الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N° Ref :……

Université El Moudjahid Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème :

Effet répulsif des huiles essentielles dans la protection des denrées stockées

Présenté par :

- **Dekkar Nesrine**

Devant le jury :

Kadjoudj Nadia	**Grade MCB**	**Présidente**
Amira Aicha	**Grade MCB**	**Examinatrice**
Menakh Mouna	**Grade MCA**	**Promotrice**

Année Universitaire : 2025/2026



بسم الله الرحمن الرحيم


قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ
وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie DIEU le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, Le Tout Puissant qui m'a donné la force, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

J'exprime d'abord mes remerciements et ma sincère gratitude à Dr. MENAKH Mouna pour avoir accepté de m'encadrer et pour ses conseils et ses précieuses orientations qu'elle n'a cessé de m'apporter tout au long de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères et ma profonde reconnaissance vont aux Membres Du Jury, Dr. KADJOUDJ Nadia et Dr. AMIRA Aicha, pour m'avoir donné l'opportunité d'évaluer ce travail.

Je remercie aussi tout Mes Enseignants Du Département de science de la nature et de vie.

Je remercie également Les Techniciens De Laboratoire qui ont contribué à ma formation. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. Mes remerciements s'adressent également à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je Dédie Ce Travail À:

<u>À Mes Chéres Parents:</u> Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Si je suis arrivée là, après le dieu c'est bien grâce à vous.

<u>À Ma Très Chère Mère:</u> La plus merveilleuse et la plus courageuse des mères, source de tendresse, de joie et de tous mes efforts. Tu as toujours été la lumière qui éclaire mon chemin et la meilleure amie que l'on puisse souhaiter avoir. Merci pour ton amour inconditionnel, ton soutien indéfectible, ta patience et tes sacrifices. Merci d'avoir toujours été à l'écoute, de m'avoir encouragée dans les moments difficiles et d'avoir cru en moi lorsque le doute s'installait. Grâce à tes conseils, à ta confiance et à ton affection, j'ai trouvé la force de poursuivre mon chemin et d'atteindre mes objectifs.

<u>À Mon Très Cher Père:</u>Pour son amour, son soutien indéfectible et sa patience infinie tout au long de mon parcours.Aucune dédicace ne saurait exprimer pleinement l'amour, l'estime, le respect et la profonde gratitude que je lui porte. Merci pour tous les sacrifices consentis, pour tes précieux conseils, ton encouragement constant et la confiance que tu as toujours placée en moi.

<u>À Ma Chère Sœur Et cher frère :</u> qui m'a toujours soutenu, je vous souhaite tout le bonheur du monde.

<u>À Ma Chère Tante MALIKA Et A Sa Famille:</u> Pour leur affection, leur bienveillance et leur soutien précieux tout au long de mon parcours.

<u>À Ma Chère Tante SEMRA Et A Sa Famille:</u> Pour leur présence constante, leur affection sincère et leur soutien dans les moments importants de ma vie. Avec toute ma gratitude et mon profond respect.

<u>À Mon Cher Fiancé Et Sa Famille</u>: pour leur soutien et leur affection.

Et À tous ceux qui me souhaitent du bien.

SOMMAIRE

Résumé en français	
Résumé en anglais	
Résumé en arabe	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	
Partie I: Etude bibliographique	
Chapitre 01: Les denrées stockées et leurs ennemis	
I. Les denrées alimentaires stockées	**3**
I.1. Définition	**3**
I.2. Types de denrées stockées	**3**
I.2.1. Les céréales	**3**
I.2.2. Les légumineuses	**3**
I.3. Conditions de stockage	**4**
I.3.1. Techniques traditionnelles	**4**
I.3.2. Techniques récentes	**4**
I.4. Facteurs favorisant l'infestation et la détérioration	**5**
II. Les insectes ravageurs des denrées stockées	**5**
II.1.Classification générale des insectes de stockage	**5**
II.2.Mécanismes d'infestation	**6**
II.3.Impacts qualitatifs et quantitatifs des infestations	**6**
III. Fiches taxonomiques des principaux ravageurs étudiés	**7**
III.1. *Tribolium castaneum*	**7**
III.1.1. Taxonomie	**7**
III.1.2. Morphologie du *Tribolium castaneum*	**8**
III.1.2.1. Œufs	**8**
III.1.2.2. Larves	**8**
III.1.2.3. Nymphe	**8**
III.1.2.4. Adulte	**9**
III.1.2.5. Cycle de vie	**9**
III.1.2.6. Habitats	**10**
III.1.2.7. Dégâts causés	**10**

III.2. *Oryzaephilus surinamensis* (Silvanidae)	**11**
III.2.1. Taxonomie	**11**
III.2.2. Morphologie *d'Oryzaephilus surinamensis*	**12**
III.2.2.1. Œufs	**12**
III.2.2.2. Larves	**12**
III.2.2.3. Nymphe	**13**
III.2.2.4. Adulte	**13**
III.2.2.5. Cycle de vie	**14**
III.2.2.6. Habitats	**14**
III.2.2.7. Dégâts causés	**14**
Chapitre 02 : Méthodes de lutte contre les insectes de stockage	
I. Méthodes physiques	**16**
I.1. Température (chaleur/froid)	**16**
I.2. Atmosphères modifiées	**16**
I.3. Inertage (CO_2, azote)	**16**
II. Méthodes chimiques	**17**
II.1.Insecticides de contact et fumigants	**17**
II.2.Effets secondaires : résistance, résidus, toxicité humaine & environnementale	**18**
III. Approches alternatives et éco-compatibles	**18**
III.1. Biopesticides	**18**
III.2. Plantes répulsives & extraits botaniques	**19**
IV. Place actuelle des huiles essentielles dans la lutte biologique	**19**
IV.1. Effets répulsifs des huiles essentielles sur les insectes de stockage	**19**
IV.1.1.Définition du pouvoir répulsif	**20**
IV.1.2.Mécanismes d'action sur les insectes	**20**
IV.1.3.Activation des récepteurs odorants	**20**
IV.1.4.Stress oxydatif ou neurotoxique sub-léthal	**21**
V. Huiles essentielles les plus étudiées contre les ravageurs	**21**
V.1.Principaux composés actifs	**21**
Chapitre 03 : Généralité sur la plante *Ammi visnaga*	
I. Description de la plante *Ammi visnaga*	**23**
II. Taxonomie d'espèce *Ammi visnaga*	**23**
II.1.Classification	**24**

II.2.Nomenclature	**24**
III. Etude phytochimique	**24**
IV. Utilisation traditionnelle	**25**
V. Activités biologiques	**26**
V.1. Activités larvicides et insecticides	**26**
V.2. Activité anti-inflamatoire	**26**
V.3. Activité antidiabétique	**26**
V.4. Activité antimicrobienne	**27**
V.5. Activité herbicide	**27**
V.6. Activité cytotoxique et anticancéreuse	**27**
V.7. Activité antimutagène	**27**
V.8. Activité sur le système cardiovasculaire	**28**
V.9. Activité antioxydante	**28**
Partie II: Partie expérimentale	
Chapitre 01: Matériel et Méthodes	
Objective	**30**
I. Matériel végétal	**30**
I.1. Récolte des plantes	**30**
I.2. Présentation de la zone d'étude	**30**
I.3. L'extraction des huiles essentielles	**31**
I.4. Détermination du rendement	**32**
II. Matériel entomologique	**33**
II.1.Identification des insectes des denrées stockées	**33**
II.1.1. Espèces identifiées	**33**
1. *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae)	**33**
2. *Oryzaephilus surinamensis* (Silvanidae)	**34**
II.2.Elevage des insectes	**35**
II.3.Evaluation de l'effet répulsif	**36**
III. Calculs statistiques	**40**
Chapitre 02: Résultats et discussion	
I. Rendement de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga*	**42**
II. Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h	**44**
III. Dose répulsif (DR_{50}) et (DR_{95}) de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h	**45**
Conclusion	
Références bibliographiques	

Résumés

Résumé

L'objectif de cette étude était de mettre en œuvre une méthode de lutte naturelle et efficace contre les insectes ravageurs des denrées stockées, tout en minimisant les risques pour la santé humaine et l'environnement. Dans ce contexte, l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* a été évaluée pour son activité répulsive à l'égard de deux ravageurs majeurs des produits stockés, *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*. Les essais de répulsion ont été réalisés conformément aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Les essais biologiques réalisés ont mis en évidence une activité répulsive remarquable de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* à l'égard des deux espèces étudiées. Les résultats obtenus ont montré que l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* possède une activité répulsive significative contre les deux espèces étudiées. Chez *Tribolium castaneum*, les doses répulsives déterminées étaient de DR_{50} =0,33 µL/cm² et DR_{95} = 0,72 µL/cm². Concernant *Oryzaephilus surinamensis*, les valeurs enregistrées étaient de DR_{50} = 0,23 µL/cm² et DR_{95} = 0,54 µL/cm². Les résultats mettent en évidence une augmentation de l'effet répulsif avec l'accroissement des concentrations appliquées, traduisant une relation dose-réponse caractéristique. Les doses répulsives obtenues confirment le potentiel de cette huile essentielle comme agent naturel de protection des denrées stockées contre les infestations de *T. castaneum* et *O. surinamensis*. Ainsi, les résultats de cette étude suggèrent que l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* constitue une alternative prometteuse aux insecticides chimiques conventionnels et pourrait être intégrée dans des stratégies de lutte plus durables, respectueuses de l'environnement et compatibles avec les exigences de sécurité sanitaire des produits stockés.

Mots clés: Effet répulsif , *Tribolium castaneum* , *Oryzaephilus surinamensis* , *Ammi visnaga* , huile essentielle.

Abstract

The objective of this study was to implement a natural and effective method for controlling insect pests on stored food, while minimizing risks to human health and the environment. In this context, the essential oil of *Ammi visnaga* was evaluated for its repellent activity against two major pests of stored products, *Tribolium castaneum* and *Oryzaephilus surinamensis*. The repulsion tests were carried out in accordance with the recommendations of the World Health Organization (WHO). The biological tests carried out have demonstrated a remarkable repulsive activity of the essential oil of *Ammi visnaga* with regard to the two species studied. The results obtained showed that the essential oil of *Ammi visnaga* has a significant repellent activity against the two species studied. In *Tribolium castaneum*, the repulsive doses determined were DR_{50} = 0.33 µL/cm2 and DR_{95} = 0.72 µL/cm 2. For *Oryzaephilus surinamensis*, the recorded values were DR_{50} = 0.23 µL/cm^2 and DR_{95} = 0.54 µL/cm^2. The results highlight an increase in the repulsive effect with increasing concentrations, reflecting a characteristic dose-response relationship. The repellent doses obtained confirm the potential of this essential oil as a natural agent for the protection of stored foodstuffs against infestations of *T. castaneum* and *O. surinamensis*. Thus, the results of this study suggest that *Ammi visnaga* essential oil is a promising alternative to conventional chemical insecticides and could be integrated into more sustainable control strategies, environmentally friendly and compatible with the health safety requirements of stored products.

Key words: Repellent effect, *Tribolium castaneum* , *Oryzaephilus surinamensis* , *Ammi visnaga* , essential oil.

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم فعالية وسيلة طبيعية وآمنة لمكافحة الحشرات الضارة بالمواد المخزنة، مع الحد من المخاطر المحتملة على صحة الإنسان والبيئة. وفي هذا الإطار، تم اختبار النشاط الطارد للزيت العطري لنبات ***Ammi visnaga*** تجاه نوعين من أهم آفات المنتجات المخزنة، وهما ***Tribolium castaneum*** و***Oryzaephilus surinamensis***. اجريت اختبارات الطرد وفقًا لتوصيات منظمة الصحة العالمية(WHO) ، وأظهرت النتائج البيولوجية المسجلة نشاطًا طاردًا ملحوظًا للزيت العطري المدروس تجاه النوعين المستهدفين. كما بينت النتائج أن هذا الزيت يمتلك فعالية طاردة معتبرة ضد كل من ***T. castaneum*** و***O. surinamensis*** بالنسبة لنوع ***T. castaneum***، بلغت الجرعة الطاردة لـ 50% من الأفراد (DR_{50}) قيمة **0.33 µL/cm²**، في حين بلغت الجرعة الطاردة لـ 95% من الأفراد (DR_{95}) قيمة **0.72 µL/cm²** أما بالنسبة لنوع ***O.surinamensis***، فقد سُجلت قيم **DR_{50} = 0.23 µL/cm²** و**DR_{95} = 0.54 µL/cm²** أظهرت النتائج كذلك أن التأثير الطارد يزداد بزيادة التراكيز المطبقة، مما يدل على وجود علاقة واضحة بين الجرعة والاستجابة. وتؤكد قيم الجرعات الطاردة المتحصل عليها الإمكانات الواعدة للزيت العطري لنبات ***A. visnaga*** كعامل طبيعي لحماية المواد المخزنة من إصابات ***T. castaneum*** و***O. surinamensis***. وعليه، تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن الزيت العطري لنبات ***A. visnaga*** يمثل بديلًا واعدًا للمبيدات الحشرية الكيميائية التقليدية، ويمكن إدماجه ضمن برامج المكافحة المتكاملة للآفات، بما يضمن استراتيجيات أكثر استدامة وصداقة للبيئة، ومتوافقة مع متطلبات السلامة الصحية للمنتجات المخزنة.

الكلمات المفتاحية : التأثير الطارد، خنفساء الدقيق الحمراء، خنفساء الحبوب المنشارية، الخلة البلدية، الزيت العطري.

Liste Des Figures

Figure N°	Titre	Page N°
Figure 1	*Tribolium castaneum* herbst	**8**
Figure 2	Larve de *Tribolium castaneum*	**8**
Figure 3	Nymphes de *Tribolium castaneum*	**9**
Figure 4	Adulte d' *Oryzaephilus surinamensis*	**12**
Figure 5	Larve d'*O. surinamensis*	**13**
Figure 6	Nymphe d'*O. surinamensis*	**13**
Figure 7	La plante *Ammi visnaga*	**23**
Figure 8	Formules chimiques de la khelline et visnagine	**25**
Figure 9	La plante *A. visnaga*	**30**
Figure 10	Localisation géographique de la zone d'étude (Ferdjioua) wilaya de Mila	**31**
Figure 11	Montage d'hydrodistillation (Clévenger)	**32**
Figure 12	L'huile essentielle de la plante *A. visnaga*	**32**
Figure 13	*Tribolium castaneum* adulte	**34**
Figure 14	*Oryzaephilus surinamensis* adulte	**35**
Figure 15	Elevage des insectes	**36**
Figure 16	Les doses préparées de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga*	**38**
Figure 17	Teste répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes de *T. castaneum.*	**38**
Figure 18	Teste répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes d'*O. surinamensis*	**39**
Figure 19	Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes de *T. castaneum.*	**39**
Figure 20	Rendement d'HE de la plante *A.visnaga*	**43**
Figure 21	Effet répulsif d'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes de *T. castaneum et O. surinamensis.*	**45**

Figure 22	Graphique log-probit de l'effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes de *T. castaneum*	**47**
Figure 23	Graphique log-probit de l'effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes d'*O. surinamensis*	**47**

Liste des Tableaux

Tableau N°	Titre	Page N°
Tableau 1	Taxonomie de *Tribolium castaneum*	**7**
Tableau 2	Taxonomie de *Oryzaephilus surinamensis*	**11**
Tableau 3	Classification de la plante *Ammi visnaga*	**24**
Tableau 4	Les concentrations appliquées (µL/cm²) pour le test répulsif sur demi-disque	**37**
Tableau 5	Pourcentage de répulsion selon le classement de **Mc Donald et al., 1970**	**37**
Tableau 6	Rendement et caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga*	**42**
Tableau 7	Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h	**44**
Tableau 8	Dose répulsif (DR50) et (DR95) de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h	**46**

Listes d'abréviations

µL/cm²: Microlitre par centimètre carré.

AV: *Ammi visnaga.*

DLD: Dihydrolipoamide déshydrogénase (gène DLD).

DPPH: le test de piégeage du radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

DR_{50}: La dose répulsive pour repousser 50% des insectes après 2h respectivement.

DR_{95}: La dose répulsive pour repousser 95% des insectes après 2h respectivement.

FAO: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

GABA: Acide γ-aminobutyrique.

GOT : Glutamate-oxaloacétate transaminase (aspartate aminotransférase).

GPT : Glutamate-pyruvate transaminase (alanine aminotransférase).

H.E : Huile essentielle.

HCT116: Lignée cellulaire humaine de carcinome colorectal.

HeLa: Lignée cellulaire humaine issue d'un carcinome du col utérin.

HepG2 : Lignée cellulaire humaine d'hépatocarcinome.

HT-144: Lignée cellulaire humaine de mélanome

IFN-γ: Interféron gamma.

IL-1β : Interleukine-1 bêta.

MCF7: Lignée cellulaire humaine d'adénocarcinome mammaire.

MHE: correspond à la masse d'huile essentielle (en grammes).

MP : la masse de la matière végétale sèche (en grammes).

NC : nombre d'insectes présents sur le demi-disque témoin (non traité).

ng/puceron: Nanogramme par puceron.

