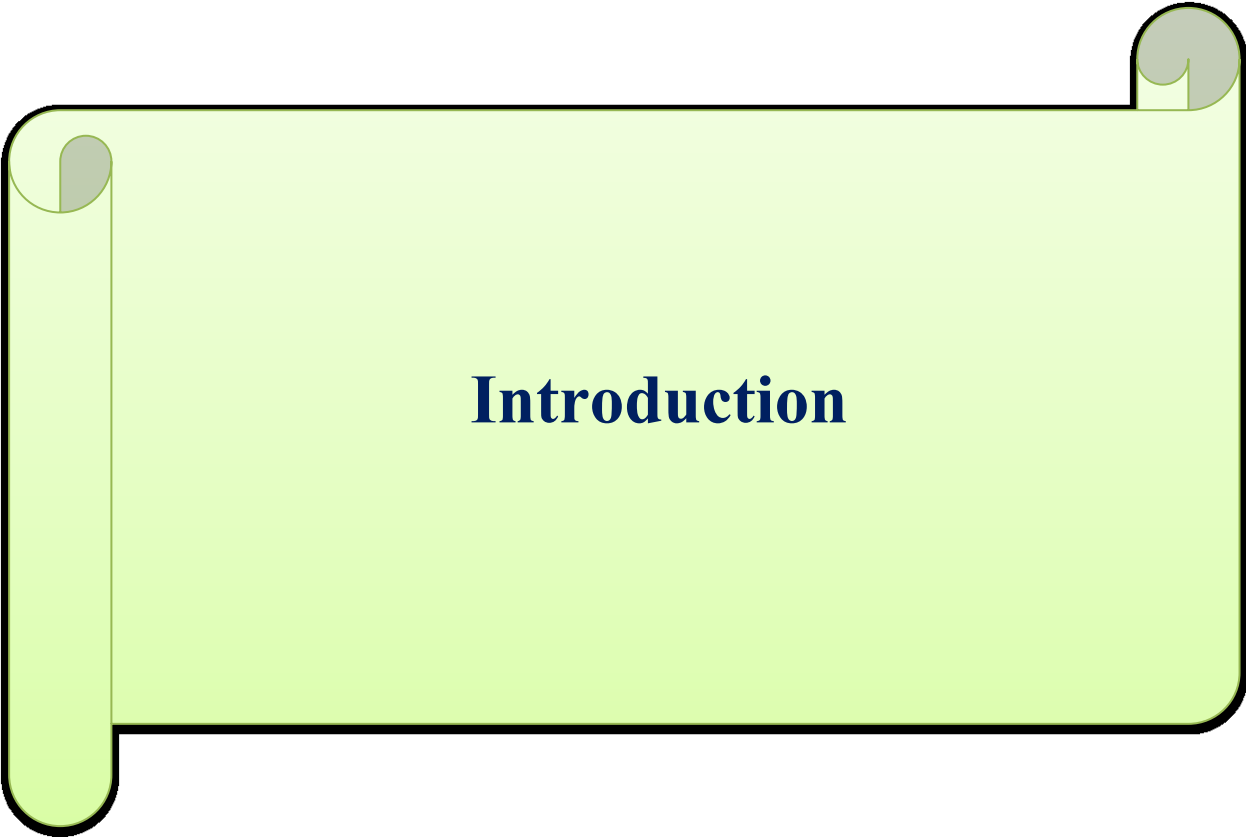
Chapitre III : Matériel et méthodes

□ Matériel et Méthodes :	30
<u>1.</u> Matériel expérimentale	30
1.1 Appareillage.....	30
1.2 Réactifs chimiques	30
<u>2.</u> Matériel biologique	31
2.1 Matériel végétal	31
2.2 Matériel animal	32
<u>3.</u> Méthodes	32
2.1 Préparation du matériel végétal	32
2.2 Extraction des huiles essentielles	33
2.3 Extraction par macération	34
2.4 Tests phytochimiques	34
2.5 Analyse quantitative	38
2.6 Évaluation de l'activité antioxydante	39
2.7 Évaluation de l'activité insecticide des extraits et huiles essentielles végétales...	40

Chapitre IV : Résultats et Discussion

1. Résultats	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.1 Résultats d'extraction des huiles essentielles	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.2 Résultats de l'analyse phytochimique	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.3 Résultats du dosage des composés phytochimiques	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.4 Résultats activité antioxydante	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.5 Evaluation de l'effet insecticide de différentes concentrations d'huile essentielle de <i>Artemisia campestris</i> et <i>Thymus serpyllum</i> et <i>Marrubium vulgare</i> sur <i>Tribolium castaneum</i> .	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
1.6 Evaluation de l'effet insecticide de différentes concentrations d'extrait des trois plantes étudiée sur <i>Tribolium castaneum</i>	خطأ! الإشارة . المرجعية غير معرفة.
1.7 Détermination de la DL 10, DL 50 et DL 90	خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.
<u>2.</u> Discussion	44
2.1 Discussion d'extraction des huiles essentielles	44
2.2 Discussion de l'analyse phytochimique	69
2.3 Discussion de dosage des composés phytochimiques	70
2.4 Discussion de l'activité antioxydante	71
2.5 Evaluation de l'effet insecticide de différentes concentrations d'huile essentielle et extrait de <i>Artemisia campestris</i> et <i>Thymus serpyllum</i> et <i>Marrubium vulgare</i> sur <i>Tribolium castaneum</i> .	72
2.5.1 Traitement par contact direct des huiles	72
2.5.2 Traitement par fumigation des huiles	72
2.5.3 Traitement par contact des l'extraits	73
2.5.4 Traitement par fumigation des l'extraits	74
2.6 Détermination de la DL 10, DL 50 et DL 90	75

• Teste de contact direct	75
□ Fumigation	76
Conclusion	78
Référence Bibliographiques	81



Introduction

Introduction

Les insectes ravageurs des denrées stockées représentent une menace majeure pour la sécurité alimentaire en raison des pertes quantitatives et qualitatives qu'ils provoquent, affectant la qualité nutritionnelle, sanitaire et économique des produits stockés (Chandaragi et *al.*, 2022 ; Garud et *al.*, 2024). Parmi ces ravageurs, *Tribolium castaneum* est considéré comme l'un des principaux insectes nuisibles des céréales et produits dérivés grâce à sa forte capacité de reproduction et son adaptation aux conditions de stockage (Tyagi et *al.*, 2019 ; Abdullahi et *al.*, 2023).

La lutte contre ces ravageurs repose principalement sur les insecticides chimiques. Cependant, leur utilisation intensive a entraîné plusieurs problèmes, notamment le développement de résistances, la contamination de l'environnement et la présence de résidus toxiques dans les denrées alimentaires (Benelli et *al.*, 2020 ; Pavela et *al.*, 2016). Face à ces limites, les recherches s'orientent vers des alternatives naturelles plus sûres et respectueuses de l'environnement.

Les plantes médicinales et aromatiques constituent une source importante de composés bioactifs, tels que les terpènes, les flavonoïdes et les composés phénoliques, reconnus pour leurs propriétés biologiques variées, notamment insecticides et antioxydantes (Dhifi et *al.*, 2016 ; Elbouzidi et *al.*, 2025). Les huiles essentielles et les extraits végétaux peuvent agir sur différentes fonctions physiologiques des insectes et représentent ainsi des candidats prometteurs pour le développement de biopesticides naturels (Isman, 2006 ; Pavela et *al.*, 2016 ; Benelli et *al.*, 2020).

Parmi les espèces présentant un intérêt particulier figurent *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, connues pour leur richesse en métabolites secondaires et pour leurs activités biologiques remarquables (Aćimović et *al.*, 2020 ; Zahnit et *al.*, 2022). L'évaluation de leur activité insecticide repose notamment sur la détermination des doses létales DL10, DL50 et DL90, qui constituent des indicateurs essentiels de leur toxicité et de leur efficacité biologique contre les ravageurs des denrées stockées (Finney, 1971 ; Robertson et *al.*, 2017).

Problématique de l'étude

Dans quelle mesure les huiles essentielles et les extraits végétaux de *Marrubium vulgare*, *Artemisia campestris* et *Thymus serpyllum* possèdent-ils une activité insecticide contre *Tribolium castaneum* selon différents modes d'application contact direct, fumigation et

répulsion, et comment cette activité est-elle influencée par leur composition phytochimique et leur activité antioxydante ?

Hypothèses de l'étude

- Les plantes étudiées renferment des métabolites secondaires bioactifs, notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes et des terpènes, capables d'exercer une activité biologique significative.
- Les huiles essentielles et les extraits végétaux des plantes étudiées présentent une activité insecticide significative contre *Tribolium castaneum* par contact direct, par fumigation et par répulsion.
- Les valeurs des doses létales DL_{10} , DL_{50} et DL_{90} varient en fonction de la nature et de la concentration des composés bioactifs présents dans les plantes étudiées.
- Il existe une corrélation entre la composition phytochimique, l'activité antioxydante et l'activité insecticide des plantes étudiées, qui sera testée par analyse statistique de corrélation.

Objectifs de l'étude

Évaluer le potentiel insecticide des huiles essentielles et des extraits végétaux d'*Artemisia campestris*, de *Marrubium vulgare* et de *Thymus serpyllum* contre *Tribolium castaneum*, et analyser leur relation avec la composition phytochimique et l'activité antioxydante.

Ce travail est composé de quatre chapitres principaux :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur l'insecte *Tribolium castaneum*.
- Le deuxième chapitre traite des généralités sur les plantes médicinales et aromatiques étudiées.
- Le troisième chapitre décrit le matériel utilisé ainsi que les méthodes expérimentales adoptées.
- Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion.

Enfin, ce travail s'achève par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives futures de l'étude.

Chapitre I :

**Etude bibliographique sur
l'insectes ravageurs des denrées
stockées**

1. Généralités sur insectes ravageurs des denrées stockées

1.1 Définition des insectes des denrées stockées

Les insectes des denrées stockées sont des arthropodes qui infestent et détériorent les grains ainsi que divers produits alimentaires durant le stockage, constituant l'une des principales causes de pertes post-récolte (Chandaragi et *al.*, 2022). Ils se répartissent en deux catégories principales : les insectes primaires, capables d'attaquer et de se développer à l'intérieur des grains sains, et les insectes secondaires, qui se nourrissent essentiellement des grains déjà endommagés ou des produits dérivés (Tyagi et *al.*, 2019).

1.2 Les dégâts et les impacts économiques

Les insectes des denrées stockées constituent l'une des principales causes de pertes économiques durant le stockage des produits agricoles. Ils engendrent à la fois des pertes quantitatives, dues à la consommation directe des grains, et des pertes qualitatives liées à la détérioration des produits, à leur contamination par les déjections et les débris d'insectes, à l'apparition de mauvaises odeurs, au changement de couleur ainsi qu'à la diminution de leur valeur nutritive (Chandaragi et *al.*, 2022).

Les pertes post-récolte causées par ces ravageurs sont estimées entre 10 et 30 % de la production agricole, particulièrement dans les pays en développement (Tyagi et *al.*, 2019 ; Sri et *al.*, 2022). L'infestation entraîne également une réduction du poids des grains, une altération de leur qualité commerciale et une diminution de leur pouvoir germinatif (Chandaragi et *al.*, 2022).

Par ailleurs, la présence des insectes favorise le développement de moisissures et accentue la contamination des denrées, aggravant ainsi leur dégradation (Chandaragi et *al.*, 2022). En cas d'infestation sévère, les grains peuvent devenir impropres à la consommation ou à l'ensemencement, ce qui engendre d'importantes pertes financières et un impact négatif sur la sécurité alimentaire (Tyagi et *al.*, 2019).

1. Généralités sur *Tribolium castaneum*

1.1 Description générale

Tribolium castaneum est un insecte coléoptère appartenant à la famille des *Tenebrionidae*, reconnu comme l'un des principaux ravageurs des produits céréaliers stockés (Ahmad et *al.*, 2021 ; Campbell et *al.*, 2022). Il est largement distribué à l'échelle mondiale et constitue une espèce modèle importante en recherche biologique et appliquée. L'adulte est de petite taille, mesurant environ 3 à 4 mm, avec un corps allongé et aplati de couleur brun-rougeâtre. Sa tête est bien visible et porte des antennes terminées en massue, caractéristiques importantes pour son identification (Klingler et Bucher, 2022 ; Campbell et *al.*, 2022). (Fig1) Cette morphologie est adaptée à la vie dans les produits alimentaires secs tels que la farine et les céréales transformées. Les études microscopiques ont montré que cette espèce présente des caractéristiques morphologiques distinctes à différents stades, notamment des larves allongées et des pupes bien définies, ce qui permet une meilleure compréhension de sa biologie et de son développement en conditions de stockage (Deb et Kumar, 2021). Cette espèce est cosmopolite et s'adapte facilement aux environnements de stockage secs et chauds, ce qui explique sa large diffusion dans les denrées alimentaires stockées (Ahmad et *al.*, 2021). Elle est également utilisée comme organisme modèle en recherche scientifique en raison de sa



Figure1 . Morphologies de *Tribolium castaneum* (Baldwin et Fasulo, 2002)

facilité d'élevage et de ses caractéristiques biologiques bien étudiées (Campbell et *al.*, 2022).

1.2 Classification taxonomique

Selon Abdullahi et *al.* (2019) ; Klingler et *al.* (2022) *T. castaneum* occupe la position systématique suivante (Tab.1)

Tableau1 . Classification du taxonomique *Tribolium castaneum*

Niveau taxonomique	Classification
Règne	Animale
Embranchement	Arthropoda
Sous- embranchement	Hexapod
Classe	Insecta
Ordre	Coleoptera
Superfamille	Tenebrionidae
Famille	Tenebrionidae
Sous-famille	Tenebrionidae
Tribu	Triboliini
Genre	<i>Tribolium</i>
Espèce	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst,1797)

1.3 Noms vernaculaires :

Nom français : Tribolium rouge de la farine (Delobel et Tran, 1993)

Nom anglais: Red flour beetle (Campbell et *al.*, 2022)

1.4 Cycle de vie

Tribolium castaneum est un insecte holométabole caractérisé par un cycle biologique complet comprenant quatre stades successifs : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. Cette espèce constitue un modèle biologique de référence dans les études expérimentales grâce à sa facilité d'élevage, à la courte durée de son cycle de développement ainsi qu'à la distinction nette de ses différents stades ontogéniques, ce qui favorise son utilisation dans les recherches en biologie et en entomologie appliquée (Klingler et Bucher, 2022).

➤ Stade œuf

La femelle dépose ses œufs directement dans le substrat alimentaire. Ceux-ci sont de très petite taille, translucides et de couleur blanchâtre. Leur développement est fortement influencé par les conditions environnementales, notamment la température et l'humidité relative. Ainsi, la durée d'incubation peut être courte en conditions optimales, tandis qu'elle peut dépasser dix jours lorsque les conditions deviennent (Fig. 2)

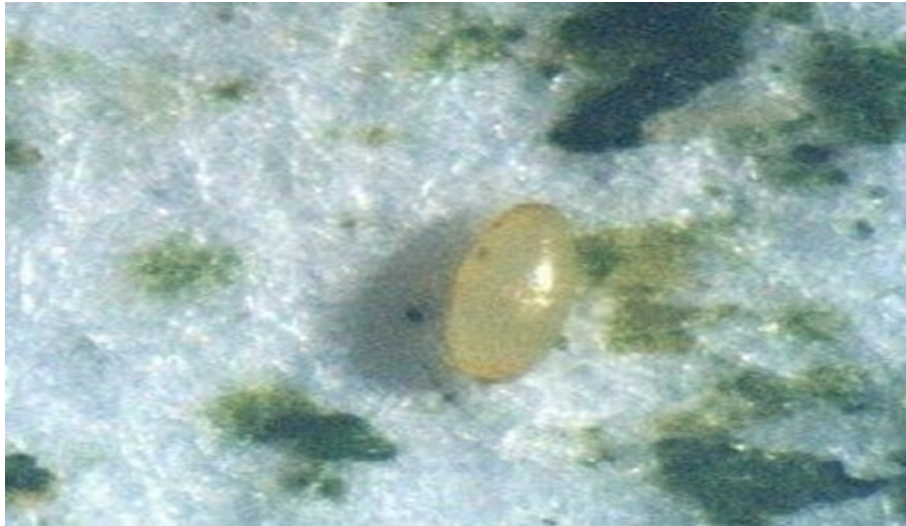


Figure2 . Stade des Œufs de *Tribolium castaneum* (Leelaja, 2006)

➤ **Stade larvaire**

Après l'éclosion, l'individu entre dans le stade larvaire(fig3) , qui constitue la phase la plus



Figure 3 . Stade larvaire et morphologie de la larve de *Tribolium castaneum* (Baldwin et Fasulo, 2002)

longue du cycle biologique. La larve passe par plusieurs stades larvaires successifs, dont le nombre peut varier en fonction des conditions du milieu. Ce stade est particulièrement sensible aux facteurs abiotiques, tels que la température et l'humidité, ainsi qu'à la qualité du substrat alimentaire. Ces paramètres influencent directement la croissance, le nombre d'âges larvaires et l'activité métabolique globale (Issrani et *al.*, 2024 ; Deb et Kumar, 2021).

➤ Stade nymphal

Le stade nymphal correspond à une phase de transition caractérisée par une immobilité et une absence d'alimentation. Sa durée est relativement courte et dépend principalement des conditions thermiques. La nymphe (Fig4) présente des caractères morphologiques distinctifs permettant de différencier les sexes, ce qui constitue une étape importante dans le



Figure4 . Stade nymphal de *Tribolium castaneum*, montrant la morphologie (Baldwin et Fasulo, 2002)

développement de l'insecte.

➤ Stade adulte

Le stade adulte débute à l'issue de la métamorphose, lorsque l'imago émerge avec une coloration claire qui évolue progressivement vers une teinte brun rougeâtre caractéristique (Klingler et Bucher, 2022). La longueur de l'adulte varie entre 2,3 et 4,4 mm, sa couleur est brune rougeâtre, et ses antennes sont composées de 11 segments, dont les trois derniers sont légèrement élargis (Abdullahi et *al.*, 2019 ; Deb et Kumar, 2021) (Fig 5). Les mâles se distinguent par la présence d'une touffe de soies sur la face ventrale du fémur antérieur, et les ailes postérieures sont fonctionnelles, leur permettant de voler (Abdullahi et *al.*, 2019). Les adultes vivent jusqu'à un an, mais la période de ponte reste élevée uniquement pendant les 3 à 4 premiers mois de leur vie (Klingler et Bucher, 2022).

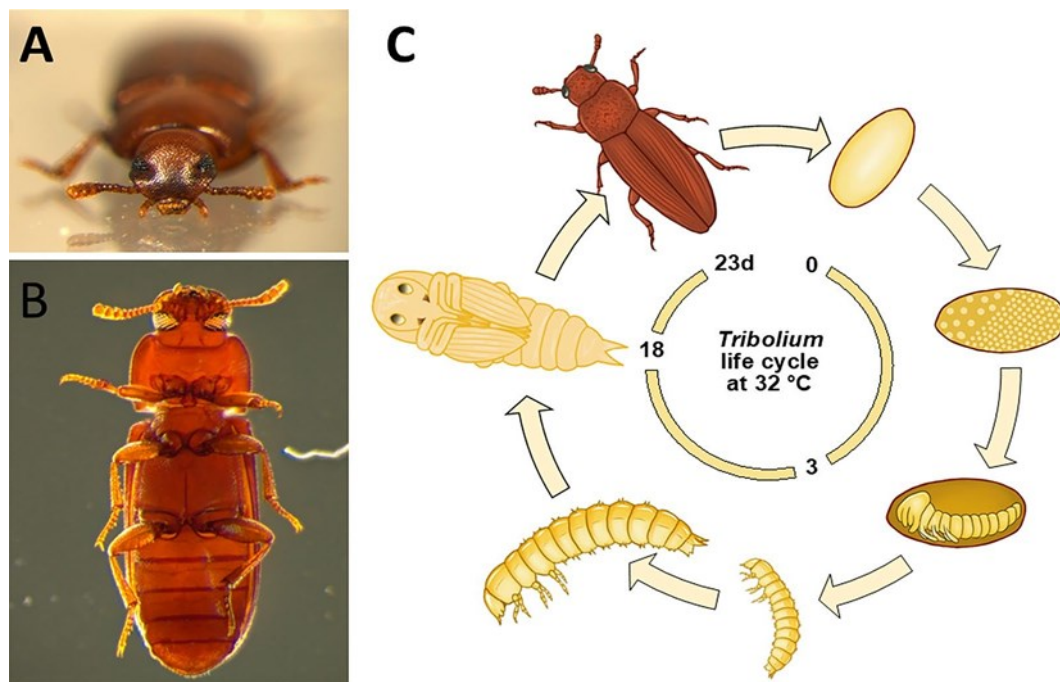


Figure5 . Morphologie et cycle de vie de *Tribolium castaneum* (A) Vue frontale de la tête, (B) Vue ventrale de l'adulte, (C) Schéma du cycle de vie (œuf, larve, nymphe, adulte). (Klingler et Bucher, 2022).

