République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique Université Dr. Yahia Farès de Médéa

Faculté des Sciences

S

Thèse de mémoire

Département Sciences agronomique

Spécialité : Phytopathologie

Présenté par :

HAMIDI Nasr Eddine BEKHTAOUI Mohamed

Étude de l'effet insecticide des extraits de plantes aromatiques et médicinales sur des bioagrésseurs des cultures

Soutenue publiquement le : 23 /06/2026, Devant le jury composé de :

Dr TCHAKER F/Z	**MCA**	**Président**	**U.Y.F.Medea**
Dr SAFIDDINE	**MCA**	**Examinateur**	**U.Y.F.Medea**
Dr CHAOUATI	**MCB**	**Encadreur**	**U.Y.F.Medea**

Année universitaire 2025/2026

REMERCIEMENTS

2026

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

Je remercie en premier lieu mon encadrante **Mme CHAOUATI Karima** pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa patience et sa confiance tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury, Mme TCHAKER et **Mme SAFIDDINE** pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail.

Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe qui m'a accueillie et soutenue, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont participé à la réussite de ce projet.

Enfin, je remercie ma famille et mes amis pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leur patience durant toute cette période.

Merci à tous





Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents pour leur amour, leurs sacrifices et leurs encouragements.

À mon épouse, pour son soutien et sa patience.

À mes chers enfants, Zaki Anis et Baraa, source de ma joie et de ma motivation.

À eux tous.

MOHAMED



Dédicace

Je dédie ce modeste travail avant tout à mes chers parents.

À ma mère, qui nous a élevés dans les valeurs morales, le respect et l'obéissance.

À mon père, qui nous a appris la dignité, la persévérance et à ne dépendre que de l'Allaah.

Je dédie également ce travail à toutes les personnes qui nous ont transmis un savoir, ne serait-ce qu'une seule lettre, et qui ont contribué à notre formation.

Mes pensées vont aussi à mes compagnons de route, qui ont partagé avec moi les différentes étapes de mon parcours académique, ainsi qu'à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études

NASREDDINE.

« Étude de l'effet insecticide des extraits des plantes aromatiques et médicinales sur des bioagrésseurs des cultures »

Résumé

Les ravageurs des denrées stockées sont responsables d'importantes pertes quantitatives et qualitatives, compromettant la sécurité alimentaire. Face aux limites des insecticides de synthèse, les plantes aromatiques et médicinales constituent une source prometteuse de biopesticides. Le présent travail s'inscrit dans cette démarche et a pour objectif d'évaluer le potentiel insecticide de certaines plantes aromatiques et médicinales à travers l'étude de leurs huiles essentielles et de leurs extraits sur plusieurs ravageurs des denrées stockées.

L'activité insecticide des huiles essentielles de *Citrus limon*, *Foeniculum vulgare* et *Citrus aurantium*, ainsi que des extraits de *Peganum harmala* et *Capparis spinosa*, a été évaluée sur trois espèces d'insectes des stocks : *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor* et *Sitophilus zeamais*. Les essais ont été réalisés selon deux modes d'exposition (contact et inhalation), à différentes doses et durées d'exposition.

Les produits testés ont présenté des efficacités variables selon l'espèce d'insecte, la dose et le temps d'exposition. Les huiles essentielles se sont révélées plus actives par contact que par inhalation, avec une augmentation des taux de mortalité en fonction de la dose et de la durée d'exposition. *Tribolium confusum* a montré la plus grande sensibilité, notamment aux huiles essentielles d'agrumes, tandis que *Tenebrio molitor* s'est avéré plus tolérant. Une activité insecticide notable a également été observée chez *Sitophilus zeamais*.

Les résultats mettent en évidence le potentiel insecticide des métabolites secondaires des plantes étudiées, en particulier des huiles essentielles de *Citrus limon*, *Foeniculum vulgare* et *Citrus aurantium*. Ces produits naturels pourraient constituer une alternative écologique aux insecticides conventionnels pour la protection des denrées stockées. Des études complémentaires sont toutefois nécessaires afin de confirmer leur efficacité en conditions réelles d'utilisation.

Mots-clés : huiles essentielles, extraits végétaux, activité insecticide, *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus zeamais*.