NT : nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité avec l'huile essentielle

OMS : organisation mondiale de la santé.

P : valeur signifiante.

P $_{O.\ surinamensis}$ **:** pourcentages de répulsion d'*O. surinamensis.*

P $_{T.\ castaneum}$ **:** pourcentages de répulsion de *T. castaneum.*

PIP: Les plantes génétiquement modifiées.

PR(%): pourcentage de répulsion.

R% : représente le rendement en huile essentielle.

ROS: Espèces réactives de l'oxygène.

TNF-α : Facteur de nécrose tumorale alpha.

X^2 : Khi-deux.

Introduction

Les insectes des denrées stockées constituent l'une des principales causes de détérioration des céréales au cours du stockage, affectant aussi bien leur quantité que leur qualité. La majorité de ces ravageurs appartiennent aux ordres des Coléoptères et des Lépidoptères. Chez les Coléoptères, les adultes et les larves sont responsables des dommages causés aux produits stockés, tandis que chez les Lépidoptères, les dégâts sont principalement attribués aux stades larvaires **(Karimzadeh et al., 2021)**. Parmi les espèces les plus redoutées figurent *Tribolium castaneum* (Herbst) et *Oryzaephilus surinamensis* (L.), deux ravageurs cosmopolites capables d'infester les céréales et les produits dérivés stockés, entraînant une diminution de leur qualité nutritionnelle et de leur valeur marchande **(Çiçek et al., 2026)**.

La gestion des ravageurs post-récolte joue un rôle essentiel dans la préservation de la sécurité alimentaire mondiale en limitant les pertes dues aux infestations et en assurant la conservation à long terme des produits agricoles stockés **(Oh et al., 2026)**. Le stockage des céréales représente ainsi un enjeu majeur pour l'agriculture et l'approvisionnement alimentaire des populations. Cependant, les grains entreposés demeurent exposés à de nombreux facteurs de détérioration, notamment les infestations d'insectes, le développement de microorganismes ainsi que les variations des conditions environnementales telles que la température et l'humidité. Ces facteurs peuvent provoquer des pertes de masse, une altération de la qualité des produits et diverses formes de contamination. Durant le stockage, plusieurs espèces nuisibles s'attaquent directement aux grains, les consomment et les contaminent par leurs déjections, réduisant ainsi leur qualité et leur valeur commerciale **(Mutalov et al., 2025)**.

Pour limiter les dégâts causés par les ravageurs des denrées stockées, différentes stratégies de lutte sont employées. Toutefois, les insecticides de synthèse demeurent les moyens les plus utilisés en raison de leur efficacité. Néanmoins, leur utilisation intensive a favorisé l'apparition de phénomènes de résistance chez de nombreuses espèces d'insectes, rendant leur contrôle de plus en plus difficile **(Teke et Mutlu, 2021)**. En outre, ces produits peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine en raison de leur toxicité résiduelle dans les denrées traitées et de leur utilisation parfois excessive ou inappropriée **(Teke et Mutlu, 2021)**. Les infestations entraînent également l'accumulation d'impuretés et de déchets biologiques susceptibles de favoriser le développement de moisissures, l'échauffement des stocks et l'apparition d'odeurs désagréables. La consommation de produits fortement infestés peut ainsi provoquer divers troubles sanitaires,

notamment des allergies respiratoires, des irritations cutanées et une perte d'appétit **(Teke et Mutlu, 2021)**.

Face aux limites des insecticides conventionnels, l'intérêt pour les méthodes alternatives de lutte ne cesse de croître. Parmi celles-ci, les extraits végétaux et les huiles essentielles occupent une place importante en raison de leurs nombreuses propriétés biologiques. Les huiles essentielles sont reconnues pour leur capacité à agir sur différents aspects de la biologie des insectes, notamment l'alimentation, l'accouplement, la ponte, le développement embryonnaire et l'éclosion des œufs. De nombreuses études ont également mis en évidence leurs activités insecticides, incluant la toxicité par contact, l'effet fumigeant, l'action répulsive ainsi que divers mécanismes d'action. Ces propriétés suggèrent que les huiles essentielles pourraient constituer une alternative prometteuse aux insecticides chimiques dans la protection des denrées stockées **(Teke et Mutlu, 2021)**.

Le présent travail a pour objectif principal d'évaluer l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* à l'égard de deux ravageurs majeurs des denrées stockées, *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*.

Afin d'atteindre cet objectif, ce mémoire est structuré en trois parties précédées d'une introduction générale.

- La première partie, consacrée à l'étude bibliographique, comprend trois chapitres. Le premier chapitre présente les principaux insectes nuisibles étudiés, à savoir *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*. Le deuxième chapitre traite des différentes méthodes de lutte utilisées contre les ravageurs des denrées stockées. Le troisième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques botaniques, phytochimiques et biologiques d'*Ammi visnaga*.
- La deuxième partie décrit le matériel biologique et végétal utilisé ainsi que les méthodes expérimentales mises en œuvre pour évaluer l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga*.
- La troisième partie est dédiée à la présentation des résultats obtenus, suivie de leur analyse et de leur discussion.

Enfin, ce mémoire s'achève par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives de recherche qui en découlent.

Partie I:
Etude Bibliographique

Chapitre 01:
Les denrées stockées et leurs ennemis

I. Les denrées alimentaires stockées

I.1. Définition

Les céréales et leurs dérivés constituent la principale base de l'alimentation humaine, fournissant une importante source d'énergie et de protéines. Environ 75 % de leur production est destinée à la consommation humaine, couvrant près de 15 % des besoins énergétiques mondiaux, tandis qu'une part est utilisée pour l'alimentation animale et d'autres usages industriels.Les légumineuses représentent une source majeure de protéines végétales, riches en minéraux essentiels et en lysine. Elles complètent le profil nutritionnel des céréales grâce à leur forte complémentarité, permettant de compenser le déficit en protéines animales **(Hebbaz et Berramdane, 2022).**

I.2. Types de denrées stockées

I.2.1. Les céréales

Les céréales sont des plantes de la famille des Poacées dont le grain riche en amidon est destiné à l'alimentation humaine et animale, constituant depuis l'Antiquité une base essentielle de la sécurité alimentaire **(Khellaf et Kermiche, 2020).** On distingue trois grands groupes principaux : les céréales à paille (blé, orge, seigle, avoine), le maïs et le riz, représentant environ 75 % de la consommation mondiale. En Algérie, le blé et l'orge dominent la production **(Bakroune, 2021).** En raison du caractère saisonnier de leur production, le stockage est indispensable et peut s'étendre de quelques jours à plus d'un an pour assurer la disponibilité alimentaire **(Fareh, 2020).**

I.2.2. Les légumineuses

Les légumineuses sont des plantes de la famille des Leguminosae, produisant des graines comestibles utilisées depuis des millénaires en alimentation humaine et animale **(Lakhial, 2018).** Elles figurent parmi les premières espèces domestiquées dans le Croissant fertile, et leur utilisation est attestée dès l'Antiquité, notamment dans les régimes alimentaires de la Rome antique. Dans la région méditerranéenne, les principales espèces cultivées sont le pois sec, la féverole, les vesces, la lentille et le pois chiche **(Hebbaz et Berramdane, 2022).**

I.3. Conditions de stockage

I.3.1. Techniques traditionnelles

Les techniques traditionnelles regroupent principalement le séchage et la ventilation, qui constituent les méthodes les plus couramment utilisées pour prévenir la dégradation des denrées stockées. Ces procédés sont particulièrement répandus dans les pays tempérés. Dans les régions chaudes, on recourt davantage à la ventilation de refroidissement afin de limiter l'élévation de la température des stocks **(Hebbaz et Berramdane, 2022).**

I.3.2. Techniques récentes

Parmi les techniques modernes de conservation, on distingue :

- **Conservation en atmosphère confinée :**
  Cette méthode, également utilisée de manière traditionnelle dans certaines régions (ex. greniers souterrains), consiste à stocker les grains dans des structures hermétiques, limitant ainsi les échanges gazeux.
- **Conservation sous gaz neutre :**
  Elle repose sur le remplacement de l'air interstitiel par un gaz inerte (azote ou mélange azote–dioxyde de carbone), ce qui permet de limiter la respiration des insectes et des micro-organismes.
- **Conservation sous vide :**
  Le principe consiste à appliquer un vide afin de détruire les insectes et inhiber le développement des micro-organismes. Deux techniques sont couramment utilisées :
  - ✓ stockage en grandes poches en polyéthylène.
  - ✓ stockage en petits sacs plastiques aluminisés.
- **Conservation par le froid :**
  Elle s'effectue dans des entrepôts réfrigérés. Le développement des insectes est stoppé en dessous de 10 °C, tandis que celui des micro-organismes ainsi que le métabolisme des grains sont fortement ralentis à basse température **(Hebbaz et Berramdane, 2022).**

I.4. Facteurs favorisant l'infestation et la détérioration

La détérioration des grains stockés résulte de facteurs abiotiques et biotiques. Une ventilation insuffisante et une humidité élevée augmentent la respiration des grains et favorisent le développement des champignons, entraînant la production de mycotoxines dangereuses pour la santé **(Mutalov et al., 2025)**.Une forte teneur en eau constitue un facteur majeur de pertes, en facilitant la prolifération des insectes (*Rhyzopertha dominica*, *Trogoderma granarium*, *Tribolium castaneum*) et des acariens (*Acarus*, *Rhizoglyphus*), ce qui altère la qualité, la viabilité et les propriétés technologiques des grains **(Hafiz Yousuf et al., 2025)**.Pour y remédier, des méthodes de conservation telles que les traitements chimiques, le stockage hermétique et le contrôle des conditions de température et d'humidité sont utilisées **(Mutalov et al., 2025).**

II. Les insectes ravageurs des denrées stockées

Les insectes infestant les produits agricoles stockés, également appelés insectes des denrées alimentaires, se développent dans les céréales, les légumineuses et les fruits secs, dont ils se nourrissent. Ils prolifèrent dans divers environnements, notamment les industries agroalimentaires, les exploitations agricoles et les silos de stockage **(Bouziane et Fassouli, 2021).**

II.1. Classification générale des insectes de stockage

Les insectes des denrées stockées sont classés en trois catégories principales **:** ravageurs primaires, secondaires et tertiaires.

Les ravageurs primaires attaquent les grains intacts en se développant à l'intérieur et en se nourrissant de l'endosperme, ce qui les rend particulièrement nuisibles **(Khalfi, 2023 ; Bouziane et Fassouli, 2021).** Parmi eux figurent les charançons, Rhyzopertha dominica et les trogodermes des grains **(Khalfi, 2023).**

Les ravageurs secondaires se développent à l'extérieur des grains et infestent principalement les grains endommagés, les débris ou les produits broyés ; certaines espèces sont aussi mycétophages **(Bouziane et Fassouli, 2021).** Parmi eux figurent *Oryzaephilus surinamensis*, les ptines et les ténébrions **(Khalfi, 2023).**

Les ravageurs tertiaires sont principalement des espèces prédatrices qui se nourrissent des ravageurs primaires et secondaires (larves et adultes). Ils incluent notamment certains arthropodes prédateurs et des hyménoptères parasitoïdes **(Khalfi, 2023).**

II.2. Mécanismes d'infestation

Les denrées alimentaires sont sujettes aux infestations d'insectes depuis l'Antiquité, causant d'importantes pertes, notamment par les coléoptères, lépidoptères et acariens, favorisés par les conditions des grains secs **(Khalfi, 2023).** L'infestation peut survenir au champ, durant la post-récolte ou en stockage, et résulter d'une contamination interne, environnementale ou du mélange de grains infestés. Ces insectes réduisent la valeur nutritive et le pouvoir germinatif des graines et sont généralement classés en ravageurs primaires et secondaires **(Amour et Bessebaa, 2022 ; Bouziane et Fassouli, 2021).**

II.3. Impacts qualitatifs et quantitatifs des infestations

Les insectes ravageurs des denrées stockées provoquent des pertes importantes, estimées à environ 20 % dans les pays développés et jusqu'à 20–40 % des récoltes mondiales selon la FAO, avec un impact plus marqué dans les pays en développement en raison de conditions de stockage précaires. Les dégâts sont à la fois quantitatifs et qualitatifs : outre la consommation directe, les insectes contaminent les produits (déjections, odeurs, débris), favorisant le développement microbien **(Hamzaoui et Ghouila, 2021).**Par exemple, *Oryzaephilus surinamensis* est un ravageur majeur des dattes et d'autres produits stockés, pouvant entraîner leur décomposition et une perte significative de qualité et de valeur marchande **(Mohsin et al., 2025).**

• **Perte de poids :** liée à la consommation des réserves par les insectes, pouvant atteindre 10 à 40 % en conditions tropicales, voire 80 à 100 % après stockage prolongé même à faible infestation, notamment chez le pois chiche attaqué par *Callosobruchus maculatus* **(Hamzaoui et Ghouila, 2021 ; Khellaf et Kermiche, 2020).**

• **Diminution du pouvoir germinatif :** due aux dommages causés à l'embryon, empêchant la germination **(Hamzaoui et Ghouila, 2021).**

• **Perte de valeur nutritive :** résultant de la consommation du germe et des réserves, avec une réduction des protéines et autres composés essentiels. L'infestation favorise aussi la contamination fongique (ex. *Aspergillus flavus*) et la production d'aflatoxines **(Khellaf et Kermiche, 2020 ; Mohsin et al., 2025).**

• **Perte de qualité et de valeur marchande :** caractérisée par des grains dégradés, contaminés, altérés en odeur et en goût, les rendant impropres à la consommation ou à la commercialisation **(Hamzaoui et Ghouila, 2021 ; Mohsin et al., 2025).**

III. Fiches taxonomiques des principaux ravageurs étudiés

III.1. *Tribolium castaneum*

Les insectes des denrées stockées, dont *Tribolium castaneum*, constituent une part importante des ravageurs associés aux produits stockés **(Bounechada et Arab, 2011) .**

III.1.1. Taxonomie

Tribolium castaneum est un coléoptère initialement décrit sous le nom de *Dermestes navalis* par Johan Christian Fabricius en 1775 ; cette appellation est aujourd'hui abandonnée dans la nomenclature. Par la suite, l'espèce a été redécrite sous le nom de *Colydium castaneum* par Johann Friedrich Herbst en 1797. Elle a finalement été désignée sous le nom de *Tribolium castaneum* en 1825, après son classement dans la famille des Tenebrionidae **(Mbacké, 2019).**

Tableau 1: Taxonomie de *Tribolium castaneum* **(Bouchaar et Chennib, 2025).**

Régne	Animalia
Embrenchement	*Arthropoda*
Classe	*Insecta*
Ordre	*Coleoptera*
Famille	*Tenebrionidae*
Genre	*Tribolium*
Espèce	*Tribolium castaneum*

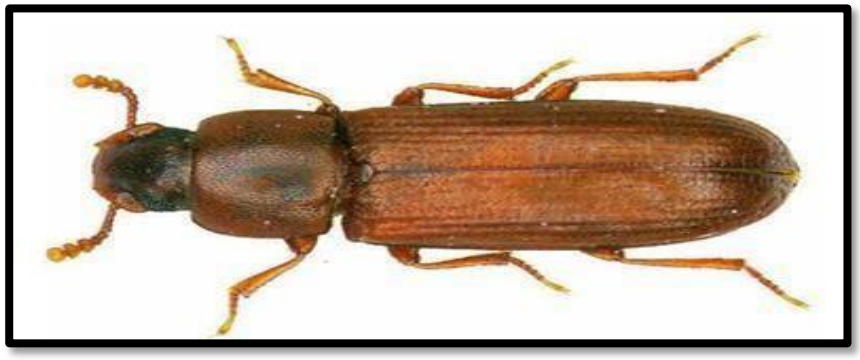


Figure 1 : *Tribolium castaneum* herbst **(Taibi et Kahlal, 2022).**

III.1.2. Morphologie du *Tribolium castaneum*

III.1.2.1. Œufs

Les œufs sont de couleur blanchâtre ou translucide et de taille microscopique, avec des particules alimentaires souvent adhérées à leur surface **(Derbouz , 2024)**.

III.1.2.2. Larves

Les larves sont vermiformes et dotées de pattes **(Derbouz, 2024)**.Elles possèdent six pattes et présentent deux projections pointues à l'extrémité caudale **(Mbacké Dia, 2019).**Le dernier segment abdominal se termine par une paire d'urogomphes recourbés vers le haut, disposés dans un plan perpendiculaire à l'axe du corps **(Tirakmet, 2015).** La capsule céphalique ainsi que la face dorsale présentent une teinte légèrement rougeâtre **(Derbouz, 2024)**.