Dans des conditions expérimentales favorables (30°C et 70% d'humidité relative), le cycle biologique complet peut s'achever en 30 à 45 jours, ce qui favorise le chevauchement des générations et contribue à la prolifération rapide des populations (Issrani et *al.*, 2024).

2. Dégâts causés aux denrées alimentaires

Les insectes des denrées stockées constituent l'un des principaux ravageurs affectant la qualité et les quantités des produits agricoles durant le stockage, entraînant des pertes économiques et alimentaires considérables (Stathas et *al.*, 2023).

Ces dégâts se traduisent principalement par des pertes quantitatives résultant de la consommation des grains par les insectes et de leur reproduction au sein des stocks, ce qui entraîne une diminution progressive du poids des produits stockés (Stathas et *al.*, 2023 ; Badran et *al.*, 2025). Ils comprennent également des pertes qualitatives caractérisées par la détérioration des propriétés physiques et organoleptiques des grains et de la farine, telles que la modification de la couleur, de l'odeur et de la texture, ainsi qu'une diminution de la qualité des produits alimentaires. La présence des insectes entraîne aussi la contamination des denrées par leurs fragments et leurs excréments, réduisant ainsi leur valeur nutritionnelle et commerciale (Badran et *al.*, 2025 ; Stathas et *al.*, 2023).

Par ailleurs, certaines études indiquent que *Tribolium castaneum* présente une préférence pour certaines céréales stockées, ce qui favorise la propagation de l'infestation dans les entrepôts et augmente le niveau des dégâts (Awadalla et *al.*, 2023).

De manière générale, ces résultats confirment que *Tribolium castaneum* constitue un ravageur important des denrées stockées, causant des pertes quantitatives et qualitatives significatives des produits agricoles. (Fig 6)



Figure6 . Dégâts de *T. castaneum* sur les denrées stokées (Originale, 2026).

3. Méthodes de lutte contre *Tribolium castaneum*

- **Lutte préventive et hygiène des lieux de stockage :** La lutte préventive constitue la base des méthodes classiques de contrôle de *Tribolium castaneum*. La structure des entrepôts ainsi que la présence de résidus alimentaires influencent fortement la répartition et l'abondance des populations de cet insecte ravageur. Ont montré que la complexité structurelle des zones de stockage et la disponibilité des sources alimentaires réduisent l'efficacité des dispositifs de surveillance. En revanche, l'amélioration des pratiques d'hygiène, l'élimination des résidus alimentaires et la gestion des zones refuges permettent d'optimiser la détection précoce des infestations à l'aide de pièges à phéromones. (Toews et *al.*, 2005).
- **Gestion des denrées alimentaires stockées :** La nature des denrées stockées joue un rôle déterminant dans le développement biologique et la prolifération de *T. castaneum*. Selon Awadalla et *al.*, (2023) certaines céréales, notamment le blé et l'orge, offrent des conditions nutritionnelles favorables entraînant une augmentation de la survie, de la fécondité et des pertes de poids des produits stockés. Ainsi, les méthodes classiques de lutte reposent sur une gestion rationnelle des stocks, incluant l'élimination des grains brisés, la réduction des substrats alimentaires préférentiels et l'adoption de pratiques de stockage appropriées afin de limiter les infestations. (Awadalla et *al.*, 2023) .

- **Lutte chimique conventionnelle :** La lutte chimique demeure l'une des méthodes classiques les plus largement utilisées pour le contrôle de *Tribolium castaneum* dans les systèmes de stockage. Ont mis en évidence l'efficacité élevée de certains insecticides conventionnels, tels que le malathion, contre les adultes de cette espèce. Toutefois, l'utilisation répétée de ces produits est associée à des risques sanitaires et environnementaux, ainsi qu'au développement de phénomènes de résistance chez les populations d'insectes. (El-Deeb et *al.*, 2021).
- **Méthodes physiques et alternatives classiques :** En complément de la lutte chimique, plusieurs méthodes classiques non chimiques sont utilisées dans les entrepôts de stockage. Celles-ci incluent l'emploi de la terre de diatomée, de biopesticides, de substances naturelles ainsi que le recours à l'atmosphère modifiée. Ces méthodes reposent sur des mécanismes physiques ou biologiques et présentent une efficacité variable selon les conditions de stockage, mais elles constituent des moyens complémentaires intégrés aux programmes traditionnels de lutte contre *T. castaneum*. (El-Deeb et *al.*, 2021).
- **La lutte biologique :** en constitue l'une des stratégies modernes et efficaces de gestion des ravageurs. Elle repose sur l'utilisation des organismes vivants naturels afin de réduire les populations d'insectes nuisibles, plutôt que de recourir aux insecticides chimiques. Cette méthode inclut les prédateurs, les parasitoïdes ainsi que les micro-organismes pathogènes tels que les champignons, les bactéries et les virus entomopathogènes, qui contribuent à affaiblir ou éliminer naturellement les populations de ravageurs.

Cette approche s'inscrit dans le cadre de la gestion intégrée des ravageurs (IPM) et vise à préserver l'équilibre écologique, à réduire les impacts négatifs sur la santé et l'environnement, ainsi qu'à limiter l'apparition de résistances chez les insectes aux produits chimiques (Harush et *al.*, 2021).

4. Problèmes liés à l'utilisation des insecticides chimiques

Le recours intensif aux insecticides chimiques pour lutter contre les ravageurs agricoles et ceux des denrées stockées présente de nombreux défis pour l'agriculture moderne, en raison de leurs effets négatifs sur la santé humaine, l'environnement et la durabilité des systèmes de protection. Ces substances présentent une toxicité aiguë et chronique, affectant les fonctions biologiques essentielles via l'inhibition des enzymes nerveuses, le stress oxydatif et les déséquilibres endocriniens, et sont associées à des effets cancérogènes et tératogènes chez les populations vulnérables (Garud et *al.*, 2024 ; Pathak et *al.*, 2022).

L'usage répétitif des insecticides a favorisé le développement de résistances chez de nombreux ravageurs, y compris *Tribolium castaneum*, par l'augmentation de l'activité des enzymes de détoxification et la modification des sites cibles, ce qui conduit à une application de doses plus élevées ou à des molécules plus toxiques (Daraban et *al.*, 2023 ; Garud et *al.*, 2024).

Ces produits contribuent également à la pollution environnementale par leur persistance dans le sol, l'eau et l'air, entraînant une accumulation dans les chaînes trophiques et des effets toxiques sur les organismes non ciblés, perturbant la biodiversité (Pathak et *al.*, 2022 ; Garud et *al.*, 2024). Dans les systèmes de stockage, la complexité des entrepôts et la présence de résidus alimentaires favorisent la survie et la dispersion de *T. castaneum*, limitant l'efficacité des traitements chimiques (Toews et *al.*, 2005).

Face à l'ensemble de ces contraintes, notamment la toxicité, le développement de la résistance, la contamination environnementale et le manque de durabilité, la littérature scientifique récente souligne la nécessité de recourir à des approches alternatives plus sûres et durables. Parmi celles-ci figurent la lutte intégrée, les biopesticides et les substances naturelles d'origine végétale, telles que les huiles essentielles, qui constituent des options prometteuses compatibles avec les exigences de sécurité alimentaire et de protection de l'environnement (Daraban et *al.*, 2023 ; Garud et *al.*, 2024).

Chapitre II :
Plantes médicinales et huiles
essentielles

1. Les plantes médicinales et aromatiques

1.1 Généralités sur les plantes médicinales et aromatiques

Les plantes médicinales et aromatiques sont utilisées comme sources naturelles dans de nombreux secteurs, notamment les industries pharmaceutiques, les cosmétiques, ainsi que les industries agroalimentaires et agricoles (Aksoy, 2025). Ces plantes se distinguent par leur capacité à produire des huiles essentielles, lesquelles constituent un mélange complexe de métabolites secondaires, principalement les terpènes et les phénylpropanoïdes, responsables de leurs propriétés biologiques. Elles contiennent également des composés bioactifs présentant des activités antioxydantes et antimicrobiennes (Nurzyńska, 2023).

Ces plantes revêtent une importance considérable à l'échelle mondiale, puisque les estimations de l'Organisation mondiale de la santé indiquent qu'environ 80 % de la population mondiale dépend de la médecine traditionnelle basée sur les plantes (Aksoy, 2025). Toutefois, ces ressources naturelles font face à des menaces croissantes liées au changement climatique, à la pollution et à la surexploitation, ce qui peut affecter négativement leur diversité et leur durabilité (Shruti et *al.*, 2024).

1.2 Importance dans la recherche scientifique et les applications biologiques

Les plantes médicinales et aromatiques constituent des ressources naturelles d'une grande importance scientifique et économique. Elles se caractérisent par une large diversité biologique ainsi qu'une répartition géographique étendue, ce qui en fait un élément essentiel des écosystèmes et un sujet majeur de la recherche scientifique (Surti et Patel, 2024). Ces plantes se distinguent également par leur capacité à produire des métabolites secondaires bioactifs, tels que les terpènes, les phénols, les flavonoïdes et les huiles essentielles. Ces composés sont responsables de diverses activités biologiques, notamment les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, ainsi que de nombreuses applications thérapeutiques (Salamon, 2024). Par ailleurs, les plantes médicinales et aromatiques présentent une importance considérable dans le domaine de la santé, car elles renferment des composés actifs utilisés dans les traitements traditionnels et modernes. Elles représentent également une source importante pour la découverte et le développement de nouveaux médicaments naturels (Franzen et *al.*, 2025). D'une manière générale, ces plantes constituent une ressource naturelle stratégique qui associe des valeurs écologiques, scientifiques et économiques, ce qui en fait un domaine central dans les études biologiques et la recherche appliquée.

2. Les huiles essentielles et leur potentiel insecticide

2.1 Généralités sur les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de substances naturelles volatiles, extraites de différentes parties des plantes aromatiques telles que les feuilles, les fleurs, les écorces, les fruits ou les graines, généralement par distillation à la vapeur d'eau. Elles sont principalement constituées de composés organiques bioactifs, notamment des monoterpènes, des sesquiterpènes et leurs dérivés oxygénés ou phénoliques. Grâce à leur forte volatilité et à leur richesse en composés actifs, les huiles essentielles présentent une large gamme d'activités biologiques, incluant des effets insecticides, répulsifs et fumigants, ce qui leur confère un potentiel important comme alternatives naturelles aux insecticides de synthèse dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées (Rossi et *al.*, 2021 ; Baldissera et *al.*, 2025).

2.2 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

- **Hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger :**

Cette méthode repose sur l'ébullition de la matière végétale dans l'eau à l'aide d'un appareil de Clevenger, permettant la libération des composés aromatiques volatils entraînés par la vapeur d'eau, puis leur condensation et séparation par décantation. Elle constitue une méthode de référence largement utilisée à l'échelle du laboratoire pour la détermination du rendement en huiles essentielles (Elyemni et *al.*, 2019 ; Boukhatem et *al.*, 2019 ; Salamon, 2024).

- **Distillation à la vapeur (Steam Distillation) :**

Dans cette technique, la vapeur d'eau traverse la matière végétale sans contact direct avec l'eau, ce qui limite l'hydrolyse des composés aromatiques et améliore la qualité des huiles essentielles extraites. Elle est largement appliquée à l'échelle industrielle (Elhafez, 2022 ; Boukhatem et *al.*, 2019 ; Salamon, 2024).

- **Hydrodistillation assistée par micro-ondes (Microwave- Assisted Hydrodistillation) :**

Cette méthode moderne utilise les micro-ondes pour assurer un chauffage rapide et homogène des cellules végétales, provoquant la rupture des parois cellulaires et une libération plus efficace des huiles essentielles, tout en réduisant le temps d'extraction et la consommation énergétique (Elyemni et *al.*, 2019 ; Boukhatem et *al.*, 2019 ; Salamon, 2024).

- **Extraction par fluide supercritique au dioxyde de carbone (Supercritical CO₂ Extraction)**

Cette technique avancée permet l'extraction des huiles essentielles à basse température à l'aide du CO₂ à l'état supercritique, assurant ainsi la préservation des composés thermolabiles et l'obtention d'huiles de haute pureté. Toutefois, son coût élevé limite son utilisation à grande échelle (Elhafez, 2022 ; Boukhatem et *al.*, 2019 ; Salamon, 2024).

- **Extraction par solvants organiques (Solvent Extraction)**

Cette méthode est utilisée dans des cas spécifiques, notamment pour les plantes pauvres en huiles volatiles ou sensibles à la chaleur, mais la présence éventuelle de résidus de solvants constitue un inconvénient majeur (Boukhatem et *al.*, 2019).

2.3 Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques volatils, constitués principalement de terpènes (monoterpènes, sesquiterpènes, diterpènes) et de leurs dérivés oxygénés tels que les alcools, aldéhydes, cétones et esters (Dhifi et *al.*, 2016 ; Aribi, 2024). Elles présentent une grande diversité structurale, incluant également des composés tels que les phénols et certains dérivés non terpéniques issus des phénylpropanoïdes (Bakkali et *al.*, 2008).

Les molécules des huiles essentielles existent souvent sous forme d'énantiomères, ce qui influence leurs propriétés chimiques et biologiques. De plus, leur activité biologique résulte non seulement des composés majoritaires, mais aussi de l'action synergique des composés mineurs (Aribi, 2024 ; Dhifi et *al.*, 2016).

Enfin, la composition chimique des huiles essentielles varie selon l'espèce végétale, les conditions environnementales et les méthodes d'extraction, ce qui explique la diversité de leurs propriétés biologiques (Bakkali et *al.*, 2008).

2.4 Activités biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges naturels complexes de composés volatils extraits de plantes aromatiques et médicinales, connues pour leurs nombreuses activités biologiques. Elles présentent des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antivirales, cytotoxiques et insecticides, ce qui les rend intéressantes comme alternatives aux produits chimiques de synthèse (Bakkali et *al.*, 2008 ; Dhifi et *al.*, 2016 ; Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

Ces activités sont principalement liées à leur composition chimique, notamment les terpènes, terpénoïdes et composés phénoliques, capables d'agir de manière individuelle ou synergique. Les huiles essentielles peuvent neutraliser les radicaux libres, inhiber la croissance des micro-organismes pathogènes et réduire l'inflammation (Dhifi et *al.*, 2016).

Par ailleurs, certaines huiles essentielles présentent des effets cytotoxiques et anticancéreux, tandis que d'autres possèdent une activité insecticide, ce qui les rend utiles dans la lutte contre les ravageurs (Tongnuanchan et Benjakul, 2014).

3. Les extraits végétaux

3.1 Généralités sur les extraits végétaux

Les extraits végétaux sont considérés comme des mélanges complexes de composés bioactifs obtenus à partir de différentes parties de la plante, telles que les feuilles, les fleurs, les racines, les graines et les tiges. Ils renferment de nombreux métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les terpénoïdes et d'autres substances naturelles reconnues pour leurs multiples propriétés biologiques. L'efficacité du procédé d'extraction dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de solvant utilisé, son degré de polarité, la température, la durée d'extraction ainsi que la nature du matériel végétal. Les solvants polaires tels que le méthanol, l'éthanol et les mélanges hydroalcooliques figurent parmi les plus utilisés pour l'extraction des composés phénoliques en raison de leur grande capacité à les solubiliser (Dai et Mumper, 2010).

Les extraits végétaux suscitent un grand intérêt en raison de leurs diverses propriétés biologiques, en particulier leurs activités antioxydantes et antimicrobiennes. Cette efficacité est attribuée à la présence de composés capables de neutraliser les radicaux libres, d'agir sur les membranes cellulaires des microorganismes et d'inhiber certains processus biologiques au sein de la cellule (Álvarez et *al.*, 2021). Par ailleurs, les extraits végétaux représentent des alternatives naturelles prometteuses dans la lutte contre les ravageurs insectes, grâce aux composés actifs qu'ils contiennent et qui possèdent des propriétés toxiques, répulsives et inhibitrices de la croissance des insectes. De nombreuses études ont démontré leur capacité à augmenter les taux de mortalité, à inhiber l'alimentation et la ponte, ainsi qu'à provoquer des perturbations du développement des insectes, ce qui en fait une option importante dans les stratégies d'agriculture durable et de réduction de l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse et de leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé (Dai et Mumper, 2010 ; Álvarez et *al.*, 2021 ; Valdez et *al.*, 2026)

3.2 Méthodes d'extraction des composés phytochimiques à partir des plantes

L'extraction des composés phytochimiques est une étape essentielle dans l'étude des plantes, car elle permet d'isoler des substances bioactives présentes dans différentes parties végétales, telles que les feuilles, les fleurs, les graines ou les racines. Ces composés présentent un intérêt important en raison de leurs propriétés biologiques et pharmacologiques (Bitwell et *al.*, 2023 ; Mondal et *al.*, 2024).

Les méthodes d'extraction se divisent en deux catégories principales : les méthodes conventionnelles, comme la macération, la décoction, l'extraction Soxhlet et l'hydrodistillation, simples mais souvent longues et consommatrices de solvants, et les méthodes modernes, telles que l'extraction assistée par ultrasons (UAE), par micro-ondes (MAE) ou par fluides supercritiques (SFE), plus rapides, plus efficaces et plus respectueuses des composés sensibles (Bitwell et *al.*, 2023 ; Mondal et *al.*, 2024).

Après l'extraction, des techniques de séparation et d'analyse comme la chromatographie (TLC, HPLC) et les méthodes spectroscopiques (UV-Vis, FTIR, RMN, MS) sont utilisées pour purifier et identifier les composés extraits (Mondal et *al.*, 2024). Ainsi, le choix de la méthode dépend de la nature de l'échantillon, des composés ciblés et de l'objectif de l'étude.

3.3 Importance et activités biologiques des extraits végétaux

Les extraits végétaux représentent une source naturelle importante de composés bioactifs, caractérisés par une grande diversité de métabolites secondaires, notamment les polyphénols, les flavonoïdes et les terpénoïdes. Ces molécules sont largement reconnues pour leurs multiples activités biologiques, en particulier leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires. Leur capacité à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène et à limiter le stress oxydatif joue un rôle essentiel dans la protection des systèmes biologiques. En parallèle, ces extraits peuvent inhiber efficacement la croissance et la prolifération de nombreux micro-organismes pathogènes. De ce fait, ils suscitent un intérêt croissant dans divers domaines tels que l'agroalimentaire, la pharmacie et la cosmétique, où ils sont envisagés comme alternatives naturelles aux substances synthétiques (Muntean et Vulpie, 2023 ; Kowalczewski et Zembrzuska, 2023).

Dans un contexte marqué par l'augmentation préoccupante de la résistance bactérienne aux antibiotiques, les extraits végétaux apparaissent comme une source prometteuse de nouveaux

agents antimicrobiens. Leur activité biologique repose sur plusieurs mécanismes d'action, incluant la perturbation de la paroi cellulaire bactérienne, l'altération des processus métaboliques essentiels et la déstabilisation des structures cellulaires, ce qui contribue à leur efficacité contre divers agents pathogènes. Ces propriétés renforcent leur potentiel dans le développement de nouvelles stratégies thérapeutiques alternatives et plus sûres (Angelini, 2024). Par ailleurs, de nombreuses études récentes ont démontré que les extraits végétaux possèdent un spectre d'activités biologiques plus large, incluant des effets insecticides et répulsifs.

Selon Isman (2006), les composés d'origine végétale agissent sur les insectes selon plusieurs modes d'action complémentaires, tels que la toxicité directe, l'effet antifeedant, la répulsion ainsi que l'inhibition du développement et de la reproduction.

4. Différences entre les huiles essentielles et les extraits végétaux

Les huiles essentielles et les extraits végétaux diffèrent principalement par leur mode d'obtention, leur composition chimique et la nature des composés qu'ils contiennent. Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques volatils, généralement obtenus par distillation, et sont riches en molécules aromatiques telles que les terpènes et leurs dérivés, ce qui leur confère des propriétés biologiques spécifiques et une forte concentration en composés actifs (Dhifi et *al.*, 2016).

En revanche, les extraits végétaux sont obtenus par l'utilisation de différents solvants tels que l'eau ou l'alcool afin d'extraire une large gamme de composés chimiques présents dans la plante. Ils contiennent ainsi des molécules polaires et non polaires, notamment les phénols, les flavonoïdes et les alcaloïdes, ce qui leur confère une composition plus diversifiée et représentative de l'ensemble des constituants de la plante (Azwanida, 2015).