"دراسة التأثير الحشري لمستخلصات النباتات العطرية والطبية على بعض الآفات الحيوية للمحاصيل"

الملخص

تُمثّل الأضرار التي تُحدثها الحشرات الضارة بالمحاصيل الزراعية المخزنة في مرافق التخزين مشكلة حقيقية تؤثر بشكل مباشر في الأمن الغذائي وجودة المنتجات الزراعية المخزنة. وفي هذا السياق، يزداد الاهتمام بالبحث عن بدائل طبيعية للمبيدات الكيميائية الاصطناعية، نظراً لما تسببه هذه الأخيرة من آثار سلبية على البيئة وصحة الإنسان، إضافة إلى ظهور حالات مقاومة لدى الحشرات المستهدفة. ومن هذا المنطلق، تندرج هذه الدراسة ضمن مساعي تثمين النباتات العطرية والطبية واستكشاف قدرتها على توفير بدائل نباتية فعالة وآمنة في مجال مكافحة حشرات المخازن.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الفعالية الحشرية لثلاثة زيوت أساسية هي زيت الليمون (*Citrus limon*)، وزيت الشمر (*Foeniculum vulgare*)، وزيت النارنج (*Citrus aurantium*)، بالإضافة إلى مستخلصات نباتي الحرمل (*Peganum harmala*)والكَبَر (*Capparis spinosa*)، وذلك ضد ثلاثة أنواع من الحشرات ذات الأهمية الاقتصادية في المواد المخزنة، وهي *Tribolium confusum* :و *Tenebrio molitor*و .*Sitophilus zeamais*وقد أُجريت الاختبارات البيولوجية وفق طريقتي التعرض بالملامسة والاستنشاق، بهدف دراسة استجابة الحشرات باختلاف نوع المنتج النباتي، والجرعة المستعملة، ومدة التعرض.

أظهرت النتائج المتحصل عليها وجود نشاط حشري متفاوت تبعاً لنوع الحشرة المدروسة وطبيعة المادة النباتية المستعملة. وبصفة عامة، بيّنت الزيوت الأساسية فعالية أكبر عند تطبيقها بطريقة الملامسة المباشرة مقارنة بطريقة الاستنشاق. كما لوحظ أن فعالية هذه الزيوت ترتبط ارتباطاً وثيقاً بكل من الجرعة ومدة التعرض، حيث ارتفعت نسب الموت تدريجياً مع زيادة الزمن في عدد من المعاملات. وقد أبدى النوع *Tribolium confusum* حساسية واضحة تجاه الزيوت الأساسية المختبرة، خاصة زيوت الحمضيات، في حين أظهر *Tenebrio molitor* درجة أعلى من التحمل. أما بالنسبة إلى *Sitophilus zeamais*، فقد سُجلت فعالية حشرية معتبرة كذلك، مع اختلاف مستوى التأثير باختلاف نوع الزيت الأساسي المستخدم. وفي المقابل، ظل التأثير التبخيري أو التدخيني ضعيفاً أو منعدماً في ظروف التجربة المعتمدة، مما يدل على أن فعالية هذه المواد ترتبط بدرجة كبيرة بطريقة التطبيق .وبصفة عامة، تُبرز هذه الدراسة الأهمية التطبيقية للمستقلبات الثانوية للنباتات العطرية والطبية باعتبارها مصدراً واعداً للمبيدات الحيوية التي يمكن استغلالها في حماية المواد المخزنة. كما تؤكد النتائج أن بعض الزيوت الأساسية، ولا سيما زيوت الليمون والشمر والنارنج، تمتلك قدرة حشرية واعدة ضد بعض آفات المخازن، الأمر الذي يفتح آفاقاً مهمة لتطوير وسائل مكافحة أكثر استدامة وأقل ضرراً على البيئة والصحة، وأكثر توافقاً مع متطلبات الزراعة الحديثة وحماية المخزونات الغذائية.

الكلمات المفتاحية :الزيوت الأساسية، المستخلصات النباتية، الفعالية الحشرية، *Tribolium confusum*، *Tenebrio molitor*، *Sitophilus zeamais*، المبيدات الحيوية، المواد المخزنة.

"Study of the Insecticidal Effect of Aromatic and Medicinal Plant Extracts on Crop Pests"

Abstract

Stored-product pests are responsible for significant quantitative and qualitative losses, thereby compromising food security. Due to the limitations associated with synthetic insecticides, aromatic and medicinal plants are considered a promising source of biopesticides. This study aimed to evaluate the insecticidal potential of selected aromatic and medicinal plants through the investigation of their essential oils and extracts against several stored-product insect pests.