Figure 2 : Larve de *Tribolium castaneum* **(Khalfi, 2023).**

III.1.2.3. Nymphe

La nymphe, formée après la dernière mue larvaire, ne se nourrit pas. Au cours de ce stade, l'insecte subit une métamorphose complète, impliquant des transformations internes et

externes, conduisant à l'apparition du stade adulte **(Tirakmet, 2015).** La nymphe présente une forme cylindrique et une coloration blanchâtre tendant vers le jaune. La partie terminale de l'abdomen est caractérisée par la présence de deux épines **(Derbouz , 2024).**



Figure 3 : Nymphes de *Tribolium castaneum* **(Derbouz, 2024).**

III.1.2.4. Adulte

Tribolium castaneum est un coléoptère de la famille des Tenebrionidae, mesurant 4 à 5 mm, de couleur brun rougeâtre uniforme, avec un corps allongé, des antennes à dernier article légèrement renflé, des yeux ovales sans bourrelet sus-oculaire et des élytres striés longitudinalement ponctués **(Mbacké Dia, 2019).** Les tarses présentent cinq articles aux pattes antérieures et médianes contre quatre aux postérieures, et les téguments sont robustes et sombres. La différenciation des sexes est possible à différents stades, mais elle est plus aisée au stade nymphal **(Derbouz, 2024 ; Mbacké Dia, 2019).** Au stade nymphal, les deux sexes possèdent deux urogomphes à l'extrémité abdominale. Les femelles se distinguent par des papilles génitales plus développées situées en avant des urogomphes, tandis que les mâles présentent des urogomphes plus petits et arrondis. Chez l'adulte, un caractère sexuel secondaire est observable au niveau du fémur antérieur : les mâles possèdent un tubercule pilifère arrondi absent chez les femelles **(Tirakmet, 2015 ; Mbacké Dia, 2019).**

III.1.2.5. Cycle de vie

Tribolium castaneum est un insecte holométabole dont le cycle de vie comprend les stades œuf, larve, nymphe et adulte **(Tirakmet, 2015).** La femelle commence à pondre dès l'âge de trois jours, avec une production totale pouvant atteindre 500 à 800 œufs déposés directement dans les denrées infestées **(Derbouz, 2024 ; Tirakmet, 2015).** L'éclosion

survient après environ cinq jours à 30 °C. Les larves vivent librement dans les aliments, subissent 5 à 11 mues et passent par plusieurs stades larvaires (jusqu'à 13 selon les conditions), avec une durée de développement de 3 à 9 semaines. La nymphose se déroule sans cocon et l'adulte émerge environ six jours après la formation de la nymphe **(Mbacké Dia, 2019 ; Derbouz, 2024).** Le développement optimal se situe entre 30 et 33 °C, tandis qu'il est interrompu en dessous de 22 °C. La durée du cycle et la longévité varient fortement selon la température et le substrat, allant de quelques mois à plus d'un an dans certaines conditions **(Tirakmet, 2015 ; Derbouz, 2024).**

III.1.2.6. Habitats

Tribolium castaneum est une espèce d'origine asiatique aujourd'hui cosmopolite, présente surtout en régions tropicales et capable de survivre en zones froides dans des lieux de stockage chauffés. Ancien ravageur attesté depuis l'époque de Toutankhamon, il se disperse notamment par le vol des adultes et présente souvent une résistance aux insecticides, favorisant sa persistance **(Derbouz, 2024 ; Lallali et al., 2023).**Ravageur majeur des denrées stockées, notamment des farines et produits céréaliers, *Tribolium castaneum* attaque principalement les grains endommagés (surtout le germe) et possède un régime alimentaire varié (mycophage, nécrophage, cannibale). Lucifuge et nocturne, il s'adapte aux environnements chauds et arides, ce qui favorise son infestation **(Tirakmet, 2015 ; Taibi et Kahlal, 2022).**

III.1.2.7. Dégâts causés

Tribolium castaneum est un ravageur majeur des denrées stockées, particulièrement des produits amylacés comme les farines **(Derbouz, 2024).** Il infeste de nombreux produits (céréales, farines, tubercules, fruits secs, épices, cacao, etc.) et agit comme ravageur secondaire en s'attaquant aux grains déjà endommagés, dont il consomme surtout le germe **(Taibi et Kahlal, 2022 ; Tirakmet, 2015).**Les fortes infestations peuvent entraîner du cannibalisme et une contamination des denrées par des sécrétions malodorantes, altérant leur goût, leur odeur et favorisant les moisissures, ce qui dégrade fortement la qualité des produits, notamment les farines **(Derbouz, 2024 ; Tirakmet, 2015).**

III.2. *Oryzaephilus surinamensis* (Silvanidae)

Les Silvanidae, anciennement inclus dans les Cucujidae, regroupent des coléoptères détriticoles et corticoles associés aux produits stockés humides et considérés comme indicateurs de stockage imparfait. *Oryzaephilus surinamensis* est un ravageur secondaire mondial des céréales. En conditions défavorables, ses larves peuvent devenir prédatrices ou saprophytes, et sa morphologie aplatie facilite l'infestation des emballages alimentaires attirés par les odeurs **(Laoudi, 2023).**

III.2.1. Taxonomie

Oryzaephilus surinamensis est une espèce psychophage et synanthrope. Elle a été décrite pour la première fois par Carl Linnaeus en 1758 à partir de spécimens provenant du Suriname (Guyane néerlandaise), ce qui explique son nom spécifique *surinamensis* **(Laoudi, 2023).**

le silvain dentelé occupe **la position systématique** suivante :

Tableau 2: Taxonomie de *Oryzaephilus surinamensis* **(Laoudi, 2023).**

Règne	**Animalia**
Embranchement	*Arthropoda*
Classe	*Insecta*
Ordre	*Coleoptera*
Famille	*Silvanidae*
Genre	*Oryzaephilus*
Espèce	*O. surinamensis* Linné, 1758 (Ganglbauer, 1899)

Nom commun: silvain, cucujide dentelé (sawtoothed grain beetle) **(Laoudi, 2023).**

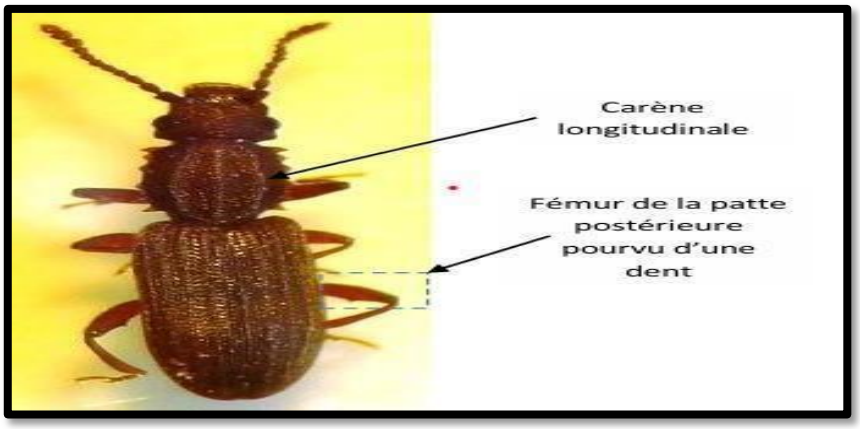


Figure 4 : Adulte d' *Oryzaephilus surinamensis* **(Laoudi, 2023).**

III.2.2. Morphologie *d'Oryzaephilus surinamensis*

III.2.2.1. Œufs

L'œuf mesure environ 0,81 mm de longueur et 0,26 mm de largeur **(Laoudi, 2023) .** Les femelles d'*Oryzaephilus surinamensis* pondent des œufs fraîchement déposés, initialement de couleur blanche**(Mohsin et al., 2025).** Brillant, de forme ovale allongée et doté d'une coquille lisse, l'œuf est recouvert d'une substance visqueuse **(Laoudi, 2023)**. À mesure que les œufs approchent de l'éclosion et se préparent à donner naissance aux larves, leur coloration devient progressivement brunâtre **(Mohsin et al., 2025).**

III.2.2.2. Larves

La larve de *Oryzaephilus surinamensis* est vermiforme, mobile, munie de pattes et d'antennes à deux articles dont le second porte un organe papilliforme **(Laoudi, 2023).** Son développement comprend plusieurs stades : initialement jaunâtre et peu active, elle devient progressivement plus mobile avec une meilleure capacité de recherche alimentaire et une différenciation accrue des structures **(Mohsin et al., 2025).**

Aux stades avancés, la larve prend une coloration brunâtre, avec des appendices et des ocelles bien développés, et une activité alimentaire intense favorisant les infestations. Au dernier stade, elle forme un cocon de soie pour se nymphoser, marquant le passage à l'adulte **(Laoudi, 2023).**



Figure 5 : Larve d'*O. surinamensis* **(Laoudi,2023)**.

III.2.2.3. Nymphe

La nymphe mesure en moyenne 2,33 mm de longueur et 0,68 mm de largeur. Elle est resserrée et de couleur blanche au début, puis se pigmente progressivement et se kératinise, en acquérant progressivement la morphologie de l'adulte au bout de quelques jours. **(Laoudi, 2023)** .Les pupes présentent un corps étroit, initialement protégé par un cocon, et leur coloration s'assombrit progressivement. Après quelques jours, une fente apparaît au niveau de l'extrémité antérieure, indiquant l'émergence imminente de l'adulte **(Mohsin et al., 2025)**.



Figure 6 : Nymphe d'*O. surinamensis* **(Laoudi, 2023)**.

III.2.2.4. Adulte

Oryzaephilus surinamensis est un petit insecte brun foncé, élancé et très actif, mesurant 2,5 à 3 mm à l'état adulte (larve : 4–5 mm), caractérisé par une tête triangulaire, des antennes en perles et un pronotum muni de six dents latérales et de carènes longitudinales **(Nika et al., 2020 ; Laoudi, 2023).** Le tarse comporte cinq segments, dont le dernier est allongé, et l'adulte vole rarement **(Laoudi, 2023).**Un dimorphisme sexuel est présent : le mâle possède une dent sur le fémur postérieur, tandis que la femelle est légèrement plus grande et plus lourde ; les structures génitales mâles sont spécifiques, avec un sac interne denté et des paramères à soies fourchues **(Laoudi, 2023).**

III.2.2.5. Cycle de vie

Le cycle de vie d'*Oryzaephilus surinamensis*, de l'œuf à l'adulte, s'étend généralement sur un à dix mois, en fonction des conditions environnementales. Le développement optimal se situe à des températures comprises entre 17,5 et 37,5 °C, la croissance la plus rapide étant observée entre 32,5 et 35 °C avec une humidité relative de 90 %. Cette espèce se reproduit toute l'année dans les climats chauds, tandis que dans les zones tempérées, elle peut produire jusqu'à cinq générations par an . Bien que les fruits séchés constituent la source alimentaire principale, le développement est légèrement plus lent sur ce substrat comparé aux céréales **(Mohsin et al., 2025).**

III.2.2.6. Habitats

Oryzaephilus surinamensis est un ravageur ancien, attesté depuis le Néolithique et retrouvé dans des contextes historiques (tombe de Toutankhamon, site d'En Gedi). Il est aujourd'hui cosmopolite, particulièrement présent en zones tropicales et diffusé vers les régions tempérées via le commerce **(Laoudi, 2023).**Son développement optimal se situe entre 30 et 35 °C avec 70 à 90 % d'humidité, permettant un cycle rapide d'environ 20 jours, avec une limite thermique autour de 37,5 °C. Espèce très polyphage, il infeste de nombreuses denrées stockées (céréales, farines, fruits secs, sucre, etc.), causant des pertes et contaminations importantes **(Gharsan et al., 2018 ; Mohsin et al., 2025).**

III.2.2.7. Dégâts causés

Oryzaephilus surinamensis est un ravageur très polyphage des denrées stockées (céréales, farines, fruits secs, noix, sucre, etc.), causant des pertes importantes par perforation des grains et contamination (déjections, sécrétions), rendant les produits impropres à la consommation et réduisant leur valeur commerciale **(Laoudi, 2023).** Les infestations sévères entraînent la dégradation de produits comme les dattes et une diminution de la valeur nutritive (réduction des acides aminés, lipides essentiels), tandis que les adultes sont attirés par les composés volatils détectés par leurs antennes.

Chapitre 02 : Méthodes de lutte contre les insectes de stockage

I. Méthodes physiques

La lutte physique constitue une méthode alternative efficace pour le contrôle des ravageurs des denrées stockées. Elle repose sur l'utilisation de facteurs physiques tels que le froid, la chaleur, les radiations infrarouges et ultrasonores, les rayonnements ultraviolets ainsi que les rayons gamma, afin de limiter ou éliminer les infestations sans recours aux produits chimiques **(Sekrane, 2023).**

I.1. Température (chaleur/froid)

La température influence fortement l'activité enzymatique et hormonale des insectes, ce qui peut modifier leur cycle de développement et entraîner leur mortalité **(Zhang et al., 2025).**La lutte thermique repose sur deux approches principales. La lutte par la chaleur consiste à élever la température au-delà de 50 °C, permettant la destruction des insectes à tous les stades. Des traitements par séchage ou chauffage des grains (jusqu'à environ 60 °C pendant 10 minutes) peuvent éliminer efficacement les ravageurs sans altérer la qualité technologique ni le pouvoir germinatif, bien qu'une diminution de l'humidité soit observée **(Bencheikh, 2021; Sekrane, 2023).**À l'inverse, la lutte par le froid repose sur l'abaissement de la température de stockage. Le développement des insectes est fortement inhibé en dessous de 10–12 °C, et peut entraîner la mortalité, notamment aux premiers stades larvaires **(Bencheikh, 2021 ; Zhang et al., 2025 ; Sekrane, 2023).**

I.2. Atmosphères modifiées

La lutte sous atmosphère modifiée est une méthode physique de protection des céréales stockées consistant à modifier la composition des gaz dans les espaces de stockage afin de créer des conditions défavorables aux insectes et aux moisissures, réduisant ainsi les infestations. Elle constitue une alternative écologique aux traitements chimiques et est de plus en plus utilisée pour la conservation des denrées. Le traitement à l'ozone est une approche complémentaire efficace, se décomposant rapidement en oxygène sans résidus toxiques, ce qui en fait une solution durable et respectueuse de l'environnement **(Lin et al., 2025).**

I.3. Inertage (CO_2, azote)

Les traitements sous atmosphère modifiée, basés sur une faible teneur en O_2 et une forte concentration en CO_2 ou N_2, sont une méthode efficace de lutte contre les arthropodes des denrées stockées **(Hashem et al., 2012).** Le CO_2 est largement utilisé pour la désinfection des

produits secs en systèmes hermétiques (silos), avec une efficacité dépendant de la température et de la durée d'exposition, pouvant varier de quelques jours à plusieurs semaines. Son effet varie selon les espèces, les stades et l'âge des insectes ; des concentrations modérées (2–8 % CO_2 avec 2–4 % O_2) augmentent la mortalité et réduisent le développement et la reproduction. Le CO_2 influence la respiration, la croissance et la reproduction des insectes et peut aussi servir d'indicateur d'activité biologique dans les stocks. L'efficacité du traitement dépend fortement des conditions environnementales (température, humidité et composition des gaz) **(Shen et al., 2026 ; Hashem et al., 2012).**

II. Méthodes chimiques

En raison de leur efficacité élevée et de leur facilité d'application, les produits chimiques constituent actuellement la méthode la plus utilisée pour lutter contre les organismes nuisibles des denrées stockées . Il existe Deux principaux types de traitement sont généralement employés :le traitement de contact et la fumigation **(Bencheikh, 2021).**

II.1. Insecticides de contact et fumigants

Un fumigant est un agent chimique sous forme de gaz toxique, capable de se diffuser et de pénétrer efficacement dans les produits stockés, où il agit en perturbant les fonctions biologiques vitales des organismes jusqu'à leur mort. Parmi les fumigants les plus utilisés historiquement figurent le bromure de méthyle et la phosphine **(Machuca Mesa et al., 2024).**

Le bromure de méthyle a été largement utilisé depuis les années 1940 comme fumigant efficace et peu coûteux pour la protection des céréales stockées. Cependant, son impact négatif sur la couche d'ozone et ses risques potentiels pour la santé humaine, notamment son classement en cancérogène de groupe 3, ont conduit à la remise en question de son utilisation **(Lin et al., 2025).**

D'autres fumigants, tels que la phosphine, l'oxyde d'éthylène et le fluorure de sulfuryle, présentent également des risques de toxicité, de contamination résiduelle et de développement de résistances chez les insectes **(Lin et al., 2025).**

La phosphine reste néanmoins largement utilisée en raison de son faible coût, de sa forte capacité de pénétration et de son efficacité contre tous les stades des insectes, notamment dans les systèmes de stockage hermétiques **(Hashem et al., 2025).**Le traitement de contact consiste

à appliquer des insecticides sur les grains ou les surfaces de stockage, agissant directement sur les ravageurs avec un effet plus lent mais durable **(Bencheikh, 2021).**Parmi les alternatives, les zéolithes aluminosilicates hydratés à structure poreuse, présentent un fort potentiel insecticide grâce à leur capacité d'adsorption et leur action par dessiccation, similaire à celle des terres de diatomées. Elles sont efficaces contre plusieurs ravageurs des denrées stockées, dont *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica* et *Tribolium castaneum* **(Eroglu et al., 2019).**Enfin, l'ozone constitue une alternative prometteuse, agissant par oxydation et provoquant des dommages cellulaires irréversibles chez les insectes, tout en ne laissant pas de résidus toxiques **(Abdelfattah et al., 2021).**