D'une manière générale, les huiles essentielles représentent une fraction volatile et spécifique de la plante, tandis que les extraits végétaux constituent un mélange plus large et plus complet de composés naturels.

5. Les plantes médicinales

5.1 *Artemisia campestris*

5.1.1 Description botanique

Artemisia campestris est une plante herbacée vivace semi-arbustive appartenant à la famille des Asteraceae, largement distribuée dans les régions tempérées et semi-arides, notamment

dans le bassin méditerranéen. Elle se développe généralement dans des habitats secs tels que les sols sableux, les terrains rocaillieux et les bords de routes (Dib et *al.*, 2019). Cette espèce est caractérisée par des tiges ramifiées et dressées, pouvant atteindre une hauteur comprise entre 20 et 150 cm. La surface des tiges est lisse dans la partie inférieure et légèrement pubescente dans la partie supérieure, présentant souvent une coloration rougeâtre. Les feuilles sont vertes, initialement soyeuses puis devenant moins pubescentes à maturité, et finement divisées.

Les feuilles basales sont pétiolées et deux à trois fois pennatiséquées, tandis que les feuilles supérieures sont plus réduites, moins divisées ou sessiles. Les fleurs sont petites, de couleur jaune verdâtre, regroupées en inflorescences en panicules constituées de nombreux capitules. Les fleurs centrales sont généralement hermaphrodites ou stériles, tandis que les fleurs périphériques sont femelles. Les fruits sont des akènes ovoïdes dépourvus de pappus. La floraison a lieu généralement entre août et octobre (Mammeri, 2023).

L'espèce est également reconnue pour sa richesse en métabolites secondaires bioactifs, notamment les terpènes, les flavonoïdes, les alcaloïdes et les polyphénols, qui contribuent à ses diverses activités biologiques et pharmacologiques (Dib et *al.*, 2019). (Fig7)



Figure7 . *Artemisia campestris* – (nom vernaculaire local : Deguft) (Benchohra et *al.*, 2022).

5.1.2 Classification taxonomie

Selon Mammeri (2023), la plante *Artemisia campestris* appartient à la famille des Astéracées (Asteraceae), plus précisément à la tribu des Anthemideae et au genre *Artemisia*, qui comprend plus de 350 espèces. Sa classification scientifique est la suivante : Tabl (2)

Tableau 2. Classification taxonomique d'*Artemisia campestris* L.

Niveau taxonomique	Classification
Règne	Plantae
Embranchement	Phanérogames ou Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Eudicots
Sous-classe	Astérides
Ordre	Asterales
Famille	Astéracées
Genre	<i>Artemisia</i>
Espèce	<i>Artemisia campestris</i> L.

5.1.3 Noms vernaculaires:

- Noms français: Armoise rouge, Armoise champêtre, Armoise des champs.
- Noms anglais: Field Wormwood, Field Sagenort, Field Sagewort.
- Noms Arabe : degoufèt, Taguq, tguft, Tadjuq, tedjok Alala, allala (Mammeri, 2023)

5.1.4 Répartition géographique

Artemisia campestris, connue sous le nom d'armoise des champs, est une plante herbacée largement répandue dans l'hémisphère nord. Elle se rencontre naturellement en Europe, notamment en France, en Espagne, en Italie, en Allemagne, en Suède et en Pologne, ainsi que dans certaines régions d'Asie occidentale comme la Turquie et l'Iran, et dans des parties de la Russie et des îles Ryukyu au Japon. De plus, certaines sous-espèces sont présentes en Amérique du Nord, particulièrement aux États-Unis et au Canada, où elles colonisent les prairies et les steppes. Cette large distribution reflète la capacité de l'espèce à s'adapter à divers environnements, allant des plaines sableuses aux régions montagneuses, et illustre

également la diversité génétique entre les populations situées dans différentes zones de répartition (Dib et *al.*, 2019).

5.1.5 Composition chimique et principaux composés volatils

L'huile essentielle extraite d'*A.campestris*, Présente une composition chimique riche en composés volatils actifs, dont la variation dépend de l'origine et du lieu de collecte des échantillons. Dans une étude portant sur des plantes de la région aride de Djelfa, les composés principaux identifiés étaient le β -pinène (20,75 %), le limonène (10,46 %) et le γ -terpinène (10,18 %), des monoterpènes responsables de l'activité antimicrobienne de la plante (Touil et Benrebiha, 2014). Cette diversité dans la composition chimique illustre la capacité d'*A.campestris* à s'adapter à différents environnements et le rôle des variations géographiques dans le contenu en composés volatils.

5.1.6 Activité biologique et résistance aux insectes

Plusieurs études ont montré que les huiles essentielles et les extraits de *A. campestris* possèdent une activité biologique significative contre divers organismes nuisibles. Une étude menée sur l'huile essentielle d'échantillons algériens a révélé que sa composition chimique riche en monoterpènes et cétones, tels que β -pinène, 2-undécanone et limonène, présentait une activité anthelminthique contre *Haemonchus contortus* tant in vitro qu'in vivo, avec une inhibition de l'éclosion des œufs de 100 % à 2 mg/ml et une réduction de 72 % du nombre total de vers après 7 jours (Abidi et *al.*, 2018). Dans une autre étude portant sur des plantes sauvages et cultivées au Maroc, les huiles essentielles ont montré une activité larvicide puissante contre les larves de moustiques *Culex pipiens*, avec une LC_{50} faible (9,79 μ g/ml), ce qui indique le potentiel de la plante pour résister aux insectes vecteurs de maladies (Alami et *al.*, 2023). Par ailleurs, les extraits phénoliques et flavonoïdes de *A. campestris* d'Algérie ont montré une activité antioxydante élevée dans les tests DPPH, ABTS et CUPRAC, renforçant ainsi la capacité biologique de la plante à protéger contre le stress oxydatif et possiblement d'autres organismes nuisibles (Zahnit et *al.*, 2022). Ces résultats combinés indiquent que *A. campestris* possède une polyvalence dans son activité biologique, alliant résistance aux parasites et insectes à une activité antioxydante, ce qui en fait un candidat naturel prometteur pour la lutte contre les ravageurs et pour des applications phytopharmaceutiques.

5.2 *Marrubium vulgare*

5.2.2 Description botanique

Marrubium vulgare est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des *Lamiaceae*, dont la hauteur varie généralement entre 20 et 100 cm (Aćimović et *al.*, 2020). Elle se caractérise par une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales arides et semi-arides, notamment dans les régions méditerranéennes, y compris en Algérie (Mulondo et *al.*, 2023). La plante possède une tige dressée à section quadrangulaire, caractéristique des *Lamiaceae*, recouverte d'une pubescence dense composée de trichomes glandulaires et non glandulaires, lui conférant une teinte grisâtre blanchâtre (Aćimović et *al.*, 2020). Les feuilles sont opposées, de forme ovale à subcirculaire, avec des marges dentées et une surface rugueuse, couvertes d'un duvet dense qui contribue à réduire la perte d'eau et



Figure8 . Les feuilles de *Marrubium vulgare* (Mihoubi et *al.*, 2023).

reflète l'adaptation de la plante aux conditions environnementales difficiles (Aćimović et *al.*, 2020 ; Mulondo et *al.*, 2023) (Fig8). Les fleurs, petites et blanches, sont regroupées en inflorescences axillaires denses de type verticillastre. Le calice est tubulaire muni de dents longues et épineuses, tandis que la corolle est bilabée. La plante se distingue également par la présence de trichomes glandulaires responsables de la sécrétion de métabolites secondaires, ainsi que par des caractéristiques microscopiques telles que des grains de pollen sphéroïdes aplatis, utilisés en taxonomie (Aćimović et *al.*, 2020).

5.2.3 Classification Taxonomie

Solen Aćimović et *al.*, (2020) ; Meyre- Silva et Cechinel- Fiho (2010). (Tab3)

Tableau 3. Classification taxonomique d'*Marrubium vulgare* L.

Niveau taxonomique	Classification
Règne	Plantae
Embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Marrubium</i>
Espèce	<i>Marrubium vulgare</i> L

5.2.4 Noms vernaculaires

-Noms français: Marrube blanc (Boutabia et *al.*, 2020)

-Noms anglais: White horehound (Aćimović et *al.*, 2020).

5.2.5 Répartition géographique

Marrubium vulgare est originaire de la région s'étendant entre le bassin méditerranéen et l'Asie centrale, et il est considéré comme une espèce largement répandue en dehors de son aire d'origine. En effet, cette plante est actuellement présente sur presque tous les continents, grâce à sa grande capacité d'adaptation aux différentes conditions environnementales (Aćimović et *al.*, 2020). Sa présence a été signalée en Europe, dans les régions méditerranéennes et en Asie occidentale, ainsi qu'en Amérique du Nord et en Amérique du Sud, ce qui témoigne de son aptitude à coloniser divers milieux et à s'étendre au-delà de son habitat naturel (Mulondo et *al.*, 2023).

5.2.6 Composition chimique et principaux composés volatils

Plusieurs études récentes sur *Marrubium vulgare* L. ont révélé une grande diversité de composés bioactifs. (Akbulut et *al.*, 2023). Ont identifié des phénylpropanoïdes tels que le forsythoside B, l'actéoside et l'apigénine-7-O-glucoside, ainsi qu'un contenu significatif de marrubiin et des terpènes volatils comme le β -caryophyllène et le β -bisabolène dans l'huile essentielle. D'autres travaux montrent que des acides organiques tels que l'acide malique représentent une part importante des composants phénoliques des extraits (Mssillou et *al.*, 2021). Et que les huiles essentielles de différentes populations naturelles présentent jusqu'à 42 composés dominés par des sesquiterpènes (β -bisabolène) (Mkaddem et *al.*, 2022). De plus, des composés volatils tels que le 3-thujanone, l'eugénol, la menthone et le piperitone ont été

détectés, illustrant la richesse chimique de l'espèce (*M. vulgare*) et son potentiel biopharmaceutique.

5.2.7 Activités biologiques et résistance aux insectes

Marrubium vulgare est une plante médicinale reconnue pour la diversité de ses activités biologiques, attribuées principalement à la richesse de ses huiles essentielles et de ses métabolites secondaires, notamment la *marrubiine*, les flavonoïdes et les composés phénoliques.

Selon la revue de (Aćimović et *al.*, 2020), cette espèce possède de nombreuses propriétés pharmacologiques, parmi lesquelles les activités antioxydante, antimicrobienne, anti-inflammatoire, antidiabétique et hépatoprotectrice. En outre, des études expérimentales ont mis en évidence son potentiel dans la lutte biologique contre les organismes nuisibles. (Salama et *al.*, 2012) ont démontré que l'huile essentielle de *M. vulgare* exerce une activité molluscicide et mosquitocide significative, traduisant une toxicité marquée à l'égard des mollusques aquatiques et des larves de moustiques. Plus récemment, (Bouchaar et Chennib, 2025) ont rapporté un effet répulsif et insecticide notable de cette huile essentielle contre *T. castaneum* et *Callosobruchus maculatus*, deux ravageurs majeurs des denrées stockées. L'ensemble de ces travaux confirme que *M. vulgare* constitue une source prometteuse de composés bioactifs pouvant être valorisés dans les domaines pharmaceutique, agricole et de la protection des denrées stockées.

5.3 *Thymus serpyllum* L.

5.3.1 Description botanique

Thymus serpyllum L est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des *Lamiaceae*, caractérisée par un port subarbus tif rampant et originaire des régions d'Europe du Nord et du Centre (Jarić et *al.*, 2015). Elle se distingue par des tiges rampantes fines, lignifiées à la base, formant un couvert végétal bas dont la hauteur varie entre 2 et 30 cm selon les conditions environnementales (Jalil et *al.*, 2024). Les feuilles sont petites, opposées et de forme elliptique (3–10 mm), pouvant être glabres ou légèrement pubescentes, tandis que les fleurs, de couleur rose à pourpre, sont regroupées en inflorescences terminales de type capitule ou globuleuses (Jarić et *al.*, 2015 ; Jalil et *al.*, 2024).

Les études mettent en évidence une variabilité morphologique liée aux facteurs environnementaux, notamment en ce qui concerne la hauteur de la plante et la forme des



Figure9 . *Thymus serpyllum* L. (Jarić et al., 2015)

inflorescences (Jalil et al., 2024).

La floraison s’étend de mai à septembre et peut se prolonger jusqu’en octobre dans certaines régions. L’espèce se développe dans des milieux secs et ouverts, particulièrement sur des sols sableux et rocheux des zones tempérées d’Europe et d’Afrique du Nord. Les parties aériennes sont principalement utilisées, notamment les sommités fleuries récoltées durant la période de floraison (Jarić et al., 2015). (Fig 9)

5.3.2 Classification Taxonomie

Thymus serpyllum L est une plante aromatique appartenant à la famille des Lamiaceae, largement étudiée pour ses propriétés biologiques. Selon plusieurs travaux scientifiques, sa classification systématique peut être présentée comme suit : (Tab 4) (Marhold et Mártonfi, 1998 ; Jarić et al., 2015 ; Bartolucci et al., 2013).

Tableau 4. Classification taxonomique de *Thymus serpyllum* L

Niveau taxonomique	Classification
Règne	Plantae
Embranchement	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Thymus</i>
Espèce	<i>Thymus serpyllum</i> L

5.3.3 Noms vernaculaires

-Noms français: Thym serpolet (Deham et *al.*, 2021)

-Noms anglais: Wild thyme (Jalil et *al.*, 2024)

5.3.4 Répartition géographique

Thymus serpyllum L. est une sous-arbrisseau vivace originaire des régions d'Europe du Nord et d'Europe centrale (Jarić et *al.*, 2015). Cette espèce appartient au domaine biogéographique paléarctique (Palearctic realm), qui englobe de vastes zones de l'Eurasie ainsi que l'Afrique du Nord (Jalil et *al.*, 2024). Elle a été introduite et cultivée dans plusieurs régions du monde présentant des conditions climatiques favorables, notamment pour l'extraction de ses huiles essentielles et pour l'utilisation de ses parties herbacées dans les domaines alimentaire, médicinal et pharmaceutique.

Le serpolet se développe naturellement dans des milieux secs et rocheux, des plaines sableuses ouvertes ainsi que des prairies (Jarić et *al.*, 2015). Elle se caractérise également par une grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales difficiles, pouvant résister à des températures basses atteignant $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ainsi qu'à la sécheresse et aux vents forts. Elle préfère des sols sableux, bien drainés et relativement secs, ainsi qu'une exposition directe au soleil (Jalil et *al.*, 2024).

5.3.5 Composition chimique

Les huiles essentielles de *Thymus serpyllum* L. sont considérées comme l'un des produits naturels les plus importants, en raison de leur richesse en composés volatils (volatile compound) et en terpènes, qui leur confèrent des propriétés chimiques et biologiques remarquables. La proportion et la nature de ces composés varient en fonction de plusieurs facteurs, notamment la région géographique, les conditions climatiques, le stade de développement de la plante ainsi que la technique d'extraction (Aćimović et *al.*, 2019 ; Elbouzidi et *al.*, 2025).

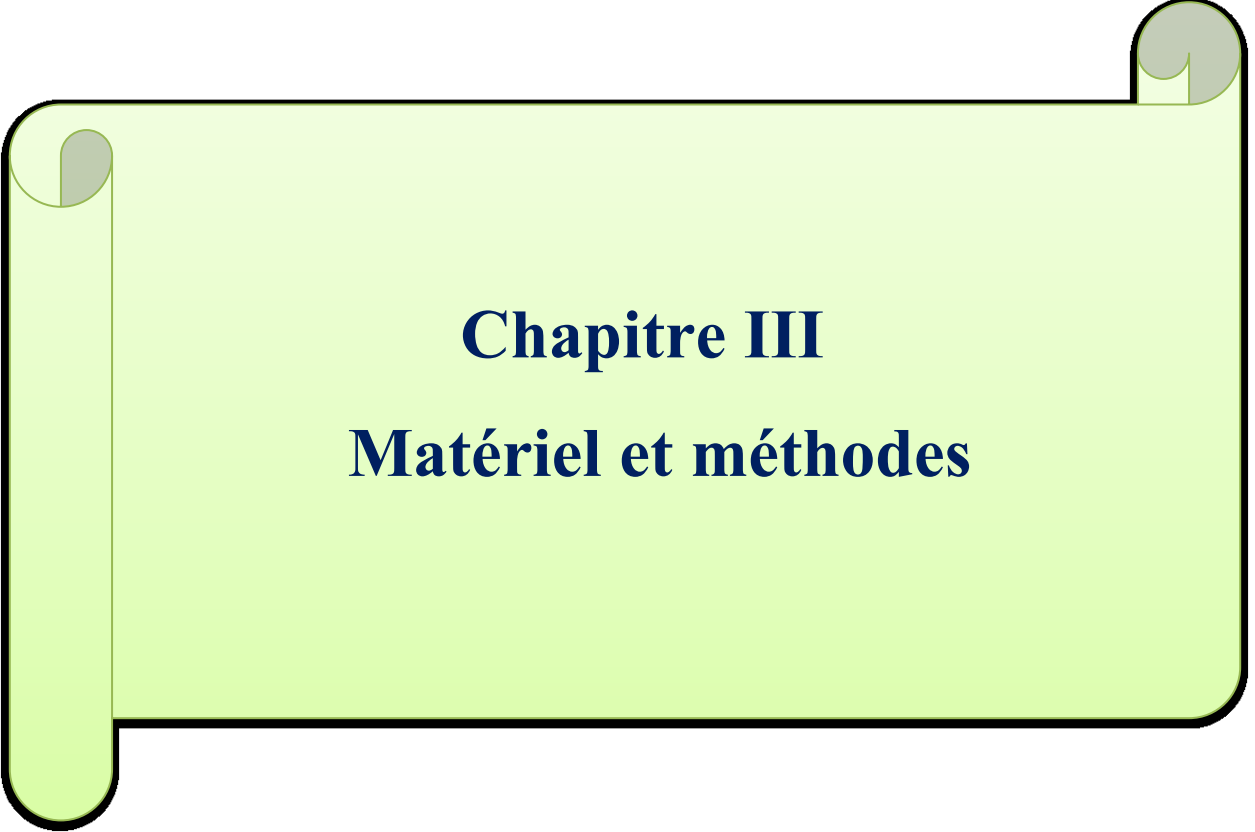
Parmi les principaux composés caractéristiques de cette huile essentielle, on trouve : le thymol (Thymol), le carvacrol (Carvacrol), le linalol (Linalool), le germacrène D (Germacrene D) et le trans-caryophyllène (trans-Caryophyllene) (Aćimović et *al.*, 2019 ; Elbouzidi et *al.*, 2025).

Par ailleurs, le genre *Thymus* est connu pour le phénomène de polymorphisme chimique (chemical polymorphism), caractérisé par la variation des profils chimiques des huiles essentielles entre les espèces, et même au sein d'une même espèce, en fonction des variations des facteurs environnementaux et génétiques (Trendafilova et *al.*, 2023).

5.3.6 Activités biologiques et résistance aux insectes

Thymus serpyllum L. est considéré comme une plante médicinale et aromatique caractérisée par diverses activités biologiques importantes, notamment une activité insecticide, antimicrobienne et antioxydante (Elbouzidi et *al.*, 2025 ; Mrkonjić et *al.*, 2024). Cette plante est traditionnellement utilisée en raison de ses propriétés lui conférant une efficacité contre certains ravageurs agricoles et dans la limitation de leur propagation. Elle est également reconnue pour ses propriétés antimicrobiennes, incluant des activités contre les bactéries et les champignons, y compris certaines souches résistantes aux traitements conventionnels (Mrkonjić et *al.*, 2024 ; Elbouzidi et *al.*, 2025).

En outre, le serpolet présente une activité antioxydante permettant de réduire l'effet des radicaux libres, ce qui lui confère une importance particulière dans les domaines médical et alimentaire (Elbouzidi et *al.*, 2025 ; Mrkonjić et *al.*, 2024).



Chapitre III

Matériel et méthodes

➤ Matériel et Méthodes :

Ce travail expérimental a été réalisé au laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université d'El Oued, où l'ensemble du matériel et des réactifs nécessaires ont été mis à disposition pour la réalisation des différentes analyses.