The insecticidal activity of the essential oils of *Citrus limon*, *Foeniculum vulgare*, and *Citrus aurantium*, as well as extracts of *Peganum harmala* and *Capparis spinosa*, was evaluated against three economically important stored-product insect species: *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, and *Sitophilus zeamais*. Bioassays were conducted using two exposure methods (contact and fumigation) at different doses and exposure periods.

The tested products exhibited variable efficacy depending on insect species, dose, and exposure time. Essential oils were generally more effective through direct contact than through fumigation, with mortality rates increasing according to dose and exposure duration. *Tribolium confusum* showed the highest susceptibility, particularly to citrus essential oils, whereas *Tenebrio molitor* was more tolerant. A notable insecticidal activity was also observed against *Sitophilus zeamais*.

The results highlight the insecticidal potential of the secondary metabolites of the studied plants, especially the essential oils of *Citrus limon*, *Foeniculum vulgare*, and *Citrus aurantium*. These natural products could represent an environmentally friendly alternative to conventional insecticides for the protection of stored products. However, further studies are needed to confirm their effectiveness under practical storage conditions.

Keywords: essential oils, plant extracts, insecticidal activity, *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus zeamais*, biopesticides, stored-product pests.

Liste des figure :

Figure 1 : *Peganum harmala L*, **a :** aspect de *Peganum harmala L* ; b : tige feuillée c : fleurs **.** 7
Figure 2 : Carte de la distribution géographique de *Peganum harmala* dans le monde 8
Figure 3 : Carte de distribution géographique de *Peganum harmala* en Algérie**. .** 9
Figure 4 : *Capparis spinosa*, **a :** aspect de *Capparis spinosa*; **b :** fleurs **c :** fruits **.** 14
Figure 5 : Carte de la distribution géographique de *C.spinosa* dans le monde**.** 15
Figure 6 : Carte de la distribution géographique de *C.spinosa* en algerie 16
Figure 7 : Diffusion des agrumes dans le monde. * Origine et aire de répartition primaire. ** Aires de répartition et de diversification secondaire 22
Figure 8 : :Répartition de la production mondiale par espèce d‟agrumes en 23
Figure 9 : Répartition des superficies agrumicoles par région 24
Figure 10 : Citrus aurantium 26
Figure 11 : Citrus limon 27
Figure 12 : Foeniculum vulgare 28
Figure 13 : Tribolium castaneum 29
Figure 14 : Tribolium castaneum 31
Figure 15 : Sitophilus oryzae L., ... 32
Figure 16 : Le cycle biologique de Sitophilus oryzae L 34
Figure 17 : Tenebrio molitor L 35
Figure 18 : Le cycle biologique de Tenebrio molitor L 36
Figure II.1 : Capparis spinosa L 37
Figure II.2 : Peganum harmala L 38
Figure II.3. Les insectes de teste a : adulte *Tribolium confusum* b : adulte *Sitophilus oryzae* c : larves de *Tenebrio molitor* L. 39
Figure II.5 : Les parties séchée de *(Capparis spinosa)* (A: feuille, B : racine). 40
Figure II.6: Les parties séchée de *de (Peganum harmala L)* (A: feuille ,B : racine). 40
Figure II.7 : broyage et tamisage des échantillons pour l'obtention d'une poudre très fine. 40
Figure II.7 : Protocole d'extraction méthanolique des plantes testés. 42
Figure II.8 : Préparation des dilutions des extraits et huiles essentielles. 43
Figure II.9 : Evaluation de la toxicité des extrais par effet contact 44
Figure II.10 : Evaluation de la toxicité des extrais par effet ingestion. 44
Figure III.1: Taux de mortalité de *Tribolium confusum* traité par l'huile essentielle de *Citrus limon*... 46
Figure III.2: Taux de mortalité de *Tribolium confusum* traité par l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare)* par contact. 47
Figure III3 : Taux de mortalité des adultes de *Tribolium confusum* exposés à l'huile essentielle de bigaradier (*Citrus aurantium*) par contact. 48
Figure III.4 : Taux de mortalité des adultes de Tenebrio molitor exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de citron (Citrus limon) par contact 50
Figure III.5 :Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) par contact. 50
Figure III.6 :Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de bigaradier (*Citrus aurantium*) par contact 51
Figure III.7 : Taux de mortalité des adultes de Sitophilus zeamais exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de bigaradier (*Citrus limon*) par contact. 53
Figure III.8 :Taux de mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) par contact. 55

Figure III.9 :Taux de mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de bigaradier (*Citrus aurantium*) par contact..... 56

Liste des tableau :