II.2. Effets secondaires : résistance, résidus, toxicité humaine & environnementale

L'utilisation du bromure de méthyle a été progressivement interdite en raison de son rôle majeur dans la destruction de la couche d'ozone et la formation du trou d'ozone **(Abd El-Salam et al., 2019).** Par ailleurs, l'usage répété et non contrôlé de la phosphine a entraîné le développement de résistances chez plusieurs ravageurs des denrées stockées, notamment *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, *Rhyzopertha dominica* et *Lasioderma serricorne*. Ces résistances, parfois très élevées, reposent sur des mécanismes tels que la détoxification métabolique et la réduction de l'activité respiratoire liée à des altérations mitochondriales. Des mutations du gène DLD, impliqué dans la chaîne respiratoire, contribuent également à cette tolérance accrue **(Hashem et al., 2025).**

III. Approches alternatives et éco-compatibles

III.1. Biopesticides

Les biopesticides représentent une approche émergente de protection des cultures, définis comme des agents issus de micro-organismes, de substances naturelles végétales ou de formulations biosourcées **(Reyes-Ávila et al., 2024).** Les biopesticides d'origine végétale reposent principalement sur l'utilisation d'huiles essentielles et d'extraits de plantes pour lutter de manière ciblée et naturelle contre les ravageurs **(Babaousmail, 2019).**

Ils sont classés en trois grandes catégories : les biopesticides microbiologiques, les biopesticides botaniques et les plantes génétiquement améliorées conférant une résistance aux ravageurs **(Reyes-Ávila et al., 2024).**

Les biopesticides microbiologiques utilisent des micro-organismes (bactéries, virus, champignons, protozoaires) pour contrôler les ravageurs, notamment *Bacillus thuringiensis*, efficace contre plusieurs ordres d'insectes **(Tijjani et al., 2016).**

Les plantes génétiquement modifiées (PIP) produisent elles-mêmes des substances insecticides, comme la toxine Bt, entraînant la mort des insectes sensibles en environ 48 heures **(Tijjani et al., 2016).**

Enfin, les pesticides biochimiques regroupent des substances naturelles issues des plantes, ainsi que les métabolites secondaires impliqués dans leurs mécanismes de défense, utilisés pour une lutte ciblée contre les organismes nuisibles **(Tijjani et al., 2016).**

III.2. Plantes répulsives & extraits botaniques

Les extraits végétaux présentent une efficacité notable contre les ravageurs des denrées stockées. L'extrait méthanolique de *Pinus halepensis* montre un fort effet répulsif contre *Tribolium castaneum* et *Rhyzopertha dominica*, dépendant de la dose et du temps d'exposition, avec une répulsivité atteignant 100 % aux concentrations élevées **(Naimi et al., 2025).** De même, certaines plantes en poudre (*Salvia officinalis*, *Artemisia absinthium*, *Lavandula officinalis*, *Mentha piperita*) exercent des effets insecticides et inhibiteurs sur les populations. La lavande et la sauge induisent des mortalités élevées (jusqu'à 80 %), tandis que la menthe poivrée et l'absinthe réduisent le développement des populations. L'efficacité varie selon la durée d'exposition, augmentant généralement avec le temps **(Kłyś et Przystupińska, 2015).**

IV. Place actuelle des huiles essentielles dans la lutte biologique

IV.1. Effets répulsifs des huiles essentielles sur les insectes de stockage

Les huiles essentielles présentent un large spectre d'activités biologiques (antimicrobiennes, fongicides, insecticides et répulsives) et constituent des alternatives prometteuses aux insecticides chimiques, notamment grâce à leur toxicité fumigante efficace contre différents stades des insectes des denrées stockées **(Abd El-Salam et al., 2019).** Issues de nombreuses espèces végétales, elles affectent divers paramètres biologiques des insectes (survie, croissance, reproduction et comportement). Leur utilisation en conditions hermétiques à forte concentration permet une protection prolongée des produits stockés **(Soledad et al., 2025 ; Abd El-Salam et al., 2019).** Sur le plan comportemental, elles agissent comme

répulsifs ou attractifs en perturbant les signaux chimiques, ce qui favorise leur intégration dans des stratégies de lutte intégrée telles que « push-pull » et « attract and kill » **(Soledad et al., 2025).**

IV.1.1. Définition du pouvoir répulsif

Étymologiquement, le terme « répulsif » provient du latin *repellere*, signifiant « rejeter ». Dans sa définition stricte, une substance est dite répulsive lorsqu'elle provoque un déplacement de l'organisme à distance de sa source. Dans une approche plus large en recherche, l'effet répulsif inclut également toute action empêchant un ravageur de localiser, reconnaître ou suivre son hôte. Ainsi, un répulsif peut non seulement induire un éloignement direct, mais aussi perturber l'orientation ou inhiber l'attraction olfactive vers la source **(Deletre et al., 2016).**

IV.1.2. Mécanismes d'action sur les insectes

Les huiles essentielles possèdent plusieurs mécanismes d'action insecticides, incluant la perturbation du système nerveux, l'inhibition des enzymes respiratoires, l'altération de la perméabilité cuticulaire, ainsi que des effets répulsifs, anti-nutritionnels et inhibiteurs de croissance, de mue, de respiration et de fertilité **(Hashem et al., 2025 ; Laoudi et al., 2025).** Leurs composés actifs, notamment certains monoterpènes (thymol, eugénol, citronellal), agissent sur la transmission nerveuse en modulant les canaux chlorure dépendants du GABA ou en inhibant l'acétylcholinestérase, entraînant une paralysie puis la mort des insectes **(Hashem et al., 2025).**

IV.1.3. Activation des récepteurs odorants

L'huile essentielle d'*Acorus calamus* présente une forte activité répulsive (96–100 %) sur plusieurs insectes des denrées stockées, avec une efficacité variable selon les espèces : *Sitophilus oryzae* est la plus sensible, suivie de *Rhyzopertha dominica* puis *Oryzaephilus surinamensis* après une heure d'exposition. Ces résultats concordent avec d'autres études montrant que certains ravageurs, comme *Lasioderma serricorne* et *Tribolium castaneum*, peuvent réduire leur sensibilité aux effets répulsifs des huiles essentielles après une exposition prolongée. Les comportements observés correspondent à un chimiotropisme négatif, lié à une perception olfactive différenciée selon la sensibilité des sensilles, induisant un comportement d'évitement **(Wijerathna et al., 2023).**

IV.1.4. Stress oxydatif ou neurotoxique sub-léthal

La toxicité des huiles essentielles est principalement liée à leur richesse en monoterpènes, composés volatils capables de pénétrer le tégument des insectes et de perturber leurs fonctions vitales **(Laoudi et al., 2025).** Ces composés agissent notamment par fumigation en pénétrant via les spiracles, provoquant une asphyxie, ou en affectant la respiration et les structures cellulaires, y compris au niveau des œufs **(Laoudi et al., 2025).** Certains constituants majeurs, comme le linalool et l'acétate de linalyle (présents dans la lavande), perturbent les fonctions neurologiques et respiratoires, expliquant leur activité insecticide **(Sharmin et al., 2024).**

V. Huiles essentielles les plus étudiées contre les ravageurs

Les huiles essentielles de Syzygium aromaticum, *Eucalyptus globulus, Azadirachta indica* et *Thymus vulgaris* ont montré une efficacité prometteuse contre plusieurs ravageurs des denrées stockées, notamment *Sitophilus oryzae, Tribolium castaneum* et *Callosobruchus maculatus*, agissant comme fumigants, insecticides de contact ou répulsifs **(Hashem et al., 2025).** D'autres huiles essentielles issues de plantes aromatiques et ornementales (*Lavandula spica, Rosa damascena, Jasminum sambac*) présentent également une activité insecticide et répulsive liée à leurs composés volatils bioactifs **(Sharmin et al., 2024).** Par ailleurs, *Lavandula latifolia* et *Ocimum basilicum* montrent une répulsion modérée contre *Oryzaephilus surinamensis*, tandis que *Mentha piperita*, seule ou en mélange avec *O. basilicum*, présente des effets répulsifs plus marqués **(Laoudi et al., 2025).**

V.1. Principaux composés actifs

L'efficacité de l'huile essentielle de lavande est principalement liée à sa richesse en monoterpènes, notamment le linalol et l'acétate de linalyle, qui perturbent les systèmes nerveux et respiratoire des insectes. L'activité insecticide de *Lavandula angustifolia* contre les ravageurs des céréales dépend à la fois de la concentration et de la durée d'exposition **(Sharmin et al., 2024).** D'autres composés naturels présentent également une forte activité insecticide. Le carvacrol, un monoterpène phénolique présent dans plusieurs huiles essentielles, possède une large bioactivité incluant des effets ovicides, larvicides et insecticides, entraînant une inhibition de la croissance et une mortalité importante chez divers ravageurs **(Eltalawy et al., 2025).**

Chapitre 03 : Généralité sur la plante Ammi visnaga

I. Description de la plante *Ammi visnaga*

Ammi visnaga est une plante herbacée de la famille des Apiaceae, originaire de la vallée du Nil et largement répartie en Afrique du Nord, en Europe, en Asie et en Amérique du Nord **(El Jabboury et al., 2024).** Elle peut atteindre environ 1,3 m de hauteur et possède une racine pivotante pouvant atteindre 50 cm **(Ahmed et al., 2022).** Ses feuilles sont finement découpées en segments linéaires, vertes sur la face supérieure et grisâtres sur la face inférieure, dégageant une odeur caractéristique. L'inflorescence est une ombelle de fleurs blanches donnant des fruits de type crémocarpe brunâtres. Les ombelles, en phase de fructification, deviennent sèches et contractées, avec une odeur et un goût typiques **(Amraoui, 2022 ; Ahmed et al., 2022 ; Khalil et al., 2020).** La plante présente un pouvoir photosensibilisant nécessitant des précautions de manipulation. Sa floraison s'étend généralement de juillet à septembre, pouvant débuter plus tôt en conditions sèches **(Khalil et al., 2020 ; Amraoui, 2022).**



Figure 7: La plante *Ammi visnaga* **(Kadri , 2017).**

II. Taxonomie d'espèce *Ammi visnaga*

Plusieurs médicaments décrits dans le papyrus d'Ebers sont encore utilisés aujourd'hui, notamment *Ammi visnaga*, connue dans l'Antiquité sous le nom de « pain du pharaon ». Durant l'âge d'or de la civilisation arabe, des médecins comme Avicenne, Al-Razi et Al-Antaki ont recensé de nombreuses plantes médicinales dans leurs ouvrages, contribuant à la transmission des savoirs anciens. Cet héritage constitue aujourd'hui une base essentielle de la pharmacognosie et de la phytochimie modernes. Selon Bock (2011) elle appartient à la famille des Apiaceae **(Khalil et al., 2020).**

II.1. Classification

Tableau 3: Classification d'*Ammi visnaga* **(Kadri ,2017).**

Règne	***Plantae***
Division	*Magnoliophyta*
Classe	*Magnoliopsida*
Ordre	*Apiales*
Famille	*Apiaceae*
Genre	*Ammi*
Espèce	*Ammi visnaga*
Nom vernaculaire	*Khella*

II.2. Nomenclature

Le nom *Ammi visnaga* serait dérivé du terme nahuatl « huiznahuac », signifiant « entouré d'épines », en référence à l'usage traditionnel de ses structures épineuses comme cure-dents par les populations locales **(Kadri, 2017).** Cette espèce est connue sous plusieurs noms vernaculaires selon les régions. Dans de nombreux pays arabes, elle est appelée « khella baldi », ainsi que sous d'autres appellations telles que Khellah, Kella, Gazar sheitani ou encore Swak Al-Nabi. En Turquie, elle est désignée par les noms disotu, kilir ou hiltan. En Europe, elle est connue sous le nom d'Herbe aux cure-dents en France, Toothpick ou Pick tooth en Angleterre, et Zahnstocherkraut en Allemagne. Chez les populations berbères, elle est appelée Tabellaout **(Ahmed et al., 2022 ; Khalil et al., 2020).**

III. Etude phytochimique

Les métabolites secondaires sont des composés organiques produits en faibles quantités par les plantes, principalement des polyphénols, terpènes et alcaloïdes, jouant un rôle clé dans les interactions écologiques et les propriétés biologiques **(Amraoui, 2022).** La famille des Apiaceae en est particulièrement riche, avec des composés bioactifs variés **(Kadri, 2017).**

Chez *Ammi visnaga*, on retrouve une grande diversité de métabolites secondaires, notamment des flavonoïdes, coumarines, acides phénoliques et huiles essentielles. Les principaux composés actifs sont la khelline et la visnagine (furanochromones), accompagnés d'autres dérivés. Les coumarines (pyrano- et furanocoumarines) et les composés phénoliques (quercétine, kaempférol, etc.) sont également présents, tandis que certains groupes comme les anthraquinones et caroténoïdes sont absents ou très peu représentés **(El Jabboury et al., 2023 ; 2024 ; Khalil et al., 2020).**

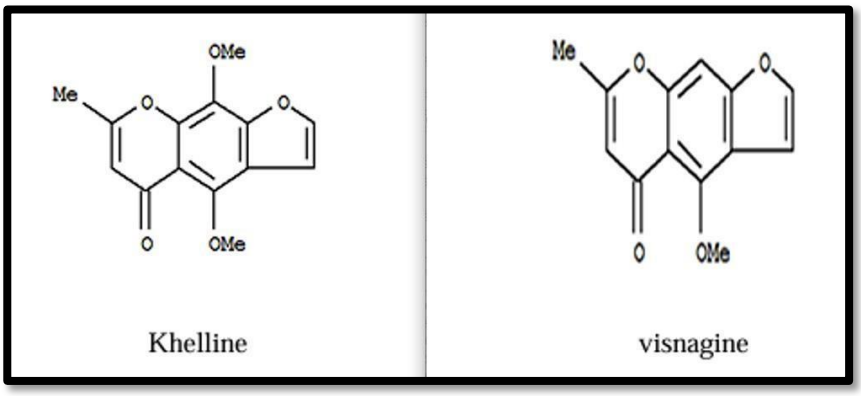


Figure 8: Formules chimiques de la khelline et visnagine **(Bercisse,2015).**

Les huiles essentielles d' *Ammi visnaga* sont principalement présentes dans les ombelles et les fruits, avec un rendement d'environ 1,12 %, et sont dominées par les monoterpènes, notamment le linalol, l'acide butyrique et le β-ocimène **(Khalil et al., 2020).**

Leur composition varie selon l'origine géographique : en Algérie dominent le 2 -méthylbutyrate, le linalol et le limonène, tandis qu'en Iran prédominent le γ-terpinène et le (E)-β-ocimène, en lien avec les conditions environnementales **(El Hachlafi et al., 2023).** La plante contient également de faibles quantités de stérols et d'acides gras **(Rahal, 2021).**

IV. Utilisation traditionnelle

Ammi visnaga est largement utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses affections respiratoires, digestives, urinaires et cardiovasculaires, notamment sous forme de décoction (asthme, crampes, calculs urinaires, angine) **(Khalil et al., 2020 ; Al-Snafi, 2013 ; Amraoui, 2022).** Elle possède des effets bronchodilatateurs, vasodilatateurs, diurétiques et lithotriptiques. Des études ont confirmé certaines activités, comme des effets hypoglycémiants, diurétiques et rénoprotecteurs, ainsi qu'un potentiel anticancéreux in vitro **(El Jabboury et al., 2024).** Également utilisée en dermatologie (vitiligo, psoriasis), elle reste

d'intérêt pharmaceutique, notamment grâce à la khelline. Connue sous le nom de « khella », elle est traditionnellement utilisée en Égypte et en Syrie et est généralement considérée comme peu toxique **(Kadri, 2017 ; Misra et al., 2013).**

V. Activitées biologiques

Les extraits et l'huile essentielle d' *Ammi visnaga* présentent de nombreuses activités biologiques, notamment antioxydantes, insecticides, anti-inflammatoires, antidiabétiques, cardiovasculaires et anticancéreuses. Ces propriétés confirment son potentiel thérapeutique et soutiennent son usage en médecine traditionnelle **(Khammassi et al., 2024).** Parmi ses principales activités, on peut citer :

V.1. Activités larvicides et insecticides

De nombreux composés végétaux constituent des alternatives prometteuses aux insecticides chimiques. Dans ce cadre, *Ammi visnaga* présente des activités insecticides et acaricides notables : la khelline montre une forte toxicité contre *Oncopeltus fasciatus* et *Aedes aegypti*, tandis que la khelline et la visnagine sont efficaces contre Tetranychus urticae, suggérant leur potentiel en tant qu'acaricides botaniques **(Khalil et al., 2020).**

Cependant, ces composés peuvent présenter une phytotoxicité sur certaines plantes (ex. *Lactuca sativa*, *Lemna paucicostata*). Par ailleurs, les extraits d'A. visnaga affectent le métabolisme des insectes, notamment en réduisant les lipides et en inhibant des enzymes (GOT, GPT) chez *Schistocerca gregaria*, ce qui contribue à leur effet insecticide **(Khalil et al., 2020).**

V.2. Activité anti-inflamatoire

Des études ont montré qu'*Ammi visnaga*, en fonction de sa teneur en visnagine, peut réduire l'expression de l'ARNm et la libération de médiateurs inflammatoires tels que TNF-α**,** IL-1β et IFN-γ**.** Par ailleurs, certaines publications suggèrent un potentiel effet neuroprotecteur de la visnagine**,** associé à l'inhibition de l'activité induite par l'acide kaïnique **(Rahal , 2021).**

V.3. Activité antidiabétique

L'huile essentielle d'*Ammi visnaga* (AV) a été évaluée pour ses effets antidiabétiques en testant sa capacité à inhiber les enzymes α-amylase et α-glucosidase, deux cibles clés impliquées dans la régulation de la glycémie**(El Hachlafi et al.,2023).**

V.4. Activité antimicrobienne

Les extraits éthanolique et aqueux d'*Ammi visnaga* ont montré une activité antimicrobienne contre plusieurs bactéries pathogènes Gram positives et Gram négatives ainsi que contre des levures. L'extrait éthanolique a présenté la plus forte activité contre *Enterococcus faecalis*. Il a également inhibé la croissance de bactéries Gram négatives telles que *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae* . L'huile essentielle d'*A. visnaga* a démontré une activité antibactérienne notable contre *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa*, avec des diamètres de zones d'inhibition atteignant 25 à 29 mm **(Al-Snafi ,2013).**

V.5. Activité herbicide

Une étude menée en Argentine a montré que l'extrait de dichlorométhane d' *Ammi visnaga* possédait une activité herbicide significative. Le fractionnement phytotoxique a révélé que la khelline et la visnagine étaient les principaux composés responsables de cette activité**(Khalil et al.,2020).**

V.6. Activité cytotoxique et anticancéreuse

La khelline et la visnagine présentent une activité anticancéreuse significative, avec une inhibition de la croissance et une induction de l'apoptose via l'augmentation des ROS, notamment dans les cellules HT-144 **(Beltagy et Beltagy, 2015 ; El Jabboury et al., 2023).** Elles montrent également une cytotoxicité contre plusieurs lignées tumorales (HeLa, HepG2, HCT116, MCF7), indiquant un large spectre d'action.