1. Matériel expérimentale

1.1 Appareillage

Les équipements utilisés au cours de cette étude sont les suivants:

Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger, Balance électrique, Spectrophotomètre UV-Visible, Bain-marie, Agitateur magnétique, pH-mètre, Micropipettes, Tubes à essai, Bêchers, Erlenmeyers, Entonnoir et papier filtre, Réfrigérateur (4°C), Congélateur (20°C- 80°C), Evaporateur rotatif (Rotavapor), Lyophilisateur, Etuve ventilée, Broyeur électrique, Boîtes de pétri, Centrifugeuse, Micropipette, Embouts jaunes et bleus, Microscope optique, Coton, Fil, Papier aluminium, Etiquettes et ciseaux (fig10)



Micropipette

Coton

Balance électrique



pH-mètre

Bain-marie

Spectrophotomètre UV

Figure 10. Matériel essentiel utilisé au laboratoire (Originale, 2026).

1.2 Réactifs chimiques

Les réactifs chimiques suivants ont été utilisés pour les tests qualitatifs et les dosages :

Éthanol, Méthanol, Mélange hydroéthanolique (éthanol /eau 80 :20, v/v), Chlorure ferrique (FeCl_3), Réactif de Dragendorff, Réactif de Mayer, Réactif de Fehling (A et B), Réactif de Shinoda, Acide sulfurique (H_2SO_4), a Tocophérol, Qurcétine Acide chlorhydrique (HCl), Eau distillée, Hydroxyde de sodium (NaOH), Chloroforme, molybdate d'ammonium, molybdate Acétate de cuivre, vanilline, Dpph(2,2- diphénoyl-1-picrylhydrazyle), BHA et BHT, Ferricyanure de potassium($\text{K}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6$), Acide trichloracétique (TCA), Tampon phosphate (ph 6.6), Magnésium, Tampon acétate d'ammonium, Tween 20% et huile végétale (alimentaire) .

2. Matériel biologique

2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de trois espèces : *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*. (Fig11).

Les plantes ont été récoltées dans différentes régions de l'Est algérien. L'espèce *Thymus serpyllum* (communément appelée « Zaâitra ») a été collectée dans la région d'El Kala wilaya d'El Tarf, (nord-est algérien) le 15 novembre 2025.

Quant à *Artemisia campestris* et, *Marrubium vulgare* elles ont été récoltées dans la région de Tébessa (Est algérien) le 25 octobre 2025

Les parties aériennes (feuilles et tiges) ont été séchées à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité, puis broyées afin d'obtenir une poudre fine.



Figure11 . Matériel végétal. (1) *Artemisia campestris*, (2) *Marrubium vulgare* et (3) *Thymus serpyllum* (Originale 2026)

2.2 Matériel animal

Des adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) ont été utilisés dans cette étude, en raison de son importance en tant qu'insecte ravageur des denrées stockées.

Les insectes ont été élevés dans des récipients appropriés (en verre et en plastique) contenant un substrat alimentaire composé de blé et de farine, dans des conditions de laboratoire proches de celles du stockage naturel des denrées. (Fig12)

Ils ont été maintenus à température ambiante, dans des conditions favorables à leur développement et à leur reproduction, permettant ainsi d'obtenir des individus actifs et



Figure12 . Matériel biologique : adultes de *T. castaneum* (Originale, 2026).

homogènes pour les essais expérimentaux.

2. Méthodes

2.1 Préparation du matériel végétal

Le matériel végétal frais a été séché dans une pièce sombre et bien aérée, à l'abri de la lumière directe du soleil, à une température variant entre 18 et 25 °C, sur du papier blanc propre. Ce séchage vise à réduire la teneur en humidité et à éviter toute fermentation microbienne ou développement de moisissures pouvant altérer la qualité de la matière végétale.

Après séchage complet, la matière végétale est divisée en deux parties : une partie est broyée à l'aide d'un broyeur afin d'obtenir une poudre fine utilisée pour la préparation des extraits, tandis que l'autre partie est conservée à l'état sec pour l'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation.

2.2 Extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger, selon le principe décrit par J. F. Clevenger (1928).

L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée par la méthode d'hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. (Fig13). Ainsi, 100 g de matière végétale sèche ont été introduits dans un ballon contenant 800 mL d'eau distillée afin d'assurer une immersion complète du matériel végétal. Ensuite, le mélange a été porté à ébullition pendant 3 heures, ce qui a permis la production d'une vapeur d'eau chargée en composés volatils. Par la suite, les vapeurs ont traversé le réfrigérant où elles se sont condensées, permettant l'obtention d'un distillat constitué d'eau et d'huile essentielle. Enfin, l'huile essentielle a été séparée de la



Figure13 . Extraction par hydrodistillation (type Clevenger) de *Thymus serpyllum* (Originale, 2026)

phase aqueuse puis conservée dans des flacons en verre ambré à une température de 4 °C jusqu'à son utilisation.

2.3 Extraction par macération

Un solvant hydroéthanolique (80 :20, v/v) est préparé en mélangeant de l'éthanol absolu avec de l'eau ultrapure.

- **Procédure d'extraction**

50 g de poudre végétale sont pesés et transférés dans un erlenmeyer. 500 mL de solvant sont ajoutés (rapport 1 :10 p/v). Le mélange est agité à 150 rpm pendant 24 h à température ambiante.

Après filtration, le résidu est réextrait deux fois, puis les filtrats sont combinés. (Fig14)

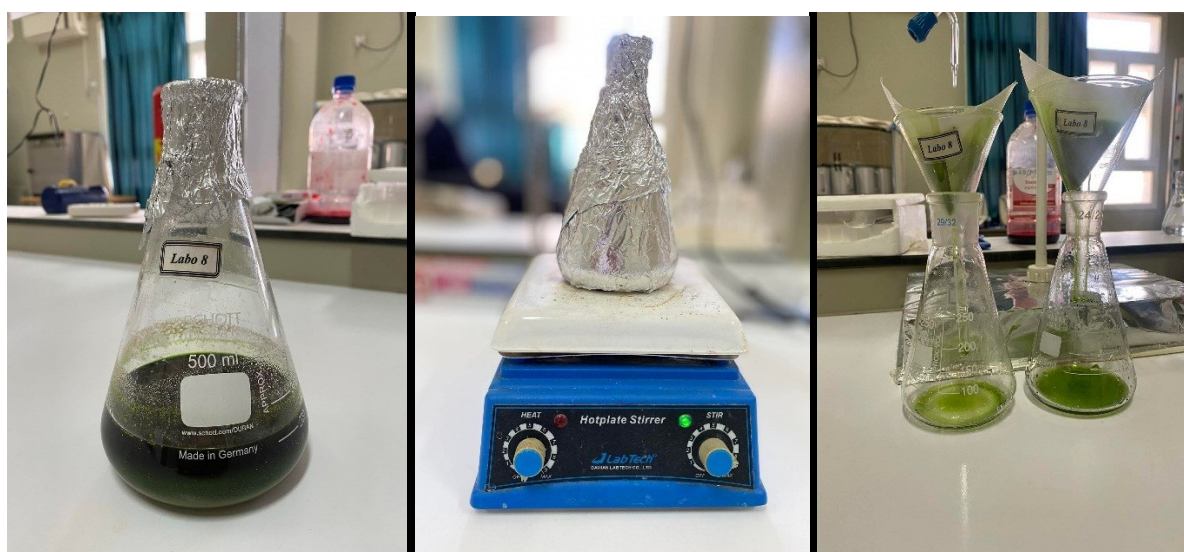


Figure 14. Extraction par macération et les filtration (Originale, 2026)

- **Concentration**

L'extrait est concentré par évaporation sous pression réduite (30–40°C, 150–200 mbar).

- **Séchage**

Séchage en étuve à 40°C jusqu'à poids constant.

2.4 Tests phytochimiques

Dans un premier temps, une série de tests qualitatifs rapides a été réalisée afin d'identifier de manière préliminaire les principales classes de composés phytochimiques présentes dans les différents extraits étudiés. (Fig15).

1. Flavonoïdes

La détection des flavonoïdes a été effectuée à l'aide de trois méthodes complémentaires :

-Test de Shinoda: À 1 mL de chaque extrait, quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré ainsi que des copeaux de magnésium ont été ajoutés. L'apparition d'une coloration rouge, rose ou orangée indique la présence de flavonoïdes (Kachkoul et *al.*, 2018, modifié).

-Test au FeCl_3 : L'ajout de quelques gouttes d'une solution de chlorure ferrique à 1 mL d'extrait entraîne la formation d'un précipité rouge noirâtre en cas de présence de flavonoïdes (Archana et *al.*, 2012, modifié).

2. Alcaloïdes

La mise en évidence des alcaloïdes a été réalisée en utilisant simultanément les réactifs de Mayer et de Dragendorff. À 3 mL d'extrait, 5 mL d'HCl à 1 % ont été ajoutés, puis le mélange a été chauffé au bain-marie. Après refroidissement et filtration, le filtrat a été réparti dans deux tubes, auxquels ont été ajoutées 5 à 10 gouttes de chaque réactif.

La formation d'un précipité rouge-brun (Dragendorff) ou blanc-jaunâtre (Mayer) confirme la présence d'alcaloïdes (Evans et *al.*, 2002, modifié).

3. Tanins

-Test au FeCl_3 : L'ajout de 2 mL de FeCl_3 à 5 % à 1 mL d'extrait entraîne une coloration noir verdâtre (tanins condensés) ou bleu foncé (tanins hydrolysables) (Evans and Trease, 1989, modifié).

-Test alcalin: L'ajout de 2 mL de NaOH 1N à 2 mL d'extrait donne une coloration jaune en présence de tanins (De et *al.*, 2010, modifié).

4. Saponosides

La présence de saponosides a été évaluée par le test de mousse. Deux millilitres d'extrait ont été mélangés avec 2 mL d'eau distillée puis agités vigoureusement pendant 15 secondes. Après un repos de 15 minutes, la hauteur de la mousse persistante a été mesurée :

< 1 cm : absence

= 1 cm : présence modérée

1 cm : forte présence

(Richardson and Harborne, 1985, modifié).

5. Terpénoïdes

À 5 mL d'extrait ont été ajoutés 2 mL de chloroforme puis 3 mL d'acide sulfurique concentré le long de la paroi. L'apparition d'un anneau brun rouge indique la présence de terpènes (Ismail et *al.*, 2016 «modifié»).

6. Quinones

L'ajout de 1 mL d'acide sulfurique concentré à 1 mL d'extrait provoque une coloration rouge caractéristique des quinones (Ali et *al.*, 2018, modifié).

7. Coumarines

L'addition de 1 mL de NaOH à 10 % à 1 mL d'extrait induit une coloration jaune indiquant la présence de coumarines (Ali et *al.*, 2018, modifié).

8. Stérols (Test de Salkowski)

Deux millilitres d'extrait ont été mélangés avec 5 mL de chloroforme, puis 1 mL d'acide sulfurique concentré a été ajouté. L'apparition d'une phase brun-rougeâtre confirme la présence de stérols.

9. Stéroïdes et phytostéroïdes

Après mélange de 1 mL d'extrait avec 1 mL de chloroforme, quelques gouttes d'acide sulfurique concentré ont été ajoutées :

Anneau brun : stéroïdes

Anneau bleu-brunâtre : phytostéroïdes

10. Hétérosides cardiotoniques (Test de Keller-Killiani)

À 5 mL d'extrait, un mélange contenant 2 mL d'acide acétique glacial avec une goutte de FeCl_3 et 1 mL d' H_2SO_4 concentré a été ajouté. La formation d'un anneau brun à l'interface indique un résultat positif.

11. Phlobatannins

Deux millilitres d'extrait ont été mélangés avec 2 mL d'HCl à 1 %, puis portés à ébullition. L'apparition d'une coloration rouge confirme leur présence.

12. Anthocyanes et bétacyanines

Après mélange de 2 mL d'extrait avec 1 mL de NaOH 2N et chauffage à 100°C pendant 5 minutes :

Couleur bleu-vert : anthocyanes

Couleur jaune : bétacyanines

13. Glucides (Test de Molisch)

Trois millilitres d'extrait ont été mélangés avec quelques gouttes d' α -naphtol, puis 0,2 mL d' H_2SO_4 concentré ont été ajoutés. L'apparition d'un anneau violet indique la présence de glucides.

14. Sucres réducteurs (Test de Fehling)

Un mélange de 1 mL d'extrait, 1 mL de Fehling A et 1 mL de Fehling B a été chauffé au bain-marie pendant 5 à 10 minutes. L'apparition d'un précipité rouge brique confirme la présence de sucres réducteurs.

❖ Préparation des solutions

HCl 2 % : 1,44 mL d'HCl concentré complétés à 100 mL avec de l'eau distillée.

NaOH 10 % : Dissolution de 10 g de NaOH dans 100 mL d'eau distillée.

NaOH 2N : Dissolution de 8 g de NaOH dans 100 mL d'eau distillée ($M = 40 \text{ g/mol}$).

HCl 1 % : 0,72 mL d'HCl concentré complétés à 100 mL.

FeCl_3 concentré : 100 g de FeCl_3 dissous dans 100 mL d'eau distillée.

FeCl_3 5 % : 5 g de FeCl_3 dans 100 mL d'eau distillée.



Figure 15. Tests phytochimiques des trois plantes étudiées (Originale, 2026)

2.5 Analyse quantitative

- **Dosage des polyphénols totaux**

La teneur en polyphénols totaux des extraits végétaux a été déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu (Singleton and Rossi, 1965 modifié). Un volume de 200 μL de chaque extrait (1 mg/mL) a été mélangé avec 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu préalablement dilué 10 fois avec de l'eau distillée. Après une incubation de 4 minutes à température ambiante, 800 μL d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % ont été ajoutés. Le mélange a ensuite été incubé à l'obscurité pendant 2 heures. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

- **Dosage des flavonoïdes totaux**

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée par la méthode au trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (Mbaebie et *al.*, 2012 modifié). Un volume de 0,5 mL d'extrait a été mélangé avec 0,5 mL d'une solution d' AlCl_3 à 2 %. Le mélange a été incubé pendant 1 heure à température ambiante, puis l'absorbance a été mesurée à 420 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

- **Dosage des flavonols**

La teneur en flavonols a été déterminée selon la méthode au trichlorure d'aluminium (Benmeddour et *al.*, 2013 modifié). Un volume de 0,5 mL d'extrait a été mélangé avec 0,5 mL de solution d' AlCl_3 (2 %) et 1,5 mL de solution d'acétate de sodium (5 %). Après une incubation de 2,5 heures à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 440 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

- **Dosage des proanthocyanidines**

La teneur en proanthocyanidines (tanins condensés) a été déterminée par la méthode à la vanilline (Adedapo et *al.*, 2008 modifié). Un volume de 0,5 mL d'extrait a été mélangé avec 3

mL d'une solution de vanilline (4 %) et 1,5 mL d'acide chlorhydrique concentré. Après une incubation de 15 minutes à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

- **Dosage des tanins hydrolysables**

La teneur en tanins hydrolysables a été déterminée en utilisant le réactif de FeCl_3 en milieu acide selon la méthode décrite par (Mole and Waterman, 1987 modifié). Un volume de 1 mL d'extrait a été ajouté à 3,5 mL du réactif (FeCl_3 à 0,01 M dans HCl à 0,001 M). Après homogénéisation pendant 15 secondes, l'absorbance a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

2.6 Évaluation de l'activité antioxydante

2.6.1 Activité Anti radicalaire au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

Principe

Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) repose sur la capacité des composés antioxydants présents dans les extraits végétaux à réduire le radical libre DPPH, ce qui entraîne un changement de couleur du violet foncé vers le jaune pâle accompagné d'une diminution de l'absorbance à 517 nm. L'extrait sec a été dissous dans l'éthanol afin de préparer une solution mère à une concentration de 4 mg/mL, à partir de laquelle une série de dilutions a été réalisée (6,25 ; 12,5 ; 25 ; 50 ; 100 ; 200 et 400 $\mu\text{g/mL}$).

Une solution de DPPH à 0,1 mM a été préparée dans l'éthanol et conservée à l'abri de la lumière. Pour chaque test, 200 μL d'extrait ont été mélangés avec 800 μL de solution de DPPH (0,1 mM), puis le mélange a été incubé pendant 30 minutes à température ambiante (20–25 °C) dans l'obscurité avant la lecture de l'absorbance à 517 nm. Un contrôle négatif (DPPH + éthanol) et un blanc (éthanol + extrait) ont été utilisés, ainsi que des contrôles positifs comprenant l'acide ascorbique, le BHT, le BHA et l' α -tocophérol.

L'activité antioxydante a été exprimée en pourcentage d'inhibition selon la formule % Inhibition = $((A_0 - A_1) / A_0) \times 100$, et la concentration inhibitrice 50 % (IC50) a été déterminée comme la concentration nécessaire pour inhiber 50 % du radical DPPH.

2.6.2 Pouvoir Réducteur Ferrique (Test FRAP - Ferric Reducing Antioxidant Power)

Principe

Le test FRAP évalue la capacité des extraits à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}), avec formation d'un complexe coloré mesuré à 700 nm. Les solutions utilisées comprennent un tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6), le ferricyanure de potassium ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ à 1 %), l'acide trichloroacétique (TCA à 10 %) et le chlorure ferrique (FeCl_3 à 0,1 %). Le protocole consiste à mélanger 0,2 mL d'extrait avec 0,5 mL de tampon phosphate et 0,5 mL de ferricyanure de potassium. Après incubation à 50 °C pendant 20 minutes, du TCA est ajouté, suivi d'une centrifugation. Enfin, du FeCl_3 est ajouté et l'absorbance est mesurée à 700 nm. Le blanc est constitué du solvant, tandis que l'acide ascorbique est utilisé comme standard de référence.

2.7 Évaluation de l'activité insecticide des extraits et huiles essentielles végétales

L'activité insecticide des huiles essentielles extraites de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, ainsi que des extraits végétaux préparés à partir des mêmes espèces, a été évaluée contre l'insecte *Tribolium castaneum*, en utilisant trois principales méthodes expérimentales :

- Le contact direct.
- La fumigation.
- Le test de répulsion.

* Préparation des concentrations

Les huiles essentielles ont été préparées à trois concentrations :

- 6 μL + 4 mL de Tween 80
- 12 μL + 4 mL de Tween 80
- 24 μL + 4 mL de Tween 80

Quant aux extraits végétaux, ils ont été préparés à trois doses :

- 1,05 mg
- 2,1 mg
- 3,15 mg

Ces quantités ont été dissoutes dans un mélange composé de 0,2 mL d'huile végétale, de 0,1 mL de Tween 80 et de 0,7 mL d'eau distillée. Ensuite, toutes les solutions ont été soigneusement homogénéisées afin d'assurer une répartition uniforme de la substance active avant utilisation.

Toutes les expériences ont été réalisées en trois répétitions (triplicats), en utilisant 20 insectes par essai.