Tableau 01 : Composition chimique de Peganum harmala 9
Tableau 02 : L'usages traditionnels de différentes parties de P.harmala dans la phytothérapie 11
Tableau 03 : Composition chimique des extraits de différents organes de Capparis spinosa L..... 17

Tables de matiére

Table des matières

..... II

INTRODUCTION 1

I.1.1.*Peganum harmala L* : 2

I.1.1.1. Généralité : 2

I.1.1.2.La classification botanique : 2

I.1.1.3.Description botanique : 3

I.1.1.4.Répartition géographique : 4

I.1.1.4.1.Distribution dans le monde : 4

I.1.1.4.2.Distribution en Algérie : 4

I.1.1.5.Composition chimique : 5

I.1.1.6.Domaine d'utilisation : 6

I.1.1.6.1.Usages traditionnels : 6

I.1.1.6.2.Usage moderne : 7

I.1.1.6.3.Utilisation biologique : 8

I.1.2.1.La classification systématique : 9

I.1.2.2.Description botanique : 9

I.1.2.3.1.Distribution en Algérie : 11

I.1.2.4.Composition chimique : 12

I.1.2.5.Domaine d'utilisation : 16

I.1.2.5.1.Usages traditionnels : 16

I.1.2.5.1.Usages modernes : 16

- Activités antioxydantes, anticancéreuses et antimicrobiennes 16
- Activités anti-inflammatoires, anti-arthritiques et immunomodulatrices : 17
- Activités antidiabétiques et autres propriétés biologiques 17

I.1.3 AGRUMES*:* 17

I.1.3.1. Généralité : 17

I.1.3.3.Composition chimique : 20

I.1.3.4La classification botanique : 20

I.1.3.5. Genre Citrus : 21

I.1.3.5.4. 2.Composition chimique : 24

I.2. Aperçu biologique des insectes études : 24

I.2.1.*Tribolium confusum* : 24

I.2.2. *Sitophilus oryzae* L*:* 26

I.2.3. *Tenebrio molitor L.:* 29
1. Objectif de l'étude : 33
II.1.Matériel : 33
II.1.1.Matériel végétal : 33
II.1.1.1.Plantes testés : 33
II.1.1. Matériel Animal : 34
II.2. Méthodes : 35
III.2.1.Séchage broyages et tamisages de la plante : 35
II.2.2.Préparation des extraits : 37
II.2.2.1. Protocole d'extraction: 37
III.2.2.1.1. Le choix du solvant: 37
III.2.2.1.2.Extraction par macération à froid dans la solution hydrométhanol (extrait éthanolique): 37
III.2.1.1.3.Extraction par macération à froid dans l'eau distillée (extraits aqueux) : 38
II.2.3.Teste biologique *in vitro* : 39
II.2.3.1. Préparation des dilutions des extraits et huiles essentielles : 39
II.2.3.2. Evaluation de la toxicité des extrais par effet contact : 39
II.2.3.3. Évaluation de la toxicité des extraits par effet d'ingestion : 40
II.2.3.4. Évaluation de la toxicité des huiles essentielles par effet d'inhalation : 41
II.2.4. Expression des résultats : 41
IV.2.4.1. Détermination du taux de mortalité : 41
Discussion générale 44
III.1. Discussion de l'activité insecticide chez *Tribolium confusum* 44
III.2. Discussion de l'activité insecticide chez *Tenebrio molitor* 45
III.3. Discussion de l'activité insecticide chez *Sitophilus zeamais* 46
III.4. Discussion comparative entre les trois espèces 48
Conclusion & Perspectives 51

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les denrées stockées constituent l'un des piliers essentiels de la sécurité alimentaire mondiale. Toutefois, elles subissent d'importantes pertes quantitatives et qualitatives causées par divers ravageurs des stocks, notamment les insectes qui altèrent la qualité des produits et réduisent leur valeur marchande. Parmi ces ravageurs figurent *Tenebrio molitor*, *Tribolium confusum* et *Sitophilus zeamais*, connus pour les dégâts considérables qu'ils occasionnent aux céréales et autres produits stockés (**Phillips et Throne, 2010 ; Rees, 2004).**

La lutte contre ces insectes repose principalement sur l'utilisation d'insecticides chimiques. Cependant, leur emploi intensif a conduit à l'apparition de phénomènes de résistance chez les insectes, à la contamination de l'environnement ainsi qu'à des risques pour la santé humaine et animale **(Pimentel, 2005 ; Isman, 2006).** Face