Par ailleurs, la visnagine possède un effet cardioprotecteur contre la toxicité induite par la doxorubicine, avec un profil de sécurité plus favorable. Ainsi, l'association de ces deux composés constitue une piste prometteuse pour le développement de nouvelles thérapies anticancéreuses **(El Jabboury et al., 2023 ; Beltagy et Beltagy, 2015).**

V.7. Activité antimutagène

Une étude sur *Ammi visnaga* a montré que la khelline inhibe la mutagénicité de plusieurs composés (benzo[a]pyrène, 2-aminofluorène, 2-aminoanthracène) chez *Salmonella typhimurium T98*. La visnagine présente une toxicité plus élevée, tandis que l'extrait total des fruits montre une activité inhibitrice supérieure à la khelline seule, probablement grâce à des effets synergiques avec d'autres composés comme les coumarines **(Khalil et al., 2020).**

V.8.Activité sur le système cardiovasculaire

Ammi visnaga a joué un rôle historique en cardiologie, notamment avec l'utilisation de la khelline dans le traitement de l'angine de poitrine. Malgré son efficacité, des effets secondaires ont conduit au développement d'analogues synthétiques, aboutissant à l'amiodarone, un antiarythmique majeur .Des études récentes montrent que la visnagine réduit la pression artérielle sans affecter fortement la fréquence cardiaque. D'autres composés (samidine, khellol, visnadine) exercent des effets inotropes et chronotropes négatifs et contribuent à corriger les anomalies électriques liées à l'ischémie myocardique **(Rahal, 2021).**

V.9. Activité antioxydante

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont impliquées dans de nombreuses pathologies (cancers, maladies cardiovasculaires, vieillissement), faisant de leur régulation une stratégie préventive clé. *Ammi visnaga* possède une activité antioxydante notable, liée à sa richesse en polyphénols, capable de neutraliser les radicaux libres évaluée par le test DPPH . Elle renforce également les défenses antioxydantes enzymatiques (SOD, CAT, GSH-Px) tout en réduisant le malondialdéhyde (MDA), marqueur du stress oxydatif, confirmant son potentiel protecteur **(El Jabboury et al., 2023).**

Partie II:

Partie expérimentale

Chapitre 01: Matériel et Méthodes

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire pédagogique du département des Sciences Biologiques et Agricoles de l'Université Abdelhafid Boussouf de Mila.

Objective

Cette étude vise à évaluer l'efficacité répulsive des huiles essentielles d'*Ammi visnaga* dans la protection des denrées stockées contre certains insectes nuisibles, notamment *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*.

I. Matériel végétal

I.1. Récolte des plantes

Les échantillons de la plante *A. visnaga* ont été récoltés en Algérie, dans la région de Farjiwa (wilaya de Mila). Après la récolte, les parties aériennes (ombelles fraîches, graines et reste de la biomasse végétale) ont été séparément lavées, puis séchées à l'ombre à température ambiante, dans un environnement sec et aéré, pendant environ 20 jours. Une fois le séchage achevé, les échantillons ont été réduits en poudre à l'aide d'un broyeur électrique, puis conservés à température ambiante dans des bocaux hermétiquement fermés, afin de les protéger de l'humidité et de la lumière.



Figure 9: La plante *A. visnaga*.

I.2. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée au nord-est de l'Algérie, au sein de la wilaya de Mila, située approximativement entre 36° de latitude Nord et 6° de longitude Est. Cette wilaya est délimitée par les wilayas de Jijel au nord, Constantine à l'est, Sétif au sud et Skikda au nord-

est. Elle se caractérise par un relief majoritairement montagneux et vallonné, ainsi que par un climat de type méditerranéen, marqué par des étés chauds et secs et des hivers relativement frais et humides, conditions favorables au développement d'une végétation diversifiée.Au sein de cette wilaya, la région de Ferdjioua constitue précisément la zone d'étude. Située dans la partie septentrionale de Mila, elle s'inscrit dans un environnement semi-rural caractérisé par une mosaïque de formations naturelles et de terres agricoles. Les conditions écologiques locales, notamment la nature des sols, l'altitude et le climat, favorisent l'installation d'une flore spontanée riche, incluant plusieurs espèces végétales d'intérêt scientifique et médicinal, telles que *A. visnaga*.



Figure 10: Localisation géographique de la zone d'étude (Ferdjioua) wilaya de Mila.

I.3. L'extraction des huiles essentielles

L'extraction de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Cette méthode consiste à introduire 250 g de matériel végétal dans un ballon de 500 mL contenant 250 mL d'eau distillée, puis à porter le mélange à ébullition pendant 3 heures, en veillant à éviter toute dessiccation du milieu. La vapeur d'eau chargée en composés volatils traverse ensuite un réfrigérant, où elle se condense, avant d'être recueillie dans une ampoule à décanter. L'huile essentielle se sépare de la phase aqueuse par différence de densité. L'huile obtenue est ensuite récupérée, séchée à l'aide de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4), puis conservée à basse température (température de congélation) dans des tubes en verre opaque afin de la protéger de la lumière et de l'humidité.

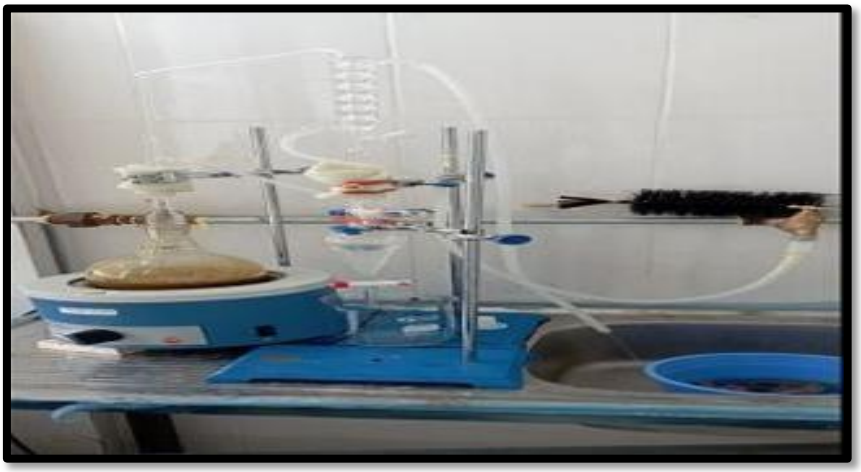


Figure 11: Montage d'hydrodistillation (Clévenger).



Figure 12: L'huile essentielle de la plante *A. visnaga*.

I.4. Détermination du rendement

Le rendement en huile essentielle est déterminé comme le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale sèche utilisée, puis exprimé en pourcentage (%).

$$R\% = MHE / MP \times 100$$

où :

- **R%** représente le rendement en huile essentielle.
- **MHE** correspond à la masse d'huile essentielle (en grammes).
- **MP** désigne la masse de la matière végétale sèche (en grammes).

II. Matériel entomologique

Dans le but d'analyser l'activité répulsive de l'huile essentielle extraite de la plante *A. visnaga*, deux espèces majeures d'insectes ravageurs des denrées stockées ont été retenues comme modèles biologiques, à savoir *T. castaneum* et *O. surinamensis.*

II.1. Identification des insectes des denrées stockées

Nous avons étudié des échantillons de blé tendre infestés par des insectes. Les échantillons ont d'abord été tamisés afin de séparer les insectes des grains. Les individus récupérés ont ensuite été triés selon leurs similitudes morphologiques à l'aide d'une pince entomologique.

L'observation détaillée a été réalisée sous loupe binoculaire afin d'examiner les caractères morphologiques diagnostiques. L'identification taxonomique a consisté à déterminer, pour chaque spécimen, sa famille, son genre et, lorsque cela était possible, son espèce. Cette détermination a été effectuée en se référant aux clés d'identification des principales espèces nuisibles des denrées stockées, notamment celles appartenant aux familles des Tenebrionidae et des Silvanidae **(Halstead, 1993).**

II.1.1. Espèces identifiées

1. *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae)

Tribolium castaneum est un coléoptère appartenant à la famille des Tenebrionidae et à l'ordre des Coleoptera**(Singh et Choudhary, 2026)**. L'adulte est de petite taille (environ 3 à 4 mm), de couleur brun rougeâtre, avec une distinction nette entre la tête, le thorax et l'abdomen. Les antennes sont terminées par une massue bien marquée composée des trois derniers articles élargis **(Seada et Hamza, 2018 ; Angelini et al., 2009)**. Cette espèce est fréquemment confondue avec *Tribolium confusum* ; toutefois, *T. castaneum* se distingue par une massue antennaire brusquement élargie sur les trois derniers segments tandis que *T.*

confusum présente une massue antennaire formée progressivement (les articles s'élargissent graduellement) et montre une tolérance légèrement supérieure aux températures plus fraîches **(Mbacké Dia, 2019).**

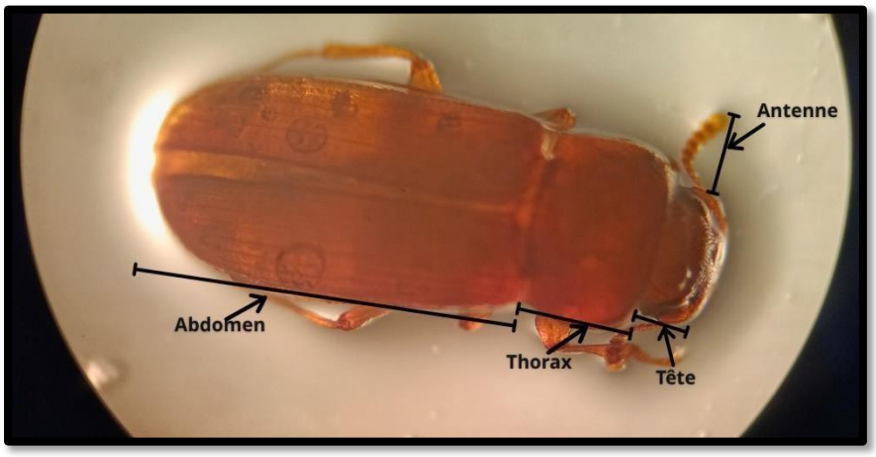


Figure 13: *Tribolium castaneum* adulte.

2. *Oryzaephilus surinamensis* (Silvanidae)

Oryzaephilus surinamensis est un coléoptère appartenant à la famille des Silvanidae et à l'ordre des Coleoptera. L'adulte est petit (2,5–3 mm), allongé, aplati et de couleur brun foncé, caractérisé par la présence de six dents bien visibles de chaque côté du pronotum, lui donnant un aspect dentelé typique. Les antennes sont légèrement élargies à l'extrémité et le corps aplati facilite son déplacement entre les grains. Cette espèce est souvent confondue avec *Oryzaephilus mercator* ; cependant, *O. surinamensis* se distingue par une distance plus longue entre l'œil et l'arrière de la tête (tempes plus développées) et des yeux moins proéminents, alors que *O. mercator* présente une distance post-oculaire plus courte et des yeux plus développés, et montre une préférence pour les produits riches en matières grasses comme les fruits secs et les oléagineux **(Mohsin et al., 2025; Mohsin et al., 2026).**

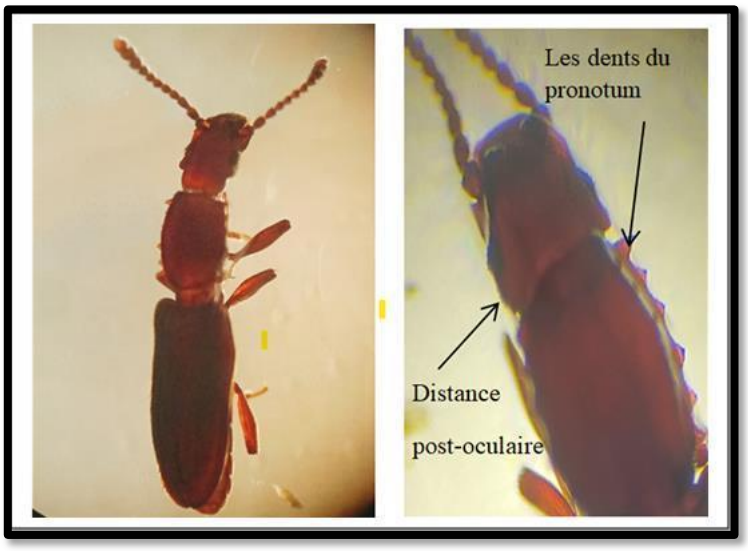


Figure 14: *Oryzaephilus surinamensis* adulte.

II.2. Elevage des insectes

L'étude a nécessité la collecte de deux espèces d'insectes nuisibles *T. castaneum* et *O. surinamensis*, utilisées ultérieurement dans les essais expérimentaux. À cet effet, un élevage de masse a été mis en place à partir d'individus adultes. Les adultes des ravageurs sélectionnés ont été introduits dans des récipients en plastique contenant de la semoule fine saine, remplis aux trois quarts, puis maintenus sous des conditions contrôlées au laboratoire, à savoir une température d'environ 32,8 °C, une humidité relative de 60 % et une obscurité totale. Plus d'une centaine d'individus, d'âges indéterminés, ont été placés dans chaque récipient, lesquels ont été recouverts de tulle afin d'assurer une aération adéquate. L'objectif de cet élevage était d'assurer le maintien et la multiplication des populations d'insectes afin d'obtenir un effectif suffisant pour les expérimentations. Par la suite, un tamisage a été effectué afin de séparer les larves des adultes pour chaque espèce. Les individus obtenus ont ensuite été transférés dans des boîtes de Pétri (9 cm de diamètre et 1,5 cm de hauteur) en vue de la réalisation des tests de répulsivité.



Figure 15: Elevage des insectes.

II.3. Evaluation de l'effet répulsif

Une solution mère d'huile essentielle de la plante *A. visnaga* a été préparée en dissolvant 100 µL dans 10 mL d'éthanol. À partir de cette solution, différentes concentrations correspondant à des doses de 1% ; 0,5% et 0,25% ont été obtenues. Des disques de papier filtre de 9 cm de diamètre ont été découpés en deux moitiés égales. L'une des moitiés a été imprégnée avec 1 mL de la solution d'huile essentielle afin d'assurer une distribution homogène, tandis que l'autre moitié a été traitée avec 1 mL d'éthanol (témoin). Les papiers ont ensuite été laissés à sécher à l'air libre pendant 5 à 10 minutes, puis reconstitués en disques complets et placés dans des boîtes de Pétri. Dans chaque boîte, 10 individus de *T. castaneum* ont été déposés au centre du disque, avec trois répétitions pour chaque dose testée. Le même protocole expérimental a été appliqué à *O. surinamensis*, à raison de 10 individus par boîte. Après une durée d'exposition de 2 heures, le nombre d'insectes présents sur chaque demi-disque a été dénombré afin d'évaluer l'effet répulsif.