1. Méthode de contact direct

La méthode de contact direct a été utilisée, consistant à placer du papier filtre dans des boîtes de Pétri, puis à introduire 20 adultes de *Tribolium castaneum*. Les insectes ont ensuite été directement exposés au mélange contenant l'huile essentielle ou l'extrait végétal, selon les concentrations définies (C1, C2 et C3). Un lot témoin a été mis en place, traité uniquement avec le solvant (Tween 80 ou solution de préparation), sans substance active. Les boîtes ont été maintenues dans des conditions de laboratoire contrôlées, à une température de 25 ± 2 °C et une humidité relative comprise entre 60 et 70 %. Le taux de mortalité a été évalué après 24, 48 et 72 heures d'exposition. (Fig16)

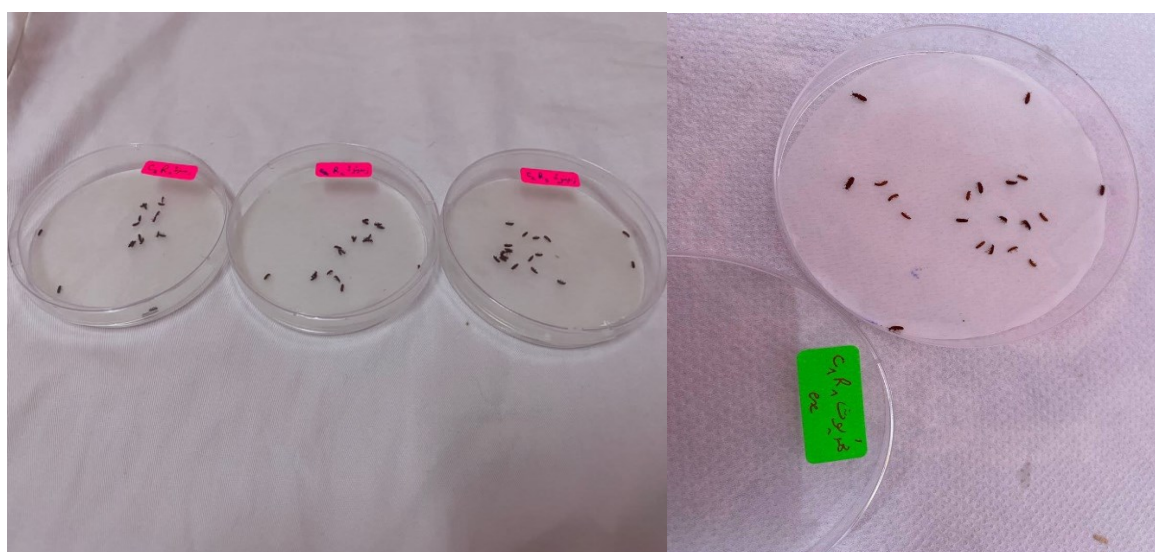


Figure 16. La méthode de contact direct (Originale, 2026)

2. Méthode de fumigation

La méthode de fumigation a été utilisée afin d'évaluer l'effet toxique des vapeurs volatiles des huiles essentielles et des extraits végétaux. Vingt insectes ont été introduits dans des récipients en verre hermétiquement fermés. Un coton imprégné du mélange a été suspendu à l'intérieur de chaque récipient, sans contact direct avec les insectes. Les récipients ont ensuite été soigneusement scellés afin de permettre la diffusion des composés volatils dans l'espace confiné. Un lot témoin a été préparé dans les mêmes conditions, en l'absence de toute substance active. La mortalité a été enregistrée après 24, 48 et 72 heures d'exposition. (Fig17)



Figure17 . La méthode de fumigation (Originale, 2026)

3. Test de répulsion

Le test de répulsion a été réalisé afin d'évaluer la capacité répulsive des extraits végétaux et des huiles essentielles. Un papier filtre a été divisé en deux zones égales : une zone traitée avec l'extrait ou l'huile essentielle en présence de solvant, et une zone témoin contenant uniquement le solvant. Vingt insectes ont été placés au centre du dispositif. La distribution des insectes entre les deux zones a ensuite été suivie à différents intervalles afin d'évaluer



Figure18 . Le test de répulsion (Originale, 2026)

l'effet répulsif des substances testées. (Fig18)

2.7 -Evaluation de mortalité des adultes de *Tribolium castaneum*

2.7.1.- Calcul de la mortalité corrigée

➤ Des tests de contact direct/test de fumigation

Selon Abbott (1925), le traitement des valeurs notés lors l'observation des résultats de l'efficacité de l'huile essentielle dans la lutte des insectes, dans les deux premiers tests, il est fait selon la formule suivante :

$$Mc = (Mo - Mt) / (100 - Mt) \times 100$$

Tels que :

Mc = mortalité corrigée (Exprimé en %)

Mt = mortalité enregistrée chez le témoin

Mo = Mortalité enregistrée dans l'échantillon traité en (%) par l'équation suivante :

$$Mo = Nm / Nt \times 100$$

Tels que :

Nm = nbr des insectes morts

Nt = nbr totale des morts.

• Du test répulsif

"Le pourcentage de répulsion (PR) a été calculé selon la méthode décrite par (McDonald et *al.*, 1970)"

La formule utilisée dans ce test est :

$$PR = [(NAC - NHE) / NT] \times 100$$

Tels que :

NAC = Le nbr des insectes qui se situent du côté de l'acétone.

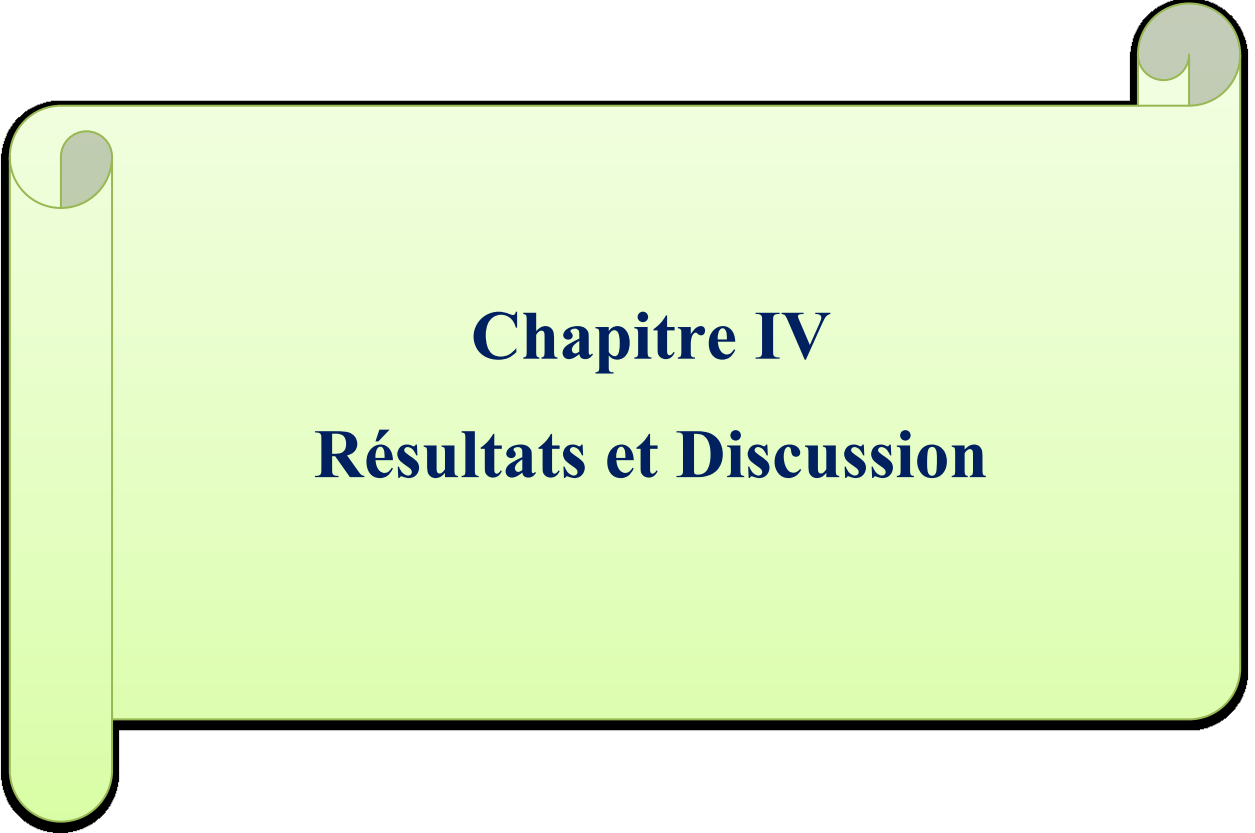
NHE = Le nbr des insectes qui se situent du côté de l'huile essentielle.

NT= Le nbr total des insectes.

2.7.2.- Détermination de la DL50 et la DL90

La Dose létale 50 : c'est la quantité de l'huile essentielle, administrée en une Seule fois, qui cause la mort de la moitié des insectes dans chaque essai. La DL50 est une façon de mesurer le potentiel toxique à court terme (toxicité aiguë) d'une matière.

La dose létale 90 : c'est le même principe de la DL50, sauf qu'on calcule la dose qui cause la mort de 90% des insectes.



Chapitre IV

Résultats et Discussion

1. Discussion

2.1 Discussion d'extraction des huiles essentielles

Selon l'étude de (Kesraoui et *al.*, 2022) les huiles essentielles représentent des alternatives naturelles prometteuses pour la protection durable des cultures agricoles grâce à leurs effets directs et indirects contre les ravageurs. Ces huiles se caractérisent également par une activité biologique efficace, une grande biodégradabilité et une faible toxicité environnementale par rapport aux pesticides chimiques conventionnels, ce qui favorise leur utilisation dans les stratégies de lutte biologique et de gestion intégrée des ravageurs.

Les résultats obtenus montrent une variabilité du rendement en huile essentielle entre les trois espèces étudiées. *Thymus serpyllum* a présenté le rendement le plus élevé (0,9307 %), suivi de *Artemisia campestris* (0,4458 %), tandis que *Marrubium vulgare* a enregistré le rendement le plus faible (0,1213 %). Les valeurs obtenues restent globalement conformes à celles rapportées dans la littérature pour ces espèces, malgré certaines différences observées avec les travaux de Boudraa et *al.* (2020), Derwich et *al.* (2009), Salido et *al.* (2004), Abadi et Hassani (2013), Rached et *al.* (2022), Chaouche et *al.* (2016), Boughendjioua et Djeddi (2018) et Kirillov et *al.* (2016). Cette variabilité est principalement attribuée aux conditions environnementales, à la variabilité génétique et aux chimiotypes, au stade de développement des plantes ainsi qu'aux méthodes d'extraction (Dudareva et *al.*, 2013 ; Miguel, 2010 ; Tisserand et Young, 2014 ; Chemat et *al.*, 2012 ; Hussain et *al.*, 2008). Elle peut également être liée aux différences de biosynthèse des métabolites secondaires et à la composition chimique propre à chaque espèce (Bakkali et *al.*, 2008 ; Mnonopi et *al.*, 2011 ; Abad et *al.*, 2012). Ainsi, *Thymus serpyllum* apparaît comme l'espèce la plus productive en huile essentielle, alors que *Marrubium vulgare* présente le rendement le plus faible, confirmant la variabilité naturelle des plantes aromatiques et médicinales étudiées.

2.2 Discussion de l'analyse phytochimique

Les résultats obtenus ont révélé une variabilité du profil phytochimique entre *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*. Cette variabilité est en accord avec les données de la littérature qui soulignent l'influence des facteurs génétiques, environnementaux et expérimentaux sur la composition en métabolites secondaires (Bakkali et *al.*, 2008 ; Figueiredo et *al.*, 2008). *Thymus serpyllum* a présenté le profil le plus riche et le plus diversifié, caractérisé notamment par la présence de flavonoïdes, tanins, terpénoïdes et composés phénoliques tels que le thymol et le carvacrol (Jarić et *al.*, 2015 ; Nikolić et *al.*,

2015 ; Miguel, 2010 ; Aksić et *al.*, 2023). *Marrubium vulgare* a également montré une richesse importante en métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes, tanins, alcaloïdes, terpénoïdes et la marrubiine, en accord avec les travaux de Boudjelal et *al.* (2014), Moulay et *al.* (2019), Oueslati et *al.* (2020) et Mnonopi et *al.* (2011). En revanche, *Artemisia campestris* a présenté un profil plus variable, avec l'absence de certains composés tels que les flavonoïdes, contrairement aux observations de Dib et *al.* (2019), Malki et *al.* (2022) et Zahnit et *al.* (2022). Ces différences peuvent être attribuées aux conditions environnementales, au stade de développement des plantes, au type de solvant utilisé, aux méthodes d'extraction ainsi qu'à la variabilité génétique (Cowan, 1999 ; Dudareva et *al.*, 2013 ; Figueiredo et *al.*, 2008 ; Hussain et *al.*, 2008 ; Boudjelal et *al.*, 2014 ; Abad et *al.*, 2012). Globalement, les résultats confirment la diversité phytochimique des trois espèces étudiées et leur richesse en composés bioactifs d'intérêt biologique.

2.3 Discussion de dosage des composés phytochimiques

Les résultats obtenus montrent que les trois espèces étudiées, *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, possèdent une richesse importante en métabolites secondaires, notamment les polyphénols, flavonoïdes, tanins et autres composés bioactifs, confirmant leur potentiel biologique. Nos résultats concordent globalement avec ceux rapportés dans la littérature pour *Artemisia campestris* (Boudjouref et *al.*, 2022 ; Touil et *al.*, 2023 ; Zahnit et *al.*, 2022 ; Bakchiche et *al.*, 2019), *Marrubium vulgare* (Menaiaia, 2021 ; El Euch et *al.*, 2015 ; Khouchlaa et *al.*, 2023 ; Michalak et *al.*, 2024) et *Thymus serpyllum* (Ben Miri et *al.*, 2022 ; Bano et *al.*, 2023 ; Jarić et *al.*, 2015). La comparaison entre les trois espèces révèle des différences quantitatives et qualitatives dans leur composition phytochimique, *Artemisia campestris* se distinguant par sa richesse en polyphénols, *Thymus serpyllum* par ses teneurs élevées en flavonoïdes, tanins et composés phénoliques bioactifs tels que le thymol et le carvacrol (Miguel, 2010), tandis que *Marrubium vulgare* présente des teneurs intermédiaires associées à la présence de composés spécifiques comme la marrubiine (Mnonopi et *al.*, 2011). Ces variations sont en accord avec les observations de Bakkali et *al.* (2008) et Figueiredo et *al.* (2008), et peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment les conditions environnementales (Dudareva et *al.*, 2013 ; Gobbo-Neto et Lopes, 2007 ; Qaderi et *al.*, 2023 ; Yang et *al.*, 2018), le stade phénologique de la plante (Cheynier, 2012 ; Ciocan et *al.*, 2023), la variabilité génétique et géographique (Hussain et *al.*, 2008 ; Pant et *al.*, 2021 ; Sampaio et *al.*, 2016), ainsi que le type de solvant et les méthodes d'extraction utilisées (Cowan, 1999 ; Dai et Mumper, 2010 ; Naczki et Shahidi, 2004 ; Chemat et *al.*,

2012). Globalement, ces résultats confirment la richesse phytochimique des trois espèces étudiées et soulignent l'influence déterminante des facteurs environnementaux et expérimentaux sur leur composition en métabolites secondaires.

2.4 Discussion de l'activité antioxydante

Les résultats obtenus confirment que les trois espèces étudiées, *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, possèdent une activité antioxydante importante liée à leur richesse en polyphénols, flavonoïdes et autres métabolites secondaires bioactifs. Les résultats observés pour *Artemisia campestris* concordent avec ceux rapportés par Bakchiche et al. (2013), Bakchiche et al. (2019), et Malki et al. (2022), tandis que ceux de *Marrubium vulgare* sont en accord avec les travaux de Aćimović et al. (2020), El Euch et al. (2015), Michalak et al. (2024) et Khouchlaa et al. (2023). Concernant *Thymus serpyllum*, nos résultats corroborent ceux de Bano et al. (2023), Ben Miri et al. (2022), Aksić et al. (2023), et Nikolić et al. (2015), qui ont souligné l'importance des composés phénoliques, du thymol et du carvacrol dans l'activité antioxydante. La comparaison entre les trois espèces révèle que *Thymus serpyllum* présente l'activité antioxydante la plus élevée, suivi de *Marrubium vulgare* puis de *Artemisia campestris*, un classement qui peut être expliqué par des différences dans la composition phytochimique, notamment la richesse de *Thymus serpyllum* en flavonoïdes, tanins et composés phénoliques volatils (Miguel, 2010 ; Bakkali et al., 2008), ainsi que par la présence de composés phénoliques et de la *marrubiine* chez *Marrubium vulgare* (Mnonopi et al., 2011). Les variations observées entre les études sont principalement attribuées aux facteurs environnementaux (Dudareva et al., 2013 ; Yang et al., 2018 ; Qaderi et al., 2023), au stade de développement de la plante (Ciocan et al., 2023 ; Khouchlaa et al., 2023), ainsi qu'aux méthodes et solvants d'extraction utilisés (Chemat et al., 2012; Ben Miri et al., 2022). Globalement, ces résultats confirment le potentiel antioxydant élevé des trois espèces étudiées et mettent en évidence la supériorité de *Thymus serpyllum* comme source naturelle prometteuse d'antioxydants.

2.5 Evaluation de l'effet insecticide de différentes concentrations d'huile essentielle et extrait de *Artemisia campestris* et *Thymus serpyllum* et *Marrubium vulgare* sur *Tribolium castaneum*.

2.5.1 Traitement par contact direct des huiles

Les résultats obtenus confirment que les huiles essentielles de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité insecticide importante contre

Tribolium castaneum, caractérisée par une augmentation de la mortalité en fonction de la concentration et du temps d'exposition, conformément aux observations rapportées par Gao et al. (2020), Hu et al. (2019), Amara et al. (2024), Zhu et al. (2006), Lee et Lee (2016), Alkan et Atay (2023), Annaz et al. (2024), Isman (2006). La comparaison entre les trois espèces révèle une hiérarchie d'efficacité insecticide suivant l'ordre : *Thymus serpyllum* > *Artemisia campestris* > *Marrubium vulgare*. Cette supériorité de *T. serpyllum* est attribuée à sa richesse en composés phénoliques bioactifs, notamment le thymol et le carvacrol, reconnus pour leur action neurotoxique et leur capacité à inhiber l'acétylcholinestérase (Miguel, 2010 ; Lee et Lee, 2016 ; Rattan, 2010). L'activité de *A. campestris* est principalement liée à la présence de monoterpènes et de sesquiterpènes à forte activité biologique (Abad et al., 2012), tandis que celle de *M. vulgare* est associée à des terpènes et composés phénoliques dont l'effet insecticide demeure relativement plus modéré (Mnonopi et al., 2011). Les mécanismes impliqués reposent notamment sur l'inhibition de l'acétylcholinestérase, les perturbations neurologiques, l'induction d'un stress oxydatif et les effets synergiques entre les différents constituants des huiles essentielles (Isman, 2006 ; Rattan, 2010). Les variations observées entre les espèces peuvent également être expliquées par des facteurs génétiques, environnementaux et expérimentaux influençant la composition chimique des huiles essentielles (Figueiredo et al., 2008). Globalement, ces résultats mettent en évidence le potentiel prometteur des trois espèces comme sources naturelles de biopesticides destinés à la lutte contre les ravageurs des denrées stockées, avec une efficacité particulièrement marquée pour *Thymus serpyllum*.

2.5.2 Traitement par fumigation des huiles

Les résultats obtenus confirment que les huiles essentielles de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité insecticide fumigène importante contre *Tribolium castaneum*, caractérisée par une augmentation de la mortalité en fonction de la dose et du temps d'exposition, conformément aux observations rapportées par Chaieb et al. (2018), Bachrouch et al. (2015), Zhu et al. (2006), Syam et al. (2017), Ebadollahi et al. (2021), Annaz et al. (2024), Saroukolai et al. (2009), Isman (2006) et Bakkali et al. (2008). Dans notre étude, *Thymus serpyllum* a présenté l'activité la plus rapide et la plus élevée, avec une mortalité de 98,4 % après seulement 6 h d'exposition à 24 µL/L, suivi de *Artemisia campestris* (99 % après 14 h) puis de *Marrubium vulgare* (94,95 % après 12 h), indiquant une différence d'efficacité entre les espèces. Cette variabilité est principalement liée à la composition chimique des huiles essentielles. En effet, la forte

toxicité de *Thymus serpyllum* est attribuée à sa richesse en thymol et carvacrol, connus pour leurs effets neurotoxiques et leur capacité à inhiber l'acétylcholinestérase (Miguel, 2010 ; Lee et Lee, 2016 ; Annaz et al., 2024 ; Isman, 2006), tandis que l'activité de *Artemisia campestris* est principalement associée aux monoterpènes et sesquiterpènes (Abad et al., 2012 ; Chaieb et al., 2018), et celle de *Marrubium vulgare* à différents composés bioactifs responsables d'effets neurotoxiques et oxydatifs (Mnonopi et al., 2011 ; Isman, 2020 ; Rattan, 2010 ; Benelli et al., 2017). Les mécanismes d'action impliquent notamment des perturbations neurologiques, l'inhibition de l'acétylcholinestérase ainsi que des phénomènes de stress oxydatif chez l'insecte cible (Isman, 2006 ; Rattan, 2010 ; Pavela, 2016). Les différences observées entre les études et entre les espèces peuvent également être influencées par les conditions environnementales, l'origine géographique, le stade de développement de la plante, les méthodes d'extraction et la synergie entre les constituants des huiles essentielles (Dudareva et al., 2013 ; Figueiredo et al., 2008 ; Chemat et al., 2012 ; Hussain et al., 2008 ; Bakkali et al., 2008). Globalement, ces résultats mettent en évidence le potentiel prometteur des trois espèces comme sources naturelles de biopesticides pour la protection des denrées stockées, avec une supériorité marquée de *Thymus serpyllum* contre *Tribolium castaneum*.

2.5.3 Traitement par contact des l'extraits

Les résultats obtenus confirment que les extraits de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité insecticide significative contre *Tribolium castaneum*, caractérisée par une augmentation de la mortalité en fonction de la concentration et du temps d'exposition, conformément aux observations rapportées par Touil et al. (2025), Jaber et al. (2025), Naimi et al. (2025), Lee et Lee (2016), Moutassem et al. (2024), Alkan et Atay (2023), Isman (2006) et Bakkali et al. (2008). Toutefois, des différences d'efficacité ont été observées entre les espèces, *Artemisia campestris* ayant présenté l'activité la plus élevée (98,72 % de mortalité à la concentration C3), suivie de *Thymus serpyllum* (92,27 %), puis de *Marrubium vulgare*. Cette variabilité est principalement liée à la nature et à la teneur des composés bioactifs présents dans chaque espèce. En effet, l'activité de *Artemisia campestris* est attribuée aux composés phénoliques, flavonoïdes, monoterpènes et sesquiterpènes (Abad et al., 2012 ; Isman, 2006 ; Bakkali et al., 2008), tandis que celle de *Thymus serpyllum* est associée au thymol et au carvacrol, connus pour leurs effets neurotoxiques et leur capacité à inhiber l'acétylcholinestérase (Miguel, 2010 ; Isman, 2006). Quant à *Marrubium vulgare*, son activité insecticide est liée à la présence de terpénoïdes, flavonoïdes et de la marrubiine (Mnonopi et al., 2011 ; Bakhawain et Alqurashi, 2010 ; Boudjelal et al., 2025). Les

mécanismes d'action impliquent principalement l'inhibition de l'acétylcholinestérase, les perturbations neurologiques ainsi que l'induction d'un stress oxydatif chez l'insecte cible (Rattan, 2010 ; Senthil Nathan, 2015 ; Benelli et *al.*, 2017). Les variations observées entre les études peuvent également être attribuées aux différences de composition chimique, aux conditions environnementales et aux méthodes d'extraction (Hussain et *al.*, 2008). Globalement, ces résultats mettent en évidence le potentiel prometteur des trois extraits végétaux comme alternatives naturelles aux insecticides chimiques pour la lutte contre les ravageurs des denrées stockées, avec une efficacité particulièrement marquée chez *Artemisia campestris*.

2.5.4 Traitement par fumigation des l'extraits

Les résultats obtenus montrent que les extraits éthanoliques de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité fumigène significative contre *Tribolium castaneum*, caractérisée par une augmentation de la mortalité en fonction de la concentration et du temps d'exposition, conformément aux observations rapportées par Ali et *al.* (2026), Amara et *al.* (2024), Rajendran et Sriranjini (2008), Sileem et *al.* (2020), Ebadollahi et *al.* (2021), Babu et *al.* (2024), Lu et *al.* (2021) et Aisha et *al.* (2024). Dans notre étude, *Artemisia campestris* a présenté l'activité fumigène la plus élevée, suivie de *Thymus serpyllum* puis de *Marrubium vulgare*. Cette activité est principalement attribuée aux composés bioactifs volatils, notamment les monoterpènes, sesquiterpènes, terpènes, flavonoïdes et composés phénoliques, capables d'agir sur les systèmes nerveux et respiratoire des insectes et de provoquer des perturbations physiologiques conduisant à leur mort (Bakkali et *al.*, 2008 ; Nerio et *al.*, 2010). La supériorité de *Artemisia campestris* est liée à sa richesse en monoterpènes et sesquiterpènes volatils (Abad et *al.*, 2012), tandis que l'efficacité de *Thymus serpyllum* est associée aux terpènes et composés phénoliques caractéristiques du genre *Thymus* (Miguel, 2010 ; Isman, 2006). Quant à *Marrubium vulgare*, son activité plus modérée pourrait être expliquée par sa composition chimique particulière et la nature de ses métabolites secondaires (Mnonopi et *al.*, 2011). Les différences observées entre les espèces et entre les études peuvent également être influencées par plusieurs facteurs, notamment les conditions environnementales, le stade de développement des plantes, les méthodes d'extraction, la variabilité génétique et l'origine géographique des échantillons (Hussain et *al.*, 2008 ; Dudareva et *al.*, 2013). Globalement, ces résultats confirment le potentiel des trois espèces comme sources naturelles prometteuses de biopesticides pour la protection des

denrées stockées contre *Tribolium castaneum*, avec une efficacité fumigène décroissante selon l'ordre : *Artemisia campestris* > *Thymus serpyllum* > *Marrubium vulgare*.

2.6 Détermination de la DL 10, DL 50 et DL 90

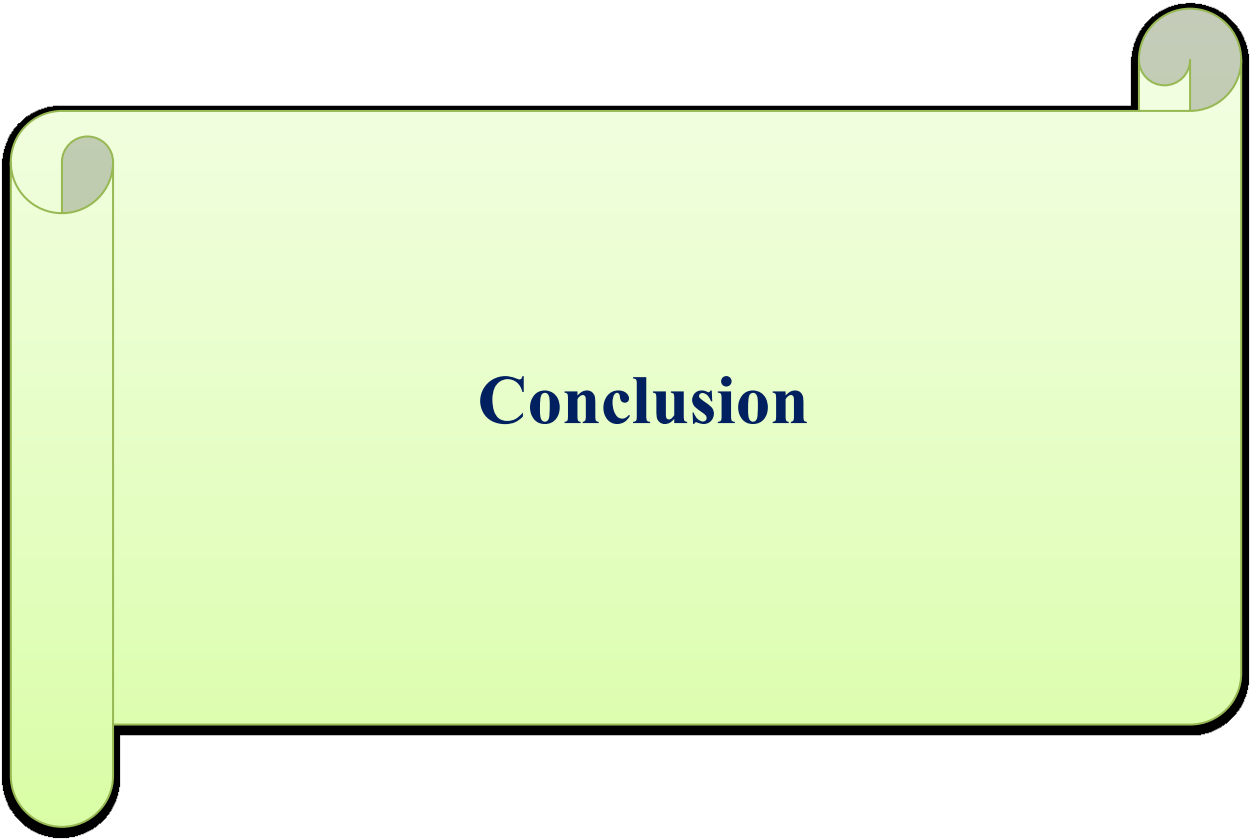
- **Teste de contact direct**

Les résultats obtenus confirment que les huiles essentielles de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité insecticide importante par contact direct contre *Tribolium castaneum*, caractérisée par une relation dose-réponse nette, où l'augmentation de la concentration entraîne une augmentation de la mortalité, conformément aux observations rapportées par Abou-Taleb et al. (2016), Li et al. (2015), Pavela (2015), Salama et al. (2012), Bouchaaar et Chennibi (2025), Mihoubi et al. (2023), Tabet et al. (2023), Moutassem et al. (2024) et BENMEBROUK (2024). La comparaison des trois espèces montre que *Thymus serpyllum* présente la toxicité la plus élevée (DL50 = 3,02 µl/L ; DL90 = 5,00 µl/L), suivi de *Marrubium vulgare* (DL50 = 4,14 µl/L ; DL90 = 7,32 µl/L), puis de *Artemisia campestris* (DL50 = 4,94 µl/L ; DL90 = 8,82 µl/L), confirmant que des valeurs létales plus faibles traduisent une efficacité insecticide plus importante (Isman, 2006 ; Bakkali et al., 2008). Cette variation est principalement liée à la composition chimique des huiles essentielles : l'efficacité supérieure de *Thymus serpyllum* est attribuée à sa richesse en thymol et carvacrol, connus pour leur action neurotoxique via l'inhibition de l'acétylcholinestérase (Isman, 2006 ; Miguel, 2010 ; Lee et Lee, 2016), tandis que l'activité de *Marrubium vulgare* est associée aux terpènes et composés phénoliques (Mnonopi et al., 2011 ; Pavela, 2015), et celle de *Artemisia campestris* à ses composés terpéniques caractéristiques (Abad et al., 2012 ; Kordali et al., 2018). Les différences observées entre les études peuvent également être influencées par la composition chimique, l'origine végétale, les méthodes d'extraction et les conditions environnementales (BENMEBROUK, 2024). Globalement, l'ordre décroissant de toxicité observée est : *Thymus serpyllum* > *Marrubium vulgare* > *Artemisia campestris*, soulignant le rôle déterminant des composés bioactifs dans l'efficacité insecticide des huiles essentielles et confirmant leur potentiel comme biopesticides naturels pour la protection des denrées stockées (Isman, 2006 ; Bakkali et al., 2008).

- **Fumigation**

Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles de *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum* possèdent une activité insecticide importante contre

Tribolium castaneum aussi bien par fumigation que par contact direct, avec une relation dose-réponse positive caractérisée par une augmentation de la mortalité en fonction de la concentration, conformément aux observations rapportées par Isman (2000), Finney (1971) et Bakkali et al. (2008). Cette activité est principalement attribuée aux composés volatils terpéniques et phénoliques agissant sur le système nerveux de l'insecte, notamment par inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE). En fumigation, *Thymus serpyllum* a présenté la toxicité la plus élevée (DL50 = 7,61 µL/L ; DL90 = 13,61 µL/L), suivi de *Marrubium vulgare* (DL50 = 9,99 µL/L ; DL90 = 17,49 µL/L) puis de *Artemisia campestris* (DL50 = 12,74 µL/L ; DL90 = 22,15 µL/L), en accord avec les résultats de Chaieb et al. (2018), Zhu et al. (2006), Mihoubi et al. (2023), BOUCHAAR et CHENNIBI (2025), Moutassem et al. (2024), Lee and Lee (2016), Alaoui-Jamali et al. (2016) et BENMEBROUK (2024). De même, lors du test de contact direct, *Thymus serpyllum* a montré la plus forte activité insecticide (DL50 = 3,02 µL/L ; DL90 = 5,00 µL/L), suivi de *Marrubium vulgare* (DL50 = 4,14 µL/L ; DL90 = 7,32 µL/L) puis de *Artemisia campestris* (DL50 = 4,94 µL/L ; DL90 = 8,82 µL/L). Cette supériorité de *Thymus serpyllum* est attribuée à sa richesse en thymol et carvacrol, reconnus pour leurs puissants effets neurotoxiques (Isman, 2006 ; Miguel, 2010), tandis que l'activité de *Marrubium vulgare* est liée à ses composés terpéniques et phénoliques (Mnonopi et al., 2011), et celle de *Artemisia campestris* à ses terpènes caractéristiques tels que le 1,8-cinéole et le camphre (Abad et al., 2012). Les différences observées entre les espèces peuvent être expliquées par leur composition chimique, les proportions des composés bioactifs ainsi que les conditions environnementales et les méthodes d'extraction. Globalement, l'ordre de toxicité observé est identique pour les deux modes d'application : *Thymus serpyllum* > *Marrubium vulgare* > *Artemisia campestris*, confirmant que l'efficacité insecticide dépend principalement de la richesse en composés phénoliques et terpéniques des huiles essentielles (Isman, 2006 ; Bakkali et al., 2008).



Conclusion

Conclusion

En conclusion de cette étude, il peut être affirmé que les plantes médicinales et aromatiques étudiées, à savoir *Artemisia campestris*, *Marrubium vulgare* et *Thymus serpyllum*, constituent une source importante de composés bioactifs possédant diverses activités biologiques, notamment dans le domaine de la lutte contre les insectes nuisibles des denrées stockées, en particulier *Tribolium castaneum*.

Les résultats obtenus ont montré que les huiles essentielles et les extraits végétaux de ces espèces présentent une activité biologique considérable variant selon la plante, le type d'extrait et sa concentration. L'étude a montré que les huiles essentielles ont présenté une activité insecticide élevée, en particulier l'huile essentielle de *Thymus serpyllum* qui a enregistré la plus forte efficacité comparativement aux autres plantes étudiées. Les extraits végétaux ont également révélé des propriétés biologiques importantes reflétant leur richesse en composés phénoliques, flavonoïdes, terpènes et autres métabolites secondaires connus pour leurs effets biologiques.

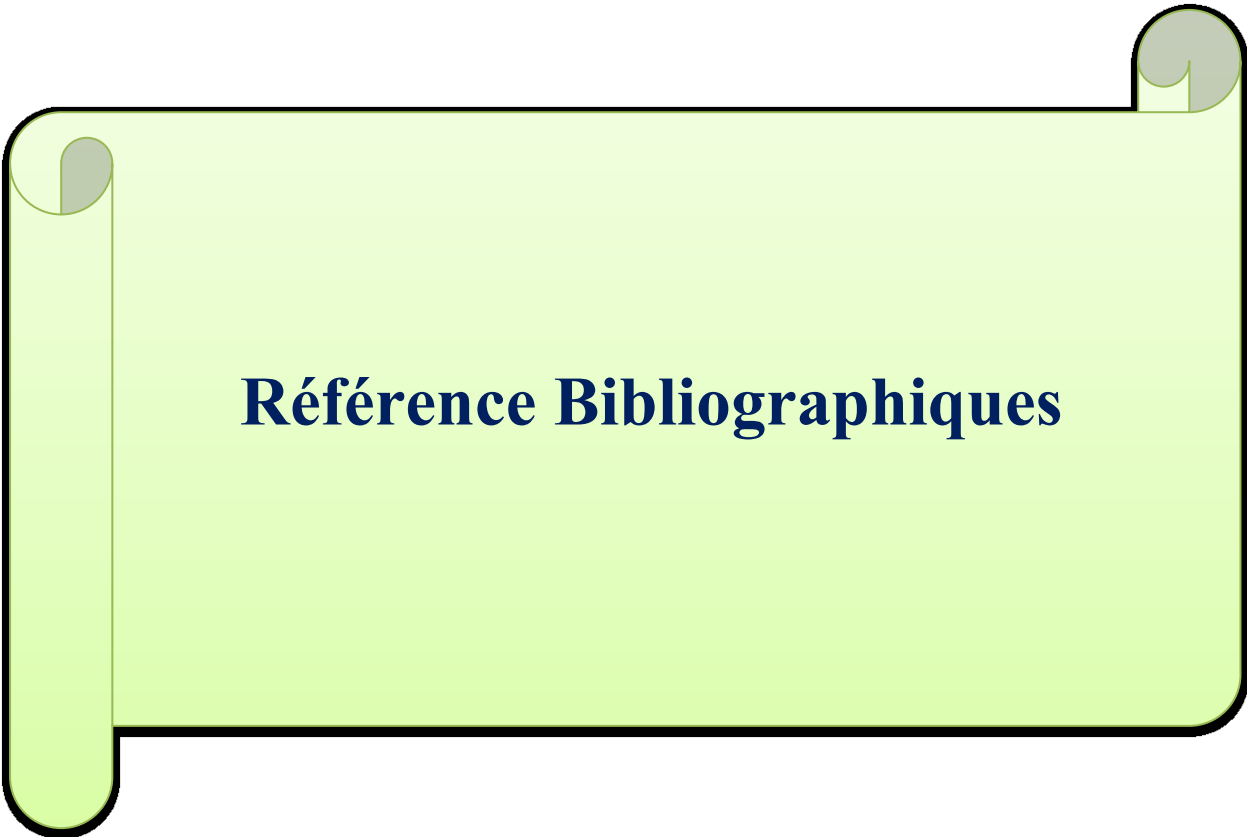
Les résultats ont aussi confirmé l'existence d'une relation claire entre l'augmentation de la concentration et l'élévation du taux de mortalité, ce qui démontre l'efficacité de ces composés naturels et leur effet direct sur les fonctions vitales de l'insecte.

L'importance de cette étude réside dans sa contribution à la valorisation des plantes médicinales locales et à la mise en évidence de leur potentiel comme alternatives naturelles aux pesticides chimiques conventionnels, notamment dans le contexte de l'orientation mondiale vers des solutions écologiques plus sûres et moins nocives pour la santé humaine et l'environnement.

Les résultats confirment également que l'efficacité des huiles essentielles et des extraits végétaux dépend essentiellement de leur composition chimique et de la nature des composés actifs qu'ils contiennent, lesquels varient selon l'espèce végétale, la méthode d'extraction et les conditions environnementales. Malgré les résultats prometteurs obtenus, cette étude demeure relativement limitée en raison du manque de temps et des moyens disponibles.

En effet, il n'a pas été possible d'approfondir l'analyse chimique détaillée de l'ensemble des composés actifs, ni de réaliser toutes les évaluations biologiques possibles ou d'étudier les effets appliqués dans des conditions réelles de stockage.

Ainsi, des recherches futures plus approfondies restent nécessaires afin d'inclure l'analyse chimique précise des huiles et des extraits, l'étude des mécanismes d'action physiologiques et moléculaires, ainsi que l'évaluation de leur efficacité en conditions réelles et leur éventuel développement sous forme de biopesticides naturels destinés à une utilisation commerciale. D'une manière générale, cette étude confirme que les plantes étudiées représentent une ressource naturelle prometteuse pouvant être exploitée dans le développement d'alternatives écologiques efficaces et sûres aux pesticides chimiques, contribuant ainsi à la protection des denrées stockées, à la réduction de la pollution environnementale et au soutien des stratégies de lutte biologique durable.



Référence Bibliographiques

Référence Bibliographiques

Abad, M. J., Bedoya, L. M., Apaza, L., and Bermejo, P. (2012). The *Artemisia* L. genus: A review of bioactive essential oils. *Molecules*, 17(3), 2542–2566. doi.org/10.3390/molecules17032542

Abadi, A., and Hassani, A. (2013). Essential oil composition and antioxidant activity of *Marrubium vulgare* L. growing wild in Eastern Algeria. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 14, 17–24. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILCPA.14.17>

Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

Abdullahi, G., Muhamad, R., and Sule, H. (2019). Biology, host range and management of red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae): A review. *Taraba Journal of Agricultural Research*, 7(1), 48–60. <http://tarabajournal.com/tajar/index.php/tajar/article/view/143>

Abidi, A., Sebai, E., Dhibi, M., Alimi, D., Rekik, M., B'chir, F., Maizels, R. M., and Akkari, H. (2018). Chemical analyses and anthelmintic effects of *Artemisia campestris* essential oil. *Veterinary Parasitology*, 263, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.10.003>

Abou-Taleb, H. K., Abdel-Wahab, B. A., Moawad, S. S., and Abdel-Rahman, M. A. (2016). Insecticidal properties of essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Plant Protection Research*, 56(2), 181–188.

Aćimović, M., Cvetković, M., Stanković, J., Igić, R., Todosijejić, M., Vuković, D., and Brašanac, D. (2019). Essential oil composition of *Thymus serpyllum* L. from Kopaonik Mountain. *Advanced Technologies*, 8(2), 241–247.