Tableau 04 : Les concentrations appliquées (µL/cm²) pour le test répulsif sur demi-disque

Concentration de la solution	Dose appliquée (µL/cm²)
D1= 1 %	0,314 µL/cm²
D2= 0,5 %	0,157 µL/cm²
D3= 0,25 %	0,078 µL/cm²

Le pourcentage de répulsion (PR) a été calculé selon la formule décrite par **(Nerio et al, 2009)** selon la formule suivante :

$$PR(\%) = (NC+NT) / (NC-NT) \times 100$$

où :

- **NC** :correspond au nombre d'insectes présents sur le demi-disque témoin (non traité),
- **NT** : correspond au nombre d'insectes présents sur le demi-disque traité avec l'huile essentielle d' *A. visnaga*.

Tableau 05 : Pourcentage de répulsion selon le classement de **(Mc Donald et al., 1970) .**

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



Figure 16: Les doses préparées de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga*.

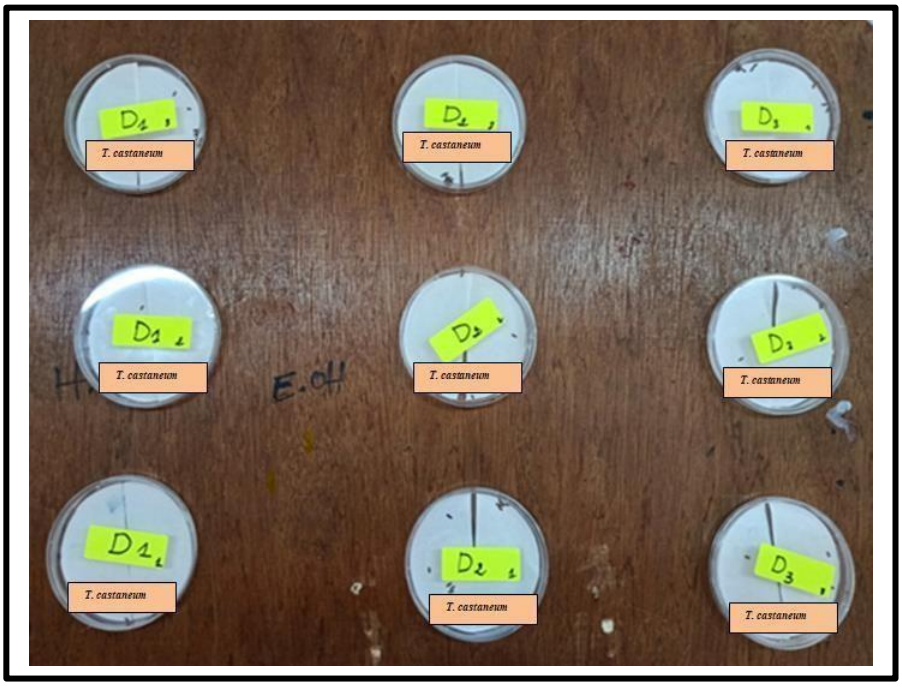


Figure 17 : Teste répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes de *T. castaneum.*

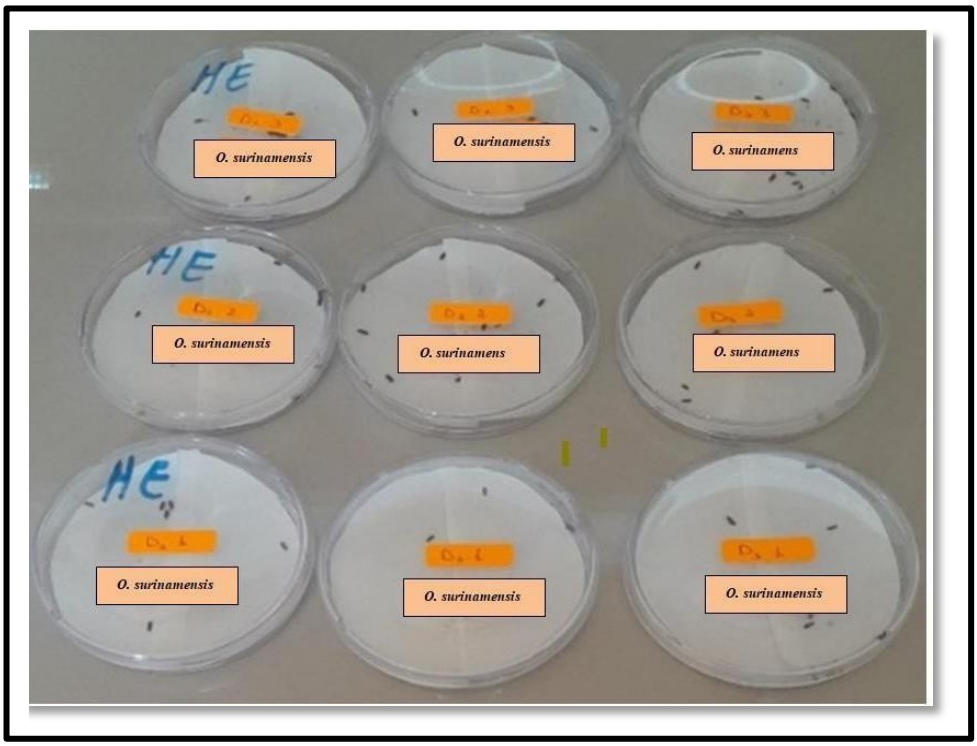


Figure 18 : Teste répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes d'*O. surinamensis*

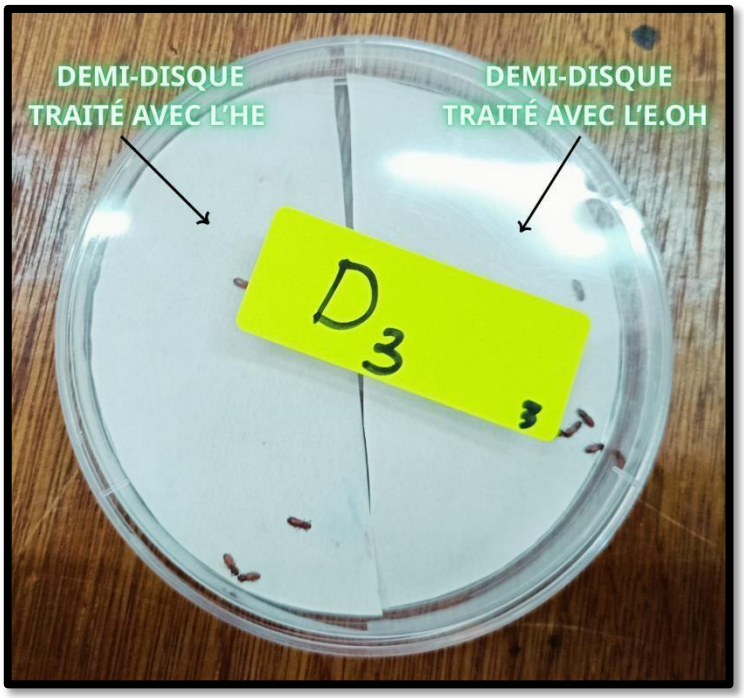


Figure 19 : Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* sur les adultes de *T. castaneum.*

III. Calculs statistiques

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics (version 22.0). Les résultats sont présentés sous forme de moyennes accompagnées de leurs écarts-types. Les valeurs de DR_{50} et DR_{95} ont été déterminées par une analyse log-probit.

Chapitre 02: Résultats et discussion

I. Rendement de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga.*

L'extraction par hydrodistillation de la plante *A. visnaga* a conduit à l'obtention d'une huile essentielle présentant des propriétés organoleptiques caractéristiques. Celle-ci se distingue par une odeur aromatique intense, une couleur jaune pâle et un aspect limpide et fluide. Le rendement en huile essentielle obtenu était de 1,18 %.

Tableau 6: Rendement et caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga.*

	Caractéristiques organoleptiques			Rendement
Huile essentielle	**Odeur**	**Couleur**	**Aspect**	
Ammi visnaga	Dégage une forte odeur (aromatique)	Jaune pale	Liquide et limpide	1,18 %

Discussion

Le rendement en huile essentielle obtenu pour *A.visnaga* au cours de cette étude a été de 1,18 %. Cette valeur est comparable à celles rapportées dans plusieurs travaux antérieurs consacrés à cette espèce, ce qui confirme le potentiel de production en huile essentielle *d'A. visnaga*. La confrontation de ce résultat avec les données de la littérature permet également de situer le rendement obtenu dans la gamme des valeurs généralement observées pour cette plante.

El Hachlafi et al.(2023),ont enregistré un rendement de 1,12 % à partir des parties aériennes de A.visnaga récoltées au stade de floraison dans la région de Sidi Slimane (Maroc) et Selon **Khalfallah et al.(2011)**, *A. visnaga* qui été récoltées en avril 2009 dans la région de Didouche Mourad, à Constantine (nord-est de l'Algérie). L'hydrodistillation de matériel végétal a permis d'obtenir une huile essentielle jaunâtre avec un rendement de 1,3 % .Le rendement en huile essentielle obtenu dans notre étude (1,18 %) est également proche de celui rapporté par **Kamal et al. (2022**), qui ont enregistré un rendement de 1,4 % après hydrodistillation de la plante *A.visnaga* récoltée au stade de floraison dans la région de Ouazzane (Maroc). Les auteurs décrivent une huile essentielle de couleur jaune doré, ce qui concorde avec la coloration jaune pâle observée dans la présente étude. Selon les données rapportées dans la littérature, l'hydrodistillation de la plante *A.visnaga* a permis d'obtenir une

huile essentielle de couleur jaunâtre avec un rendement de 1,3 % de cette espèce distribuée dans le nord de l'Iraq. Cette similitude suggère que les conditions de production de l'huile essentielle peuvent conduire à des rendements comparables malgré des origines géographiques différentes **Al-Snafi (2013**).

À l'inverse, selon les travaux réalisés par **Khadhri et al. (2011)** en Tunisie, des échantillons d'*A.visnaga* ont été récoltés au cours de la phase de floraison, en juillet 2010, L'hydrodistillation a permis d'obtenir des rendements plus faibles (0,2 %) ont été observés pour chaque échantillon, alors que Selon **Khammassi et al. (2024)** , les parties aériennes d' *A.visnaga* ont été récoltées à Beja, en Tunisie, en mai 2022 . Les rendements en huile essentielle obtenus étaient de 0,28 % et 2,34 %. Les auteurs ont signalé que ces valeurs différaient de celles rapportées pour la même espèce en Algérie, au Maroc et en Turquie, où des rendements respectifs de 1,3 %, 1,4 % et 0,1 % ont été enregistrés. En revanche, elles étaient relativement comparables à celles obtenues pour cette espèce dans d'autres régions de Tunisie.

Le rendement obtenu dans cette étude s'inscrit dans l'intervalle des valeurs rapportées dans la littérature pour cette espèce. Les différences observées entre les études peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique des populations étudiées, les conditions climatiques et édaphiques, le stade phénologique au moment de la récolte, la nature du matériel végétal utilisé (frais ou sec) ainsi que les conditions expérimentales d'extraction de l'huile essentielle.

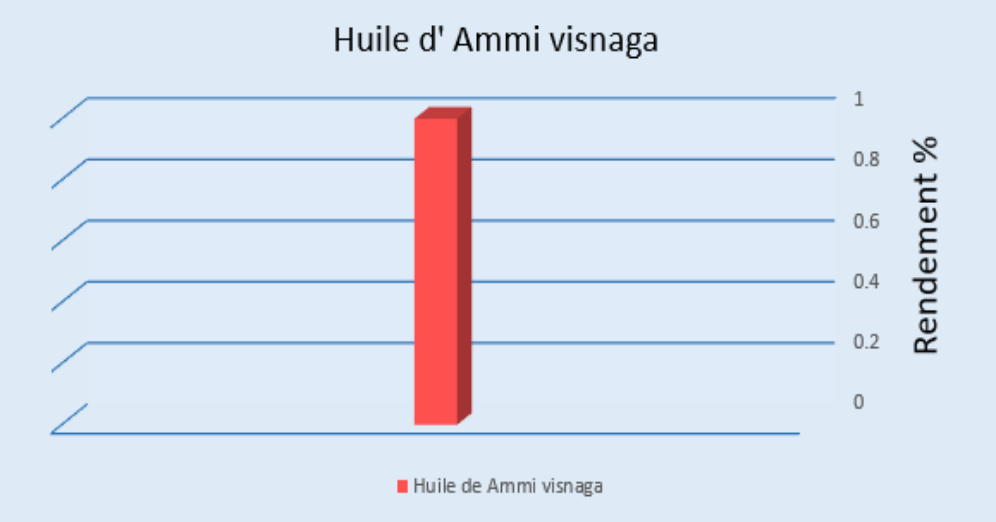


Figure 20 : Rendement d'HE de la plante *A.visnaga*.

II. Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h.

Les résultats relatifs à l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*A.visnaga,* évaluée après 2 heures d'exposition, sont présentés dans le tableau (7) et la figure (17). Ils montrent que l'huile essentielle exerce un effet répulsif sur les deux espèces étudiées, *T. castaneum* et *O. surinamensis,* à l'ensemble des concentrations testées.

Les données obtenues indiquent une augmentation du pourcentage de répulsion avec l'accroissement de la concentration de l'huile essentielle, aussi bien chez *T. castaneum* que chez *O. surinamensis*. Toutefois, l'intensité de la réponse varie selon l'espèce considérée. En effet, *O. surinamensis* s'est montré plus sensible à l'huile essentielle d'*A.visnaga* que *T. castaneum.* À la concentration la plus élevée, un taux de répulsion de 53 % a été enregistré chez *O. surinamensis,* contre 40 % chez *T. castaneum*.

Ces résultats mettent en évidence le potentiel répulsif de l'huile essentielle d'*A. visnaga* vis-à-vis des insectes des denrées stockées et suggèrent son intérêt comme alternative naturelle aux répulsifs de synthèse. L'efficacité observée apparaît toutefois dépendante à la fois de la concentration appliquée et de l'espèce ciblée

Tableau7 : Effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h.

Insectes	Dose (%)	Répulsivité (%)
T. castaneum	1	40±3,31
	0,5	31±5,51
	0,25	20±2,01
O. surinamensis	1	53±0,30
	0,5	37±2,61
	0,25	23±4,23

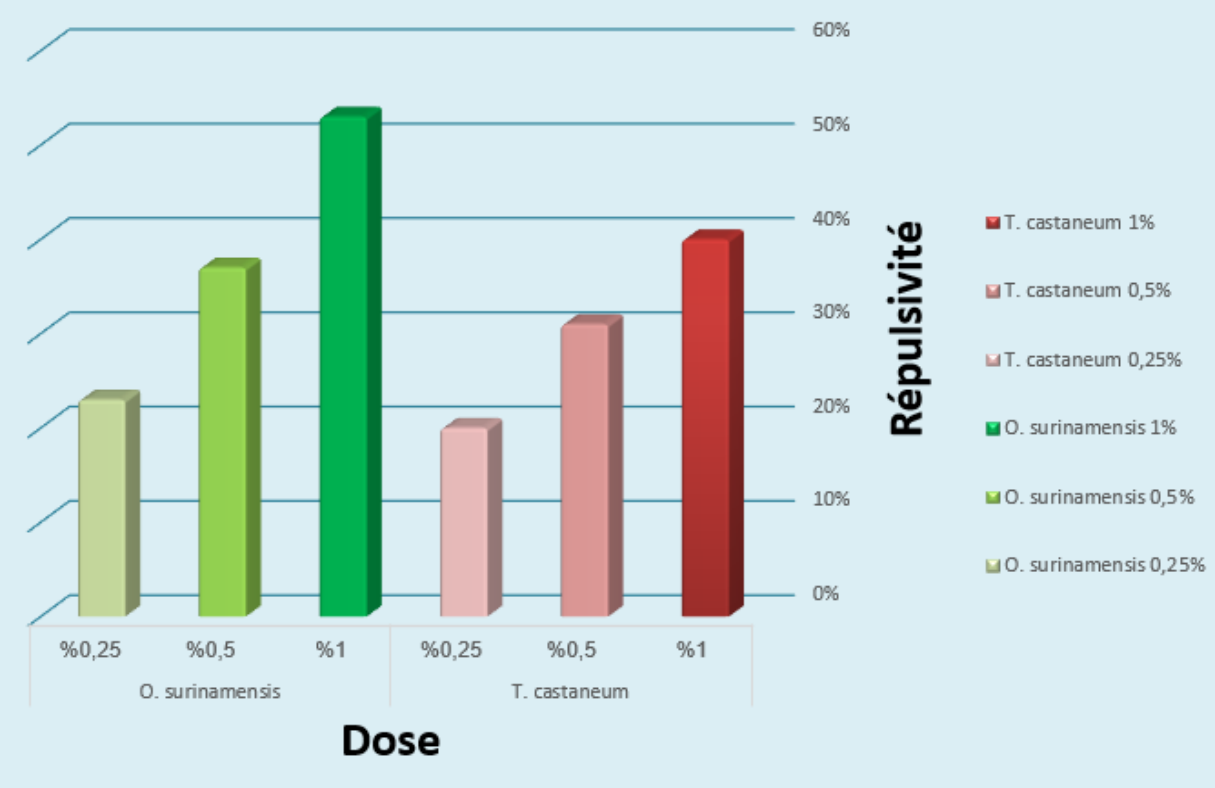


Figure 21 : Effet répulsif d'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes de *T. castaneum et O. surinamensis.*

II. Dose répulsif (DR_{50}) et (DR_{95}) de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'huile essentielle d'*A.visnaga* exerce un effet répulsif sur les adultes de *T. castaneum* et d'*O. surinamensis* après 2 heures d'exposition. L'intensité de cette activité varie en fonction de l'espèce étudiée et de la concentration appliquée.

Les valeurs de DR_{50}et de DR_{95} indiquent une sensibilité différente des deux insectes à l'huile essentielle. *O. surinamensis* a présenté des valeurs de DR_{50} (0,23 µL/cm^2) et de DR_{95}(0,54 µL/cm^2) inférieures à celles observées chez *T. castaneum* DR_{50} (0,33 µL/cm^2) et de DR_{95}(0,72 µL/cm^2) , traduisant une plus grande sensibilité à l'action répulsive de l'huile essentielle. Cette observation est en accord avec les pourcentages de répulsion enregistrés *($P_{O.\ surinamensis}$* =0,06) et ($P_{T.\ castaneum}$=0,038), qui étaient globalement plus élevés chez *O.*

surinamensis. Par ailleurs, l'augmentation de la dose appliquée s'est accompagnée d'une augmentation de l'effet répulsif chez les deux espèces, mettant en évidence une relation dose-réponse. Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle d'*A.visnaga* possède un potentiel répulsif intéressant contre les insectes des denrées stockées, bien que son efficacité varie selon l'espèce cible.

Dans l'ensemble, l'huile essentielle d'*A. visnaga* s'est révélée plus efficace contre *O. surinamensis* que contre *T.castaneum*. Les pourcentages de répulsion observés indiquent une sensibilité plus élevée de *O. surinamensis* à l'action de cette huile essentielle, tandis que *T. castaneum* a présenté une réponse répulsive plus modérée.

Tableau 8 : Dose répulsif (DR_{50}) et (DR_{95}) de l'huile essentielle de la plante *A. visnaga* contre les adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2h.

Insectes	DR_{50} (µL/cm^2)	DR_{95} (µL/cm^2)	X^2	*P*
T. castaneum	0,33	0,72	1,67	0,038
O. surinamensis	0,23	0,54	2,19	0,06

DR_{50}- DR_{95} : La dose répulsive pour repousser 50% et 95% des insectes après 2h respectivement

X^2 : Khi-deux

P : valeur signifiante

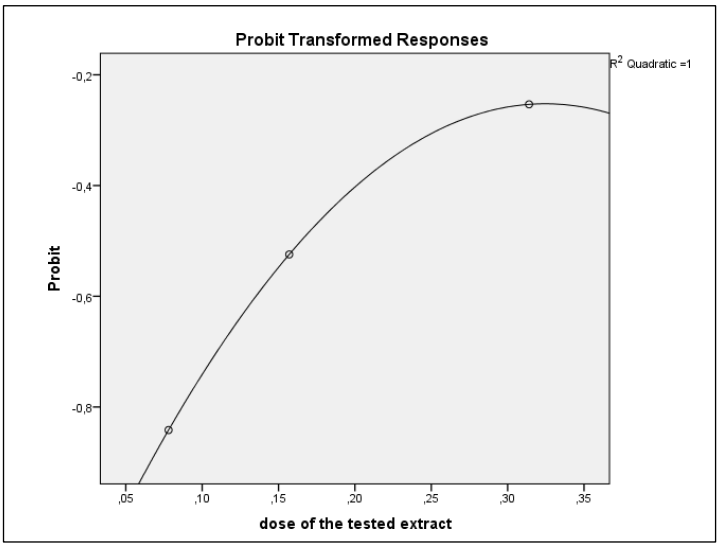


Figure 22 : Graphique log-probit de l'effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes de *T. castaneum.*

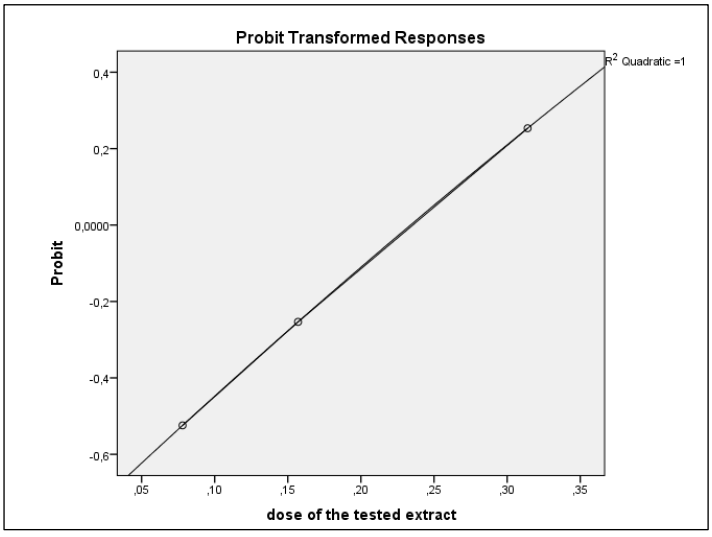


Figure 23 : Graphique log-probit de l'effet répulsif de l'huile essentielle de la plante *A.visnaga* contre les adultes d'*O. surinamensis.*

Discussion :

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'huile essentielle d'*A.visnaga* présente une activité répulsive à l'égard des adultes de *T. castaneum* et *O. surinamensis* après 2 h d'exposition. Cette activité est influencée par la concentration appliquée, les pourcentages de répulsion augmentant progressivement avec l'augmentation de la dose. Par ailleurs, *O. surinamensis* s'est montré plus sensible à l'action répulsive de l'huile essentielle que *T. castaneum*, ce qui met en évidence une variabilité de réponse selon l'espèce cible.

Bien que peu de travaux aient porté spécifiquement sur l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*A. visnaga* contre *T. castaneum* et *O. surinamensis,* plusieurs études ont mis en évidence son important potentiel insecticide vis-à-vis de divers ravageurs. Ainsi, **Harmouzi et al. (2024)** ont évalué l'activité fumigante des huiles essentielles d'*A.visnaga* et de *Trachyspermum ammi*, récoltées dans différentes régions du Maroc, contre *Sitophilus oryzae*. Les auteurs ont montré que l'augmentation des concentrations testées (0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2,5 ; 5 et 10 µL/L d'air) s'accompagnait d'une augmentation significative de la mortalité. À la concentration de 10 µL/L d'air, une mortalité totale des adultes a été observée après quatre jours d'exposition à l'huile essentielle d'*A.visnaga*. Les valeurs de LT_{50} variaient de 10,64 heures à 3,33 jours selon la concentration appliquée, confirmant l'existence d'une relation dose-réponse marquée **(Harmouzi et al., 2024).**

Des résultats comparables ont été rapportés par **Lamiri et al. (2001)**, qui ont étudié l'activité insecticide de l'huile essentielle d'*A.visnaga* contre la cécidomyie du blé, *Mayetiola destructor*. Les auteurs ont observé qu'une concentration de 10 µL permettait d'obtenir une mortalité de 100 % des adultes après seulement 2 heures d'exposition, démontrant ainsi la rapidité d'action et l'efficacité biologique de cette huile essentielle. Par ailleurs, **Pavela et al. (2016)** ont étudié l'activité insecticide d'un extrait de graines d'*A. visnaga*, riche en khelline et en visnagine, deux furochromones représentant près de 60 % de l'extrait. À une concentration de 100 mg/L, la khelline s'est révélée le composé le plus actif, provoquant respectivement 50 % et 90 % de mortalité après 30 et 51 minutes d'exposition. Les auteurs ont également observé une diminution significative de la fécondité, de l'éclosion des œufs et de la natalité des individus survivants, avec une réduction de plus de 77 % de la descendance par rapport au témoin. Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs d'*A. visnaga* peuvent agir à la fois sur la survie et sur le potentiel reproducteur des insectes **(Pavela et al., 2016).**

Dans une autre étude, **Brahmi et al. (2016)** ont évalué l'activité de plusieurs extraits méthanoliques d'*A. visnaga* contre *Toxoptera aurantii*, un important ravageur des agrumes. Les extraits ont été testés à des doses comprises entre 250 et 3×10^4 ng/puceron. Les mortalités observées augmentaient avec la dose et le temps d'exposition, atteignant jusqu'à 100 % après 96 heures pour certains extraits obtenus à partir de tiges récoltées en période de floraison ou de fructification ainsi que de graines. Ces résultats confirment la forte activité insecticide de cette espèce végétale et soulignent l'importance de la concentration dans l'expression de son efficacité biologique. **Pavela (2015)** a également mis en évidence l'activité acaricide d'*A.visnaga* contre *Tetranychus urticae*. Les plus fortes efficacités ont été obtenues à la concentration de 10 mg/mL, avec des taux de mortalité atteignant 98,1 % chez les adultes et 94,9 % chez les nymphes après 15 jours d'exposition. Ces résultats démontrent que l'activité biologique d'*A. visnaga* ne se limite pas aux insectes mais s'étend également à certains acariens ravageurs.

À l'inverse, **Al-Joary et al. (2021)**, qui ont évalué l'effet répulsif de la poudre de graines d'*A. visnaga* parmi vingt plantes médicinales testées en Irak contre *T.castaneum*, ont rapporté un faible taux de répulsion de seulement 3,15 %. Cette différence avec les résultats de la présente étude pourrait être attribuée à la nature du produit testé, les huiles essentielles étant généralement plus riches en composés volatils responsables de l'activité répulsive que les poudres végétales.

Dans l'ensemble, les études disponibles indiquent qu'*A.visnaga* possède un potentiel bioactif important contre plusieurs groupes de ravageurs. Les variations observées entre les travaux peuvent être liées à l'origine géographique du matériel végétal, à la partie de la plante utilisée, à la méthode d'extraction, à la composition chimique des extraits ainsi qu'à l'espèce cible étudiée. Néanmoins, la plupart des auteurs s'accordent à montrer que l'efficacité biologique d'*A. visnaga* augmente avec la concentration appliquée et la durée d'exposition. Les résultats obtenus dans la présente étude confirment ainsi l'intérêt de l'huile essentielle d'*A. visnaga* comme source potentielle d'agents répulsifs naturels pour la protection des denrées stockées.

Conclusion

Les effets néfastes associés à l'utilisation intensive des insecticides chimiques ont suscité un intérêt croissant pour la recherche de solutions alternatives plus sûres et respectueuses de l'environnement dans la lutte contre les ravageurs des denrées stockées. Parmi ces alternatives, les huiles essentielles occupent une place importante grâce à leur richesse en composés bioactifs dotés de propriétés insecticides et répulsives. Dans ce contexte, la présente étude a été entreprise afin d'évaluer l'activité répulsive de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* à l'encontre de deux importants ravageurs des denrées stockées, *Tribolium castaneum* et *Oryzaephilus surinamensis*.

Les résultats obtenus ont mis en évidence l'efficacité répulsive de l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* vis-à-vis des deux espèces étudiées. Cette activité a varié en fonction des concentrations appliquées ainsi que de la sensibilité des insectes testés. Les différentes doses évaluées ont permis de démontrer le potentiel de cette huile essentielle comme agent naturel de protection des denrées stockées contre les infestations d'insectes.

Au terme de cette étude, il peut être conclu que l'huile essentielle d'*Ammi visnaga* possède un effet répulsif intéressant à l'égard de *Tribolium castaneum* et d'*Oryzaephilus surinamensis*. Ces résultats confirment l'intérêt de cette espèce végétale comme source potentielle de substances bioactives pouvant être intégrées dans des stratégies alternatives de lutte contre les ravageurs des produits stockés.

Les perspectives de recherche dans ce domaine reposent sur une meilleure compréhension des mécanismes d'action de cette huile essentielle ainsi que sur l'identification des composés responsables de son activité biologique. Des études complémentaires portant sur l'évaluation de son efficacité dans des conditions réelles de stockage, sur sa stabilité au cours du temps et sur son éventuelle association avec d'autres substances naturelles pourraient contribuer au développement de méthodes de lutte plus efficaces, durables et respectueuses de l'environnement.

Références bibliographiques

- **Ahmed S.S.T., Fahim J.R., Youssif K.A., AboulMagd A.M., Amin.M.N., Abdelmohsen U.R., Elsayed Hamed A.N.,2022.** Metabolomics of the secondary metabolites of *Ammi visnaga* L. roots (family Apiaceae) and evaluation of their biological potential. *South African Journal of Botany*,149:860-869.

- **Amraoui A., 2022.***Composition chimiques et activités antimicrobienne, antioxydante, insecticide et anticancéreuse des huiles essentielles et/ou des extraits de Marrubium vulgare et d'Ammi visnaga*. Thèse de doctorat, Université Abdel Hamid Ibn Badis, Mostaganem,14P.

- **Al-Snafi A .E., 2013.** Chemical Constituents And Pharmacological Activities Of *Ammi Majus* And *Ammi Visnaga*. A REVIEW**.** *International Journal of Pharmacy and Industrial Research***,** 03 (03) : 257- 265.

- **Abdelfattah N.A.H. , Al-Qahtani A.R , Qari S.H, 2021.** SCoT-marker analysis of *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae) and stored date kernels of *Phoenix dactylifera* (L.) fumigated with ozone and phosphine gases. *Journal of Asia-Pacific Entomology*,24:843–849.

- **Abd El-Salam A.M.E., Salem S.A.e., Abdel-Rahman R.S,2019.** Fumigant and toxic activity of some aromatic oils for protecting dry dates from *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) in stores. *Bulletin of the National Research Centre*,43:63.

- **Amour C .,Bessebaa I, 2022.** *Inventaire et évaluation des dégâts des principaux ravageurs des denrées stockés*. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem,11-12P.

- **Al-Joary Y.I.M.A., Al-Obaidi R.G.F ., Al- Ejaidy S.O, 2021.** Study Of The Repellent Activity Of Some Medicinal Herbs Powder Against Adults Of *Tribolium Confusum* Duv. (Tenebrionidae: Coleoptera). *Plant Archives* , 21(1) : 445-450.

- **Angelini D.R., Kikuchi M., Jockusch E.L, 2009.** Genetic patterning in the adult capitate antenna of the beetle *Tribolium castaneum*. *Developmental Biology*, 327(1): 240-251.

- **Bakroune N.E, 2021.** *L'entomofaune des céréales dans la région de Biskra. Ecologie des populations des principaux bioagrésseurs*. Thèse de doctorat, Universite Mohamed Khider Biskra,2-6P.

- **Beltagy A.M ., Beltagy D.M, 2015.** Chemical composition of *Ammi visnaga* L. and New Cytotoxic Activity of its Constituents Khellin and Visnagin **.** *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research***,**7(6): 285-291**.**
- **Bouchaar A , Chennib A., 2025**. *Impact des huiles essentielles sur le contrôle des insectes nuisibles*. Mémoire de Master, Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF-Mila. 5p.
- **Bounechada M. , Arab R., 2011**. Effet insecticide des plantes Melia azedarach L. et *Peganum harmala* L. sur *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera:Tenebrionidae) . *Agronomie numéro 1* ,1-6.
- **Bouziane N ., Fassouli Y,2021.** *Effet insecticide des extraits hydro-methanolique de deux plantes médicinales sur les imagos de Tribolium castaneum (Coleoptera, Tenebrionidae)*. Mémoire de Master, Universite Kasdi Merbah – Ouargla ,11P.
- **Babaousmail M, 2019.** *Efficacité des extraits de quelques plantes spontanées issues de la région du M'zab dans la lutte biologique contre la cochenille blanche du palmier dattier Parlatoria blanchardi et la mineuse de la tomate Tuta absoluta*.Thèse de doctorat, Universite Kasdi Merbah – Ouargla,22P.
- **Bencheikh A, 2021.** *Effet de l'inhalation des huiles essentielles des deux plantes (Rutacée et Lamiacée) sur Tribolium castaneum (Coleoptera, Tenebrionidae)*. Mémoire de Master, Universite Kasdi Merbah Ouargla,13P.
- **Bercisse H,2015.** *Contribution à l'étude phytochimique et à l'effet antioxydant des extraits d'Ammi visnaga L.*. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ,15P.
- **Brahmi F., Chahbar N., Kebbouche G.S, 2016 .** Insecticidal effect of *Ammi visnaga*

L. (Apiaceae: Apial) methanolic extract against a citrus pest, *Toxoptera aurantii* (Aphididae: Homoptera) under controlled conditions. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(2): 230-235.

- **Çiçek S., Korkmaz Y.B., Tüzün B., Is¸ık S.,¨Ozo˘ gul Y.,¨ Ozo˘gul F,2026.** Characterization and in silico and in vivo insecticidal effects of marjoram essential oil and its nanoemulsion on *Tribolium castaneum* and *Oryzaephilus surinamensis*. *Journal of Stored Products Research*, 117:103028.