Aćimović, M., Jeremić, K., Salaj, N., Gavarić, N., Kiproviski, B., Sikora, V., and Zeremski, T. (2020). *Marrubium vulgare* L.: A phytochemical and pharmacological overview. *Molecules*, 25(12), 2898. <https://doi.org/10.3390/molecules25122898>

Aćimović, M., Stanković, J., Cvetković, M., Kiproviski, B., Sikora, V., and Zeremski, T. (2020). *Marrubium vulgare* L.: A phytochemical and pharmacological overview. *Plants*, 9(8), 1010. <https://doi.org/10.3390/plants9081010>

- Adedapo, A. A., Jimoh, F. O., Koduru, S., Afolayan, A. J., and Masika, P. J. (2008). Antibacterial and antioxidant properties of the methanol extracts of the leaves and stems of *Calpurnia aurea*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 8(1), 53. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-8-53>
- Ahmad, R., Hassan, S., Ahmad, S., Nighat, S., Devi, Y. K., Javeed, K., Usmani, S., Ansari, M. J., Erturk, S., Alkan, M., and Hussain, B. (2021). Stored grain pests and current advances for their management. In *Postharvest Technology – Recent Advances, New Perspectives and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101503>
- Aisha, K., Visakh, N. U., Pathrose, B., Mori, N., Baeshen, R. S., and Shower, R. (2024). Extraction, chemical composition and insecticidal activities of *Lantana camara* Linn. leaf essential oils against *Tribolium castaneum*, *Lasioderma serricorne* and *Callosobruchus chinensis*. *Molecules*, 29(2), 344. <https://doi.org/10.3390/molecules29020344>
- Aksić, M., Dekić, B., and Janićević, S. (2023). Determination of polyphenol and flavonoid content and antioxidant activity of ethanolic, chloroform and ethyl acetate extract of *Thymus serpyllum* L. *Bulletin of Natural Sciences Research*, 13(1–2), 5–9. <https://doi.org/10.5937/bnsr13-44767>
- Aksić, M., Radojević, I., and Stojanović, G. (2023). Polyphenol content and antioxidant activity of *Thymus serpyllum* extracts depending on extraction solvent. *Plants*, 12(2), 345. <https://doi.org/10.3390/plants12020345>
- Aksoy, A. (2025). Areas of use of medicinal and aromatic plants: Literature-supported compilation. *European Journal of Public Health Studies*, 8(2), 178–186.
- Alami, A., El Ouali Lalami, A., Annemer, S., El-Akhal, F., Ez Zoubi, Y., and Farah, A. (2023). Chemical composition and larvicidal properties of essential oils from wild and cultivated *Artemisia campestris* L., an endemic plant in Morocco. *The Scientific World Journal*, 2023, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2023/5748133>
- Alaoui-Jamali, C., Kasrati, A., Leach, D., and Abbad, A. (2016). Étude comparative de l'activité insecticide des huiles essentielles des espèces de thym originaires du Sud-Ouest marocain. *Phytothérapie*, 16(5), 268–274. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1051-6>
- Ali, F., Qureshi, M., Mumtaz, M., Abbasi, K., Binyameen, M., El-Seedi, H. R., Borg-Karlson, A. K., Mozūratīs, R., and Azeem, M. (2026). Chemical composition of essential oils and

solvent extracts of *Artemisia scoparia*, *Seriphidium brevifolium*, and *Salvia yangii* and their comparative fumigant toxicity against stored-grain pests *Tribolium castaneum* and *Sitophilus oryzae*. *Discover Food*, 6, 50. <https://doi.org/10.1007/s44187-026-00818-y>

Ali, S., Khan, M. R., Irfanullah, Sajid, M., & Zahra, Z. (2018). Phytochemical investigation and antimicrobial appraisal of *Parrotiopsis jacquemontiana* (Decne) Rehder. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2114-z>

Alkan, M., and Atay, T. (2023). Insecticidal effect of *Thymus citriodorus* (Pers.) Schreb essential oil on *Sitophilus granarius* and *Tribolium castaneum*. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(s1), 2609–2613. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v11is1.2609-2613.6543>

Álvarez-Martínez, F. J., Barrajón-Catalán, E., Herranz-López, M., and Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, 90, 153626. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>

Amara, L., Zairi, M., Benchohra, H. A., Meziani, S., and Demmouche, A. (2024). Toxicity of essential oil from *Artemisia herba-alba* (Asso.) against two insect pests of stored products. *Comptes Rendus de l'Académie Bulgare des Sciences*, 77(9), 1285–1293. <https://doi.org/10.7546/CRABS.2024.09.03>

Angelini, P. (2024). Plant-derived antimicrobials and their crucial role in combating antimicrobial resistance. *Antibiotics*, 13, 746. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13080746>

Annaz, H., Ajaja, A., Bouayad, N., El Fakhouri, K., Laglaoui, A., El Bouhssini, M., Sobeh, M., and Rharrabe, K. (2024). Chemical profiling and bioactivities of essential oils from *Thymus capitatus* and *Origanum compactum* against *Tribolium castaneum*. *Heliyon*, 10(5), e26102. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26102>

Annaz, H., Belyagoubi-Benhammou, N., Dib, M. A., and Djabou, N. (2024). Insecticidal, repellent and antifeedant activities of essential oils from *Thymus capitatus* and *Origanum compactum* against *Tribolium castaneum*. *Industrial Crops and Products*, 210, 118045. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118045>

Archana, P., Samatha, T., Mahitha, B., & RamaSwamy, N. (2012). Preliminary phytochemical screening from leaf and seed extracts of *Senna alata* L. Roxb—An ethnomedicinal plant. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(3), 1–8.

Aribi-Zouioueche, L. (2024). Le limonène dans les huiles essentielles : énantiomères et activités biologiques. *Comptes Rendus Chimie*, 27, 129–140. <https://doi.org/10.5802/crchim.308>

Awadalla, S. S., Hashem, A. S., Abdel-Hady, A. A. A., and Elsayed, E. S. (2023). Stored grain preference of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae: Coleoptera). *Journal of Plant Protection and Pathology*, 14, 243–249. <https://doi.org/10.21608/jppp.2023.227640.1168>

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods used in medicinal plants, principle, strength and limitation. *Medicinal and Aromatic Plants*, 4(3), 196. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000196>

Babu, A., Shanmugam, K., Kumar, P. S., Rajendran, R., Prabakar, K., and Raveendran, M. (2024). Assessment of *Piper longum* L. leaves toxicity on the adults of *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 22, 134. <https://doi.org/10.1186/s43094-024-00710-5>

Bachrouch, O., Ferjani, N., Haouel, S., and Ben Jemâa, J. M. (2015). Major compounds and insecticidal activities of two Tunisian *Artemisia* essential oils toward two major coleopteran pests. *Industrial Crops and Products*, 65, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.007>

Badran, E. F., Abdelmaksoud, T. G., Elshazly, E. A., and Ahmed, S. S. (2025). Impact of red flour beetle *Tribolium castaneum* infestation on some quality characteristics of stored wheat flour. *Food Systems*, 8(2), 173–179. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-2-173-179>

Bakchiche, B., Abdelaziz, G., Aazza, S., Gago, C., and Miguel, M. G. (2013). Antioxidant activities of eight Algerian plant extracts and two essential oils. *Industrial Crops and Products*, 46, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.01.020>

Bakchiche, B., Gherib, A., Bronze, M. R., and Ghareeb, M. A. (2019). Identification, quantification, and antioxidant activity of hydroalcoholic extract of *Artemisia campestris*

from Algeria. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(2), 234–239. <https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2018.99267>

Bakhashwain, A. A., and Alqurashi, A. D. (2010). Repellent and insecticidal effects of some plant extracts on flour beetle *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Alexandria Science Exchange Journal of Agricultural Sciences and Environmental Issues Quarterly Series*, 31(3), 248–254. <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2010.2318>

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475. doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106

Baldissera, M. D., Souza, C. F., Grando, T. H., Pereira, M. A., Cazarotto, C. J., Haas, M. M., Pohlmann, A. R., Borsuk, S., Monteiro, S. G., and Baldisserotto, B. (2025). Chemical composition and insecticidal activity of essential oils against *Sitophilus oryzae*. *Scientific Reports*, 15, Article 5689. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05689-4>

Baldwin, R., and Fasulo, T. R. (2002). Confused flour beetle *Tribolium confusum* Jacquelin du Val and red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae) (EENY-289). UF/IFAS Extension, University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu>

Bano, S., Indira, A., Santosh, O., Dolma, N., and Chongtham, N. (2023). Nutritional composition, antioxidant activity and characterization of bioactive compounds from *Thymus serpyllum* L.: An underexploited wild aromatic plant. *Measurement : Food*, 10, 100092. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2023.100092>

Bano, S., Ullah, A., Mehmood, T., Khan, M. A., and Siddiqui, M. J. (2023). Bioactive compounds of *Thymus serpyllum* and their pharmacological potential. *Phytomedicine*, 110, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.154165>

Bartolucci, F., Bruni, F., Galasso, A., and Conti, F. (2013). Genetic diversity and relationships among species of the genus *Thymus* L. (section *Serpyllum*). *Flora*, 208(8), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.06.003>

Ben Miri, Y., Ben Mansour, H., and Hamdi, B. (2022). Variation of antioxidant activity and phenolic content in Algerian *Thymus* species. *South African Journal of Botany*, 146, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.015>

Ben Miri, Y., Taoudiat, A., and Mahdid, M. (2022). Antioxidant and antifungal activities in vitro of essential oils and extracts of twelve Algerian species of *Thymus*. *Journal of Biological Research*, 95, 10299. <https://doi.org/10.4081/jbr.2022.10299>

Benchohra, H. A., Dif, M. M., Adli, F. Z., Benchohra, F. Z., Tounsi, M., and Medjaher, H. E. S. (2022). Antioxidant and anti-inflammatory activity of *Artemisia campestris* L. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, Section C: Physiology and Molecular Biology*, 14(1), 489–497.

Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., and Mehlhorn, H. (2017). Tick repellents and essential oils: A review of the literature. *Parasitology Research*, 116, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5537-1>

Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., and Mehlhorn, H. (2020). Tick repellents and acaricides of botanical origin: A green roadmap to control tick-borne diseases? *Parasitology Research*, 119, 2545–2560. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06741-5>

Benmebrouk, K. (2024). *Activité insecticide des huiles essentielles extraites de quelques plantes médicinales contre Tribolium castaneum (Herbst, 1797)* (Mémoire de Master, Université de la Vallée d'El-Oued, Algérie).

Benmeddour, Z., Mehinagic, E., Meurlay, D. L., and Louaileche, H. (2013). Phenolic composition and antioxidant capacities of ten Algerian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars: A comparative study. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.005>

Bitwell, C., Indra, S. S., Chimuka, L., and Maseka, K. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585>

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199–1200. <https://doi.org/10.1038/1811199a0>

- Bouchaar, A., and Chennibi, A. (2025). *Impact des huiles essentielles sur le contrôle des insectes nuisibles* (Mémoire de Master, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila, Algérie). <http://dspace.centre-univ-mila.dz/jspui/handle/123456789/4383>
- Boudjelal, A., Bouchaar, A., and Chennib, A. (2025). *Impact des huiles essentielles sur le contrôle des insectes nuisibles*. Mémoire de Master, Université Abdelhafid Bousouf, Mila, Algérie. <https://dspace.univ-mila.dz/jspui/handle/123456789/4383>
- Boudjelal, A., Henchiri, C., Sari, M., Sarri, D., Hendel, N., and Benkhaled, A. (2014). Antioxidant activity and phenolic content of *Marrubium vulgare* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, 61, 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.021>
- Boudjouref, S., Aissaoui, R., and Touil, S. (2022). Antioxidant activity and phenolic content of *Artemisia campestris* from two regions of Algeria. *Environmental Journals*. <https://environmentaljournals.org/article/antioxidant-activity-and-phenolic-content-of-artemisia-campestris-from-two-regions-of-algeria>
- Boudraa, A., Djabri, R., and Mansour, C. (2020). Contribution à l'étude du pouvoir antibactérien de *Artemisia herba-alba* Asso « chih ». Master's thesis, University of Larbi Tebessi, Algeria.
- Boughendjioua, H., and Djeddi, S. (2018). Quality attributes of the thyme (*Thymus numidicus* Poiret.) essential oil. *Journal of Plant Sciences*, 6(1), 12–15. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20180601.13>
- Boukhatem, M. N., Ferhat, A., and Kameli, A. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles: revue de littérature. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1653–1660.
- Boutabia, L., Telailia, S., and Menaa, M. (2020). Traditional therapeutic uses of *Marrubium vulgare* L. by local populations in the Haddada region (Souk Ahras, Algeria). *Ethnobotany Research and Applications*, 19, 1–11. <https://doi.org/10.32859/era.19.44.1-11>
- Campbell, J. F., Athanassiou, C. G., Hagstrum, D. W., and Zhu, K. Y. (2022). *Tribolium castaneum*: A model insect for fundamental and applied research. *Annual Review of Entomology*, 67, 347–365. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-080921-075157>
- Chaieb, I., Ben Hamouda, A., Tayeb, W., Zarrad, K., Bouslema, T., and Laarif, A. (2018). The Tunisian *Artemisia* essential oil for reducing contamination of stored cereals by

Tribolium castaneum. *Food Technology and Biotechnology*, 56(2), 247–256.
<https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5414>

Chandaragi, M. K., Prajapati, A. R., and Shinde, M. (2022). Stored grain insect pests and their management: A review. In *New Frontiers in Entomology* (Vol. 1, pp. 119–143). Advent Publishing.

Chaouche, A. T., Bendahou, B., Bouchaala, A., Yahiaoui, K., and Benhabyles, B. (2016). *Study of the antimicrobial activity of essential oils and flavonoids of Thymus serpyllum L.* University of Ouargla, Faculty of Natural and Life Sciences, Algeria. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/12626>

Chemat, F., Vian, M. A., and Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(7), 8615–8627.
<https://doi.org/10.3390/ijms13078615>

Cheynier, V. (2012). *Phenolic compounds: From plants to foods*. *Phytochemistry Reviews*, 11(2–3), 153–177. <https://doi.org/10.1007/s11101-012-9242-8>

Ciocan, A. G., Tecuceanu, V., Enache-Preoteasa, C., Mitoi, E. M., Helepciuc, F. E., Dimov, T. V., Simon-Gruitu, A., and Cogălniceanu, G. C. (2023). *Phenological and environmental factors' impact on secondary metabolites in medicinal plant Cotinus coggygria Scop.* *Plants*, 12(9), 1762. <https://doi.org/10.3390/plants12091762>

Clevenger, J. F. (1928). Apparatus for the determination of volatile oil. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17(4), 345–349.
<https://doi.org/10.1002/jps.3080170407>

Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>

Dai, J., and Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
<https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

Daraban, G. M., Hlihor, R.-M., and Suteu, D. (2023). *Pesticides vs. biopesticides: From pest management to toxicity and impacts on the environment and human health*. *Toxics*, 11(12), 983. <https://doi.org/10.3390/toxics11120983>

- De, S., Dey, Y., & Ghosh, A. (2010). Phytochemical investigation and chromatographic evaluation of the different extracts of tuber of *Amorphophallus paeoniifolius* (Araceae). *International Journal on Pharmaceutical and Biomedical Research*, 1(5), 150–157.
- Deb, M., and Kumar, D. (2021). *Studies on the biology of Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) with stereomicroscopic images of its life stages. *Entomon*, 46(1), 81–86. <https://doi.org/10.33307/entomon.v46i1.590>
- Deham, A., Boulesnene, I., and Benmekhbi, L. (2021). *Screening phytochimique et étude des paramètres d'extraction de l'huile essentielle de Thymus serpyllum*. University of Constantine 3, Faculty of Process Engineering, Algeria. <https://dspace.univ-constantine3.dz/jspui/handle/123456789/1496>
- Delobel, A., and Tran, M. (1993). *Les Coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes* (Faune tropicale XXXII). ORSTOM and CTA.
- Demiroz Akbulut, T., Aydin Kose, F., Demirci, B., and Baykan, S. (2023). Chemical profile and cytotoxicity evaluation of aerial parts of *Marrubium vulgare* L. from different locations in Turkey. *Chemistry & Biodiversity*, 20(4), e202201188. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202201188>
- Derwich, E., Benziane, Z., and Boukir, A. (2009). Chemical composition and insecticidal activity of essential oils of three *Artemisia* species: *Artemisia herba-alba*, *Artemisia absinthium* and *Artemisia pontica* (Morocco). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, 8(12).
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., and Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(4), 25. <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>
- Dib, I., Fauconnier, M.-L., Sindic, M., Belmekki, F., Assaidi, A., Berrabah, M., Mekhfi, H., Aziz, M., Legssyer, A., Bnouham, M., and Ziyat, A. (2019). *Artemisia campestris* L.: Review on taxonomical aspects, cytogeography, biological activities and bioactive compounds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 1884–1906. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.149>

- Dudareva, N., Klempien, A., Muhlemann, J. K., and Kaplan, I. (2013). Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist*, 198(1), 16–32. <https://doi.org/10.1111/nph.12145>
- Ebadollahi, A., Taghinezhad, E., Setzer, W. N., and Chen, G. (2021). Susceptibility of *Tribolium castaneum* to the fumigation of two essential *Satureja* oils: Optimization and modeling. *Processes*, 9(7), 1243. <https://doi.org/10.3390/pr9071243>
- El Euch, S., Bouajila, J., and Lebrihi, A. (2015). Phytochemical composition and antioxidant activity of *Marrubium vulgare* L. *Industrial Crops and Products*, 46, 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.06.049>
- El Euch, S., Bouajila, J., and Smaoui, S. (2015). Effect of extraction solvents on antioxidant activity and phenolic content of medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 67, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.040>
- Elbouzidi, A., Al-Mijalli, S. H., Laaboudi, W., Batbat, A., Ashmawy, N. S., Abdallah, E. M., Aladhadh, M., Alshabrni, F. M., Alnasser, S. M., Addi, M., El Hachlafi, N., and Mrabti, H. N. (2025). Chemical composition, antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory activities of *Thymus serpyllum* L. essential oil: In vitro and in silico insights. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 94(2), 1–19.
- Elbouzidi, A., Taibi, M., Baraich, A., Haddou, M., Mothana, R. A., Alsufyani, S. A., Darwish, H. W., Molinié, R., Fontaine, J.-X., Fliniaux, O., Mesnard, F., and Addi, M. (2025). Elicitor-driven enhancement of phenolic compounds in geranium callus cultures: Phytochemical profiling via LC-MS/MS and biological activities. *Frontiers in Chemistry*, 13, 1537877. <https://doi.org/10.3389/fchem.2025.1537877>
- El-Deeb, S., El-Ghannam, M., and Azzam, P. (2021). Evaluation of different control methods on the rust flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 29(2), 765–774. <https://doi.org/10.21608/ajs.2021.71422.1358>
- Elhafez, Z. A. A. (2022). The effect of different extraction methods (steam distillation and supercritical fluid extraction) on essential oil production of aromatic Tagetes and sweet basil. *European Journal of Medicinal Plants*, 33(6), 1–6. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2022/v33i630468>

Elyemni, M., Louaste, B., Nechad, I., Elkamli, T., Bouia, A., Taleb, M., Chaouch, M., and Eloutassi, N. (2019). Extraction of essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. by two different methods: Hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *The Scientific World Journal*, 2019, Article ID 3659432. <https://doi.org/10.1155/2019/3659432>

Evans, W. C., & Evans, D. (2002). *Trease and Evans' pharmacognosy*. W.B. Saunders.

Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., and Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213–226. <https://doi.org/10.1002/ffj.1875>

Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., and Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213–226. doi.org/10.1002/ffj.1875

Finney, D. J. (1971). *Probit analysis* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Franzen, F. de L., Oliveira, M. S. R. de, and Bolini, H. M. A. (2025). A review of six medicinal and aromatic plants and their health benefits. *Revista Fitos*, 19(1), e1667. <https://doi.org/10.32712/2446-4775.2025.1667>

Gao, S., Zhang, K., Wei, L., Wei, G., Xiong, W., Lu, Y., Zhang, Y., Gao, A., and Li, B. (2020). Insecticidal activity of *Artemisia vulgaris* essential oil and transcriptome analysis of *Tribolium castaneum* in response to oil exposure. *Frontiers in Genetics*, 11, 589. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00589>

Garud, A., Pawar, S., Patil, M. S., Kshirsagar, R. P., Patil, S. S., and Vanjari, S. S. (2024). A scientific review of pesticides: Classification, toxicity, health effects, sustainability, and environmental impact. *Cureus*, 16(8), e67945. <https://doi.org/10.7759/cureus.67945>

Garud, M., Pawar, S., Patil, M. S., Kale, S. R., and Patil, S. (2024). Insecticidal and repellent activity of essential oils from seven different plant species against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Insects*, 15(10), 755. <https://doi.org/10.3390/insects15100755>

Harush, A., Quinn, E., Trostanetsky, A., Rapaport, A., Kostyukovsky, M., and Gottlieb, D. (2021). Integrated pest management for stored grain: Potential natural biological control by a parasitoid wasp community. *Insects*, 12(11), 1038. <https://doi.org/10.3390/insects12111038>

- Hu, J., Wang, W., Dai, J., and Zhu, L. (2019). Chemical composition and biological activity against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Artemisia brachyloba* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 128, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.076>
- Hussain, A. I., Anwar, F., Sherazi, S. T. H., and Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of basil (*Ocimum basilicum*) from different origins. *Food Chemistry*, 108(3), 986–995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.059>
- Ismail, A. M., Mohamed, E. A., Marghany, M. R., Abdel-Motaal, F. F., Abdel-Farid, I. B., & El-Sayed, M. A. (2016). Preliminary phytochemical screening, plant growth inhibition and antimicrobial activity studies of *Faidherbia albida* legume extracts. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(2), 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.002>
- Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
- Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, 51, 45–66. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146>
- Isman, M. B. (2020). Bioinsecticides based on plant essential oils: A short overview. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 75(7–8), 179–182. <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0038>
- Isman, M. B. (2020). Commercial development of plant essential oils and their components as active ingredients in bioinsecticides. *Annual Review of Entomology*, 65, 333–351. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025015>
- Issrani, R. K., Shaikh, A. M., Larik, S. A., Kanwal, R., Soomro, F., Samejo, F. A., Mahar, M. A., and Panhwar, W. A. (2024). Biology of red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) in two flour media under laboratory conditions. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 8(3), 340–347. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12007978>
- Jaber, N. K., Khalaf, A. A., and Shafeeq, M. A. A. (2025). Comparison of the toxicity of the pesticide imidacloprid and the bioactivity of *Artemisia herba-alba* alcohol extract against *Tribolium castaneum*. *Journal of Applied and Natural Science*, 17(2), 537–544. <https://doi.org/10.31018/jans.v17i2.6456>

- Jalil, B., Pischel, I., Feistel, B., Suarez, C., Blanski, A., Spreemann, R., Roth-Ehrang, R., and Heinrich, M. (2024). Wild thyme (*Thymus serpyllum* L.): A review of the current evidence of nutritional and preventive health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1380962.
- Jarić, S., Mitrović, M., and Karadžić, B. (2015). Ethnobotanical and phytochemical study of *Thymus serpyllum* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 169, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.04.050>
- Jarić, S., Mitrović, M., and Pavlović, P. (2015). Review of ethnobotanical, phytochemical, and pharmacological study of *Thymus serpyllum* L. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, Article ID 101978. <https://doi.org/10.1155/2015/101978>
- Kachkoul, R., Sqalli Houssaini, T., El Habbani, R., Miyah, Y., Mohim, M., & Lahrichi, A. (2018). Phytochemical screening and inhibitory activity of oxalocalcic crystallization of *Arbutus unedo* L. leaves. *Heliyon*, 4, e01011. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01011>
- Kesraoui, S., Andrés, M. F., Berrocal-Lobo, M., Soudani, S., and González-Coloma, A. (2022). Direct and indirect effects of essential oils for sustainable crop protection. *Plants*, 11(16), 2144. <https://doi.org/10.3390/plants11162144>
- Khosravi, R., Sendi, J. J., and Ghadamyari, M. (2010). Effect of *Artemisia annua* essential oil on digestive enzymes and physiological characteristics of *Plodia interpunctella*. *Journal of Plant Protection Research*, 50(4), 377–382. <https://doi.org/10.2478/v10045-010-0063-7>
- Khouchlaa, A., Rahimi, A., Mimouni, M., Rais, C., Khamar, H., and Zaakour, F. (2023). Phytochemical screening, total phenolic content and antioxidant activities of *Marrubium vulgare* L. collected in three development stages. *Notulae Scientia Biologicae*, 15(3), 11615.
- Kirillov, V., Stikhareva, T., Mukanov, B., Chebotko, N., Ryazantsev, O., Atazhanova, G., and Adekenov, S. (2016). Composition of the essential oil of *Thymus serpyllum* L. from Northern Kazakhstan. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 19(1), 212–222. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2015.1010600>
- Klingler, M., and Bucher, G. (2022). The red flour beetle *Tribolium castaneum*: Elaborate genetic toolkit and unbiased large-scale RNAi screening to study insect biology and evolution. *EvoDevo*, 13, Article 14. <https://doi.org/10.1186/s13227-022-00201-9>

- Kordali, S., Cakir, A., Mavi, A., Kilic, H., and Yildirim, A. (2018). Chemical composition and biological activity of essential oils of *Artemisia* species against stored product insects. *Industrial Crops and Products*, 108, 108–115. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.034>
- Kowalczewski, P. Ł., and Zembrzuska, J. (2023). Advances in biological activities and application of plant extracts. *Applied Sciences*, 13(16), 9324. <https://doi.org/10.3390/app13169324>
- Lee, B. H., and Lee, S. E. (2016). Insecticidal activity of thymol and related monoterpenoids against stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 68, 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.05.003>
- Lee, H. K., and Lee, H. S. (2016). Toxicities of active constituent isolated from *Thymus vulgaris* flowers and its structural derivatives against *Tribolium castaneum* (Herbst). *Applied Biological Chemistry*, 59(6), 821–826. <https://doi.org/10.1007/s13765-016-0230-3>
- Leelaja, B. C., Rajashekar, Y., and Rajendran, S. (2007). Detection of eggs of stored-product insects in flour with staining techniques. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.05.003>
- Li, Y., Zhang, W., Wang, H., Wang, S., and Liu, X. (2015). Bioactivity of *Artemisia* essential oil against stored product insects including *Tribolium castaneum*. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1902–1909.
- Lu, X.-X., Feng, Y.-X., Du, Y.-S., Wang, Y., Wang, X., and Zeng, X.-N. (2021). Insecticidal and repellent activity of *Thymus quinquecostatus* essential oil and major components against three stored-product insects. *Chemistry & Biodiversity*, 18(11), e2100374. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100374>
- Malki, M., Bendif, H., Adli, D. E. H., Miara, M. D., and Boudjelal, A. (2022). Solvent effect on extraction of phenolic compounds and antioxidant activity of medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 146, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.015>
- Malki, S., Nouadri, H., Bakli, R., and Boudjouref, M. (2022). A comparative study on phenolic profiles and biological activity of *Artemisia campestris* L. from Algeria as affected by extraction solvents. *South African Journal of Botany*, 148, 428–439. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.08.038>

- Mammeri, B. (2023). *Étude phytochimique et activités biologiques de Artemisia campestris* (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie).
- Marhold, K., and Mártonfi, P. (1998). Typification of the name *Thymus serpyllum* L. (Lamiaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 128(3), 271–276. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1998.tb02121.x>
- Mbaebie, B., Edeoga, H., and Afolayan, A. (2012). Phytochemical analysis and antioxidant activities of aqueous stem bark extract of *Schotia latifolia* Jacq. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(2), 118–124. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(11\)60204-9](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60204-9)
- McDonald, L. L., Guy, R. H., and Speirs, R. D. (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects (Marketing Research Report No. 882). Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA.
- Menaiaia, A. (2021). Determination of the bioactive compounds, antioxidant and antifungal activities of different extracts of *Marrubium vulgare* L. [Master's thesis, Université de Souk Ahras]. DSpace repository. <https://dspace.univ-soukahras.dz/items/53ac8b50-8773-413c-9faf-501801143dc1>
- Meyre Silva, C., and Cechinel Filho, V. (2010). A review of the chemical and pharmacological aspects of the genus *Marrubium*. *Current Pharmaceutical Design*, 16(31), 3503–3518. <https://doi.org/10.2174/138161210793563392>
- Michalak, M., Stryjecka, M., Zagórska-Dziok, M., and Żarnowiec, P. (2024). Biological activity of horehound (*Marrubium vulgare* L.) herb grown in Poland and its phytochemical composition. *Pharmaceuticals (Basel)*, 17(6), 780. <https://doi.org/10.3390/ph17060780>
- Miguel, M. G. (2010). Antioxidant activity of medicinal and aromatic plants: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 25(5), 291–312. doi.org/10.1002/ffj.1961
- Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287. <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>
- Mihoubi, D., Guelai, R., and Chabbi, S. (2023). *Évaluation de la toxicité de Marrubium vulgare chez Blattella germanica* (Master's thesis, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie).

- Mkaddem, M. G., Zrig, A., Ben Abdallah, M., Romdhane, M., Okla, M. K., Al-Hashimi, A., Alwase, Y. A., Hegab, M. Y., Madany, M. M. Y., and Hassan, A. H. A. (2022). Variation of the chemical composition of essential oils and total phenols content in natural populations of *Marrubium vulgare* L. *Plants*, 11(5), 612. <https://doi.org/10.3390/plants11050612>
- Mnonopi, N., Levendal, R. A., Davies-Coleman, M. T., and Frost, C. L. (2011). The cardioprotective effects of marrubiin, a diterpenoid found in *Leonotis leonurus* extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 138(1), 67–75. doi.org/10.1016/j.jep.2011.08.041
- Mole, S., & Waterman, P. G. (1987). A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies: I. Techniques for chemically defining tannins. *Oecologia*, 72(1), 137–147. <https://doi.org/10.1007/BF00385058>
- Mondal, S., Das, M., Debnath, S., Sarkar, B. K., and Babu, G. (2024). An overview of extraction, isolation and characterization techniques of phytocompounds from medicinal plants. *Natural Product Research*, 40(7), 1939–1961. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2426059>
- Moulay, M., Djerbaoui, M., Labdelli, F., Bouteldja, R., and Doucene, R. (2019). Physicochemical and phytochemical study of *Marrubium vulgare* L. (Lamiaceae family). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(2), Article 14. <https://doi.org/10.4314/jfas.v12i2.14>
- Moutassem, D., Boubellouta, T., Bellik, Y., Rouis, Z., Kucher, D. E., Utkina, A. O., Kucher, O. D., Mironova, O. A., Kavhiza, N. J., and Rebouh, N. Y. (2024). Insecticidal activity of *Thymus pallescens* de Noë and *Cymbopogon citratus* essential oils against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*. *Scientific Reports*, 14, 13951. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64757-3>
- Mrkonjić, Ž., Kaplan, M., Milošević, S., Božović, D., Sknepnek, A., Miletić, D., Lazarević Mrkonjić, I., Rakić, D., Zeković, Z., and Pavlić, B. (2024). Green extraction approach for isolation of bioactive compounds in wild thyme (*Thymus serpyllum* L.) herbal dust—chemical profile, antioxidant and antimicrobial activity and comparison with conventional techniques. *Plants*, 13(6), 897. <https://doi.org/10.3390/plants13060897>

- Mssillou, I., Agour, A., Hamamouch, N., Lyoussi, B., and Derwich, E. (2021). Chemical composition and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of *Marrubium vulgare* L. *The Scientific World Journal*, 2021, 7011493. <https://doi.org/10.1155/2021/7011493>
- Mulondo, S., Laassami, A., Kimbugwe, M., and Chelghoum, H. (2023). Assessment of *Marrubium vulgare* hydro-alcoholic extract's biological activities. *Algerian Journal of Biosciences*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.57056/ajb.v4i1.102>
- Muntean, D., and Vulpie, S. (2023). Antioxidant and antibacterial activity of plant extracts. *Antibiotics*, 12(7), 1176. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12071176>
- Naczki, M., and Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1–2), 95–111. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(04\)01409-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(04)01409-8)
- Naimi, I., Elhouiti, F., Oubihi, A., Oueld-M'hamed, I., Ouhssine, M., and Guessous, A. (2025). Chemical characterization, anti-cholinesterase and insecticidal activities of Moroccan *Artemisia absinthium* L. leaf extracts against *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 112, 102635. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2025.102635>
- Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., and Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1), 372–378.
- Nikolić, M., Glamočlija, J., Ferreira, I. C. F. R., Calhella, R. C., Fernandes, Â., Marković, T., Marković, D., Giweli, A., and Soković, M. (2015). Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 183–190. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2144-1>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2023). Chemical diversity, yield, and quality of aromatic plants. *Agronomy*, 13(6), 1614. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061614>
- Oueslati, S., Aidi Wannes, W., and Hamdaoui, G. (2020). *Marrubium vulgare* L.: Phytochemical composition, biological activities and pharmacological applications. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, Article ID 7355696. <https://doi.org/10.1155/2020/7355696>

- Oueslati, S., Ben Amara, H., Ksouri, R., El Fartah, S., and Aouadi, K. (2020). Bioactive compounds of *Marrubium vulgare* and pharmacological properties. *Molecules*, 25(5), 1101. <https://doi.org/10.3390/molecules25051101>
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307–315. <https://doi.org/10.5264/eiyogakuzashi.44.307>
- Pant, P., Pandey, S., and Dall'Acqua, S. (2021). The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. *Chemistry & Biodiversity*, 18(11), e2100345. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100345>
- Pathak, V. M., Verma, V. K., Rawat, B. S., Kaur, B., Babu, N., Sharma, A., Dewali, S., Yadav, M., Kumari, R., Singh, S., Mohapatra, A., Pandey, V., Rana, N., and Cunill, J. M. (2022). Current status of pesticide effects on environment, human health and its eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in Microbiology*, 13, 962619. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>
- Pavela, R. (2015). Essential oils for the development of eco-friendly insecticides. *Industrial Crops and Products*, 76, 174–187. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.049>
- Pavela, R. (2016). History, presence and perspective of using plant extracts as commercial botanical insecticides and farm products for protection against insects – A review. *Plant Protection Science*, 52(4), 229–241. <https://doi.org/10.17221/31/2016-PPS>
- Qaderi, M. M., Martel, A. B., and Strugnell, C. A. (2023). Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants*, 12(3), 447. <https://doi.org/10.3390/plants12030447>
- Rached, S., Imtara, H., Habsaoui, A., Mzioud, K., Haida, S., Saleh, A., Al Kamaly, O., Alahdab, A., Parvez, M. K., Ourras, S., and El Fartah, S. (2022). Characterization, chemical compounds and biological activities of *Marrubium vulgare* L. essential oil. *Processes*, 10(10), 2110. <https://doi.org/10.3390/pr10102110>
- Rajendran, S., and Sriranjini, V. (2008). Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44(2), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.08.003>
- Rattan, R. S. (2010). Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. *Crop Protection*, 29(9), 913–920. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.008>

- Richardson, P. M. (1985). *Phytochemical methods* (2nd ed.). J. B. Harborne. Brittonia, 37(3), 309. <https://doi.org/10.2307/2806080>
- Robertson, J. L., Russell, R. M., Preisler, H. K. and Savin, N. E. (2017). *Bioassays with Arthropods* (3rd ed.). CRC Press.
- Rossi, Y. E., Palacios, S. M., and Benelli, G. (2021). Insecticidal activity of essential oils against stored-product pests. *Foods*, 10(2), 200. <https://doi.org/10.3390/foods10020200>
- Salama, M. M., Taher, E. E., and El-Bahy, M. M. (2012). Molluscicidal and mosquitocidal activities of the essential oils of *Thymus capitatus* and *Marrubium vulgare* L. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 54(2), 99–104. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22983292/>
- Salamon, I. (2024). Medicinal, aromatic, and spice plants: Biodiversity, phytochemistry, bioactivity, and processing innovation. *Horticulturae*, 10(3), 280. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030280>
- Salido, S., Valenzuela, L. R., Altarejos, J., Nogueras, M., Sánchez, A., and Cano, E. (2004). Composition and infraspecific variability of *Artemisia herba-alba* from southern Spain. *Biochemical Systematics and Ecology*, 32, 265–277.
- Sampaio, B. L., Edrada-Ebel, R., and Da Costa, F. B. (2016). Effect of the environment on the secondary metabolic profile of plants. *Scientific Reports*, 6, 29265. <https://doi.org/10.1038/srep29265>
- Saroukolai, A. T., Moharramipour, S., and Meshkatsadat, M. H. (2009). Insecticidal properties of *Thymus persicus* essential oil against *Tribolium castaneum* and *Sitophilus oryzae*. *Journal of Pest Science*, 83(1), 3–8. <https://doi.org/10.1007/s10340-009-0261-1>
- Senthil Nathan, S. (2015). Effects of plant extracts on stored product insects: A review. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 117, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.10.006>
- Shruti, S., Trivedi, A., Chaudhary, K. B., and Jatinkumar, G. (2024). Global climate change and its effects on medicinal and aromatic plants: A review article. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2024/v14i14503>

Référence Bibliographiques

- Sileem, T. M., Mehany, A. L., and Hassan, R. S. (2020). Fumigant toxicity of some essential oils against red flour beetles, *Tribolium castaneum*, and its safety to mammals. *Brazilian Journal of Biology*, 80(4), 769–776. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.219529>
- Singleton, V. L., and Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144.
- Sri, M. L. S. (2022). A review on stored grain pests. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 5(7), 50–51. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6873150>
- Stathas, I. G., Sakellaridis, A. C., Papadelli, M., Kapolos, J., Papadimitriou, K., and Stathas, G. J. (2023). The effects of insect infestation on stored agricultural products and the quality of food. *Foods*, 12(10), 2046. <https://doi.org/10.3390/foods12102046>
- Surti, M., and Patel, M. (2024). Introduction to medicinal and aromatic plants: Diversity, biogeographic distribution and conservation status. In *Ethnobotany and ethnopharmacology of medicinal and aromatic plants* (pp. 1–24). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22842-1>
- Syam, S., Harahap, I. S., and Dadang. (2017). Fumigant and repellent effects of essential oil fractions of *Mentha piperita* against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, 28(2), 181–190. <https://doi.org/10.21082/bullittro.v28n2.2017.181-190>
- Tabet, Z. A., Amara, L., Zairi, M., Benchohra, H. A., Meziani, S., and Demmouche, A. (2023). Seasonal variations in the chemical composition of essential oil and antifungal and larvicidal activities of *Marrubium vulgare*, an aromatic plant growing wild in West-Algeria. *Anti-Infective Agents*, 21(2), 161–170. <https://doi.org/10.2174/2211352521666221206100828>
- Tisserand, R., and Young, R. (2014). *Essential oil safety: A guide for health care professionals* (2nd ed.). Churchill Livingstone/Elsevier.
- Toews, M. D., Arthur, F. H., and Campbell, J. F. (2005). Role of food and structural complexity on capture of *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) in simulated warehouses. *Environmental Entomology*, 34(1), 164–169.

- Tongnuanchan, P., and Benjakul, S. (2014). Essential oils: Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), R1231–R1249. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492>
- Touil, A., Bouterfas, K., Mehdadi, Z., and Latreche, A. (2022). Antioxidant activity variation depending on assay methods (DPPH, FRAP, ORAC). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(6), 45–53. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.120605>
- Touil, S., Aissaoui, R., and Rebhi, A. (2023). Total phenolic content, antioxidant potential and antibacterial activity of medicinal plants including *Artemisia campestris*. *South Asian Journal of Experimental Biology*. <https://sajeb.org/index.php/sajeb/article/view/717>
- Touil, S., Benrebiha, F. Z. (2014). Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia campestris* L. de la région aride de Djelfa. *Agrobiologia*, 4(1). <https://asjp.cerist.dz/en/article/119039>
- Touil, S., Sba, B. E. H., and Rebhi, A. A. (2025). Bio-efficacy of flavonoid extracts and plant powders of two *Artemisia* against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Environmental Sciences*, 11, 3315–3322.
- Trease, G. E., & Evans, W. C. (1989). *Trease and Evans' pharmacognosy*. Bailliere Tindall.
- Trendafilova, A., Todorova, M., Ivanova, V., Zhelev, P., and Aneva, I. (2023). Essential oil composition of ten species from Sect. *Serpyllum* of genus *Thymus* growing in Bulgaria. *Diversity*, 15(6), 759. <https://doi.org/10.3390/d15060759>
- Tyagi, S. K., Guru, P. N., Nimesh, A., Bashir, A. A., Patgiri, P., Mohod, V., and Khatkar, A. B. (2019). *Post-harvest stored product insects and their management* (Technical Bulletin No. AICRP on PHET/Pub./2019/02). ICAR–Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology (CIPHET), Ludhiana, Punjab, India.
- Valdez-Ramirez, A., de la Torre-Hernandez, M. E., Flores-Macias, A., Figueroa-Brito, R., Ramirez-Zamora, J., Castañeda-Espinosa, J. D., Ramos-Lopez, M. A., Arce-Bojorquez, B., Montoya-Moreno, M., Gutiérrez-Castro, K. P., Moreno-Zazueta, J. N., Madueña-Ángulo, S. E., Beltran-Ontiveros, S. A., and Diaz, D. (2026). Recent advances in the use of botanical extracts from *Jatropha* species for the sustainable control of insect pests: A systematic review and meta-analysis. *Sustainability*, 18, 3870. <https://doi.org/10.3390/su18083870>

Référence Bibliographiques

Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., and Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>

Zahnit, W., Smara, O., Bechki, L., Bensouici, C., Messaoudi, M., Benchikha, N., Larkem, I., Awuchi, C. G., Sawicka, B., and Simal-Gandara, J. (2022). Phytochemical profiling, mineral elements, and biological activities of *Artemisia campestris* L. grown in Algeria. *Horticulturae*, 8(10), 914. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100914>

Zhu, B. C. R., Henderson, G., Chen, F., Fei, H., and Laine, R. A. (2006). Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Artemisia lavandulaefolia* against two stored product insects. *Journal of Stored Products Research*, 42(3), 301–307. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2005.06.002>

Zhu, F., Wang, J., Zhou, X. M., Niu, C. Y., and Lei, C. L. (2006). Repellent and fumigant activity of essential oil from *Artemisia vulgaris* against *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 42(3), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2005.06.001>