- **Derbouz A., 2024**. *Etude de l'activité insecticide de l'huile essentielle de Mentha pulegium à l'égard d'un ravageur des denrées stockées « Tribolium castaneum »*. Mémoire de Master, École Nationale Supérieure Vétérinaire. Rabie Bouchama.9-13p.
- **Deletre E., Schatz B.,Bourguet D., Chandre F., Williams L., Ratnadass A., Martin T,2016.** Prospects for repellent in pest control: current developments and future challenges. *Chemoecology*, 26: 127–142.
- **Eltalawy H.M.,El-Fayoumi H., Aboelhadid S.M.,Al-Quraishy S.,El-Mallah A.M., Abo El-Ela F.I., Awad E.M.,Abdel-Baki A.A.S,2025.** Insecticidal activity and systematic insights of carvacrol against Tribolium castaneum: Acetylcholinesterase inhibition, oxidative stress, and molecular docking". *Journal of Stored Products Research* ,112:102638.
- **El hachlafi.N., Benkhaira.N., Al-mijalli .S.H., Mrabti H.N., Abdnim R., Abdallah E.M., Jeddi M., Bnouham M., Lee Learn H., Ardianto C., Chiau Ming L., B Abdelhakim, Fikri-Benbrahim K.,2023.** Phytochemical analysis and evaluation of antimicrobial, antioxidant, and antidiabetic activities of essential oils from Moroccan medicinal plants: Mentha suaveolens, Lavandula stoechas, and Ammi visnaga. *Biomedicine &Pharmacotherapy journal*, 164:114937.
- **El Jabboury Z ., Ousaaid D ., Gašić U ., Janaćković P., Stevanovic Z.D ., Kolašinac S ., Benjelloun M ., El Ghadraoui L,2024.** Unraveling the Phytochemical Profile Variability and Antioxidant Activities of Different Parts of *Ammi visnaga* (L) Collected from Taounate Region**.** *Chemistry Africa* ,7: 71–77.
- **El Jabboury Z., Bentaib R., Stevanovic Z.D., Ousaaid D., Benjelloun M., El Ghadraoui L,2023.** *Ammi visnaga* (L.) Lam.: An overview of phytochemistry and biological functionalities.*Trends in Phytochemical Research (TPR)***,** 7(3): 141-155.
- **Eroglu N., Sakka M.K., Emekci M., Athanassiou C.G,2019.** Effects of zeolite formulations on the mortality and progeny production of *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis* at different temperature and relative humidity levels. *Journal of Stored Products Research*,81:40-45.

- **Gharsan.F., Jubara.N., Alghamdi.L., Almakady.Z ., Basndwh .E.,2018.** Toxicity of five plant oils to adult *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae).*Florida Entomologist*, 101(4):592-596.
- **Hebbaz B.E, Berramdane A.,2022.** *Les ravageurs des denrées stockées de la région de Oued Righ : cas de la bruche du pois chiche Callosobruchus maculatus (Fabricius, 1775) (Coleoptera, Bruchidae)*. Mémoire de Master, Universite Kasdi Merbah, Ouargla,2-8 P.
- **Harmouzi A., EL Ammari Y., Mssillou I.,Chlouchi A.,Lim A., Shahat A. A.,Chebaibi M, 2024.** Insecticidal Potential of Essential Oils from *Ammi visnaga* L. and *Trachyspermum ammi* L. against *Sitophilus oryzae* (L.) and In Silico Study of Their Major Constituents. *Horticulturae* , 10(7):722.
- **Hamzaoui y., Ghouila A, 2021.** *Effet insecticide et larvicide de deux poudres de plantes aromatiques (Verbina Officinalis et Borrago Officinalis) sur un redoutable ravageur de denrées stockées E.Kuehniella*. Mémoire de Master, Universite 8 Mai 1945 Guelma ,11-12P.
- **Hafiz Yousuf M.B., Yasin M, Rebouh N.Y., Aldawood A.S., Ali U ., Rosentrater K.A,2025.** Comparative assessment of conventional and hermetic storage facilities on wheat grain quality, pest infestation, and bread development. *Scientific Reports*,15: 34725.
- **Hashem M. Y., Ahmed S.S., El-Mohandes M.A., Gharib M.A,2012.** Susceptibility of different life stages of saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) to modified atmospheres enriched with carbon dioxide, *Journal of Stored Products Research* ,48:46-51.
- **Hashem A.S., Abdelwahab A.H.,Shahat M. A. M., Alharbi J, Alhamadi K. J, Khalil F., Al-Rashidi H.S., Alghamdi T., Mahyoub J.A., Aljameeli M.M,2025.** Synergistic Use of Phosphine and Botanical Fumigants: A Sustainable Strategy for Pest Resistance Mitigation and Postharvest Food Protection. *Journal of Crop Health* ,77: 166.

- **Halstead, D. G. H. 1993.** *Keys for the identification of beetles associated with stored products—II. Laemophloeidae, Passandridae and Silvanidae. Journal of Stored Products Research,* 29(2), 99-197. https://doi.org/10.1016/0022-474X(93)90030-8.
- **Hagstrum D. W., Phillips T. W., Cuperus G, 2012.** *Stored-Product Protection*. Kansas State University / AACC International, Manhattan, USA. 519p.
- **Khellaf A., Kermiche A.,2020.** *Les insectes ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master*, Université des Frères Mentouri, Constantine,1p.
- **Khellaf A., Kermiche A.,2020.** *Les insectes ravageurs des denrées stockées. Mémoire de Master*, Université des Frères Mentouri, Constantine,37-38p.
- **Khalfi B., 2023.** *Contribution à l'étude de la lutte biologique contre Tribolium castaneum(Herbst) le tribolium rouge de la farine , (Ordre : Coléoptère) (Famille:Tenebrionidae)*. Mémoire de Master, Université Amar Thelidji –Laghouat,1-7p.
- **Khammassi M.,Polito F.,Caputo L., Abidic A., Mabroukd Y., Nazzaroe F., Fratiannie F., Anouar A., Snoussi M., Noumi E., Amria I., De Feob V, 2024.** Antibacterial, antibiofilm, and chemical profiles of Ammi visnaga L. and Foeniculum vulgare mill. Essential oils, and ADMET, molecular docking investigation of essential oils major components. *Fitoterapia The Journal for the Study of Medicinal Plants*, 177 : 106047.
- **Khalil N., Bishr M., Desouky S., Salama O,2020.** *AmmiVisnaga L., a Potential Medicinal Plant: A Review***,** *Molecules Review* , 25(2): 301.
- **Kadri H.,2017.** *Etude phytochimique de quelques plantes de la Numidie Algérienne*. Thèse de doctorat, Badjimokhtar-Annaba University Rsite Badji Mokhtar-Annaba,12-15p.
- **Kamal F. Z., Dumitrita Stanciu G ., Lefter R., V. Cotea V., Niculaua M., Ababei D .C., Ciobica A ., Ech-Chahad A, 2022.** Chemical Composition and Antioxidant Activity of Ammi visnaga L. Essential Oil. *Antioxidants*, 11(2): 347.
- **Khalfallah A., Labed A., Semra Z., Ai Kaki B., Kabouche A., Touzani R., Kabouche Z, 2011.** Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Ammi visnaga* L. (Apiaceae) from Constantine, Algeria. *Int. J. Med. Arom. Plants*,1(3): 302-305.

- **Khadhri A., El Mokni R., Mguis K., Ouerfelli I., M. Araújo M. E, 2011.** Variability of two essential oils of Ammi visnaga (L.) Lam. a traditional Tunisian medicinal plant . *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(20): 5079-5082.
- **Karimzadeh R., Salehpoor M., Saber M,2021.** Initial efficacy of pyrethroids, inert dusts, their low-dose combinations and low temperature on *Oryzaephilus surinamensis* and *Sitophilus granaries* . *Journal of Stored Products Research* , 91:101780.
- **Kłyś M., Przystupińska A, 2015.** The mortality of *Oryzaephilus surinamensis* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Silvanidae) induced by powdered plants. *journal of plant protection research* ,55 (1):110-116.
- **Lakhial S.,2018.** *Inventaire des insectes et des maladies des denrées stockées*.Mémoire de Master.Universite Akli Mouhande Oulhadj-Bouira,2P.
- **Lallali B., Ben Moubarek A., AncerW.,2023**. *Etude de l'activité larvicide des produits naturels*. Mémoire de Master, Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF-Mila.17 P.
- **Laoudi T.,2023.** *Etude de la sensibilité à différentes huiles essentielles du Silvain, Oryzaephilus surinamensis (Coleoptera : Silvanidae), insecte ravageur des denrées stockées*. Thèse de doctorat ,Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.6-13P.
- **Laoudi T., Khelfane-Goucem K., Aissaoui F., Chebrouk F., Graiche F., Amrouche L., Saher L., Kellouche A,2025.** Insecticidal activity of some essential oils and their synergistic interaction against the sawtoothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* L., 1758 (Coleoptera: Silvanidae). *Journal of Stored Products Research* ,110:102481.
- **Lin J., Yan X.,Zhou Y., Zhu G., Ariyo O.S, Wang S., Chen J., Zhu Y., Wang C., Li D., Xiao H,2025.** Modified atmosphere and ozone treatment technologies in stored grain pest control: mechanism, applications and challenges.*Agricultural Products Processing and Storage*,1:16.
- **Lamiri A., Lhaloui S., Benjilali B., Berrada M,2001.** Insecticidal effects of essential oils against hessian fly ,*Mayetiola destructor* (Say). *Fields Corps Research* ,71: 9-15.

- **M. Rahal., 2021.** Ammi visnaga. Herbe aux cure-dents**.** *Phytothérapie***,** 19: 267-275 **.**

- **Misra H.O., Lal R.K., Gupta A.K., Kumar B., A.N. Misra A.N., S. Sarkar S., V. Gupta V., S. Singh S., P. Gupta P., M. Zaim M., V.R. Singh V.R,2013**. Genetic variability, character association and path analysis for economic traits in Bishop's weed (*Ammi visnaga* (L.)) Lam. *Industrial Crops and Products*,49: 593– 597.

- **Mbacké Dia C.A.K.,2019**. *Caractérisation morphogénétique des populations Ouest-africaines de Tribolium castaneum Herbst, ravageur des céréales stockées: différenciation en races hôtes et écotypes* . Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. 25-27p.

- **Mohsin A ., Bodlah M.A ., Younas A ., Kanwal A.,2025**. Sawtoothed grain beetle (Oryzaephilus surinamensis) in stored dates: biology, damage, and advances in sustainable management. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 24: 69.

- **Mutalov A., Kalandarov P., Kannazarova Z., Gazieva R., Shavazov K,2025.** Comprehensive strategies for managing stored grains: Tackling insect infestation and quality loss: A review. *Journal of Stored Products Research*,112: 102624.

- **Machuca-Mesa L.M., Turchen L.M., Guedes R.N.C,2024.** Phosphine resistance among stored product insect pests: A global meta-analysis-based perspective. *Journal of Pest Science*, 97:1485–1498.

- **Mohsin A., Bodlah M.A., Younas A ., Kanwal A.,Bodlah I, 2026.** Assessment of date fruit varieties for supporting Oryzaephilus surinamensis populations using age-stage, two-sex life table parameters. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 87:21.

- **Mc Donald L.L., Guy R.H., Speirs R.D, 1970.** Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects. *Unites States Departement Agriculture Marketing Research Report*, 882p.

- **Mutalov A., Kalandarov P., Kannazarova Z., Gazieva R., Shavazov K, 2025.** Comprehensive strategies for managing stored grains: Tackling insect infestation and quality loss: A review. *Journal of Stored Products Research* ,112:102624.

- **Ma C., Lia J.,Qib X.,Suna M.,Zhou H, 2026.** Pest manager: A systematic framework for precise pest monitoring in invisible grain pile storage environments. *Pattern Recognition*, 171:112294.
- **Nika E.P., Kavallieratos N.G., Papanikolaou N.E.,2020** . Developmental and reproductive biology of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae) on seven commodities . *Journal of Stored Products Research* , 87:101612.
- **Naimi I., Annaz H., Bouamama H., Ba M'hamed T,2025.** Repellent, antifeedant, and insecticidal effects of *Pinus halepensis* Mill. (Pinaceae) extract against two stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*,114:102730.
- **Nerio L. S., Olivero-Verbel J., Stashenko E. E, 2009.** Repellent activity of essential oils from seven aromatic plants grown in Colombia against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). *Journal of Stored Products Research*, 45 : 212–214.
- **Oh S.T., Mahalle R.M., Shin J.W.,Seong K.M,2026.***tca-miR*-137-5p modulates phosphine resistance by targeting CYP346B3 in *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, 117:102996.
- **Pavela R., Vrchotova N.,Tríska J, 2016.** Larvicidal activity of extracts from *Ammi visnaga* Linn. (Apiaceae) seeds against *Culex quinquefasciatus* Say. (Diptera: Culicidae). *Experimental Parasitology* , 165:51-57.
- **Pavela R, 2015.** Acaricidal properties of extracts and major furanochromenes from the seeds of *Ammi visnaga* Linn. against *Tetranychus urticae* Koch. *Industrial Crops and Products*, 67:108–113.
- **Reyes-Ávilaa A., López-Ruiza ., Egea González F. J., Romero-González R ., Garrido Frenich A,2024.** Chemistry and development of bioinsecticides for safe and sustainable use. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 41:100568.
- **Sharmin R., Haque S., Rumpa M.J.F.,Faruki S.I, 2024.** Mortality and Repellency Effect of Some Essential Oils against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Asian Journal of Research in Zoology* ,7(4): 125-132.
- **Soares de Oliveira M,A., Melo Coutinho H.D., Jardelino de Lacerda N.L ., Castro de Oliveira L.C.a ., Bezerra da Cunha F.A ,2020.** Repellent activity of essential oils against culicids: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* ,18:100328.

- **Soledad J.A., Rossetti M.R., Salvo A,2025.** Overall repellent effect of plant essential oils on insect choice behaviour: a meta-analysis . *Journal of Pest Science* ,98:649-659.
- **Sekrane F.Z.Y, 2023.** *Les ravageurs des denrées stockées: Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée*.Thèse de doctorat, Université MUSTAPHA Stambouli Mascara,20P.
- **Seada M.A., Hamza A.M, 2018.** Differential morphology of the sensory sensilla of antennae, palpi, foretarsi and ovipositor of adult *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of Agricultural Sciences,* 63(1): 1-8.
- **Singh S., Choudhary H, 2026.** Essential oil composition and synergistic bioefficacy of medicinal plant essential oils against *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research*, 115: 102842.
- **Shen R., Wang D., Meng K., Jin Y.,Yao J.,Sun H,2026.** Effects of sublethal carbon dioxide concentrations on biological characteristics and life table parameters of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera: Silvanidae). *Journal of Stored Products Research*,116:102982.
- **Tirakmet S.,2015**.*Étude comparative entre l'activité insecticide des huiles essentielles extraites à partir de deux espèces de la famille des Astéracées récoltées dans la région de Makouda et l'activité insecticide d'un pesticide organique de synthèse sur le ravageur secondaire du blé tendre stocké Tribolium castaneum(Coleoptera : Tenebrionidea)*. Mémoire de Master, Université Mouloud MAMMERI De Tizi-Ouzou,12-15p.
- **Taibi K ., Kahlal C., 2022**. *Étude De Lactivite Biologique De Quelques Plantes Médicinales Sur Les Insectes Des Denrées Stockés* . Mémoire de Master,Université Dr. Yahia Farès de Médéa . 27p.
- **Taibi K., Kahlal C,2022.** *étude de l'activite biologique de quelques plantes médicinales sur les insectes des denrées stockés*. Mémoire de Master, Université Dr. Yahia Farès de Médéa , 21P.
- **Tijjani A.,Bashir K. A., Mohammed I., Muhammad A., Gambo A., Musa H,2016.** BIOPESTICIDES FOR PESTS CONTROL: A REVIEW. *Journal of Biopesticides and Agriculture*,3(1):6-13.

- **Teke M.A., Mutlu Ç, 2021.** Insecticidal and behavioral effects of some plant essential oils against *Sitophilus granarius* L. and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Plant Diseases and Protection* , 128:109 –119.
- **Wijerathna S.S., Perera A.G.W.U., Chinthaka S.D.M, 2023.** Chemical composition and biological efficacy of Acorus calamus (L.) rhizome essential oil on *Sitophilus oryzae* (L.), *Rhyzopertha dominica* (F.), and *Oryzaephilus surinamensis* (L.) as stored-grain protectants.*Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*,54:102931.
- **You C.,Yao Y.,Dai K.,Chen J, Wu Y., Zhang W.,Yu X., Jiang C.,Gao X,2026.** Synergistic insecticidal mechanism of 2-undecanone and decanal against Tribolium castaneum larvae via dual suppression of GST and FDa pathways. *Journal of Stored Products Research*, 116:102938.
- **Zhang Q., Lu J., Ahmed Z., Jiang S., Xu B,2025.** Effect of temperature and relative humidity on the development of *Oryzaephilus surinamensis* L. (coleoptera: Silvanidae) reared on dried noodles. *Journal of Stored Products Research*, 111:102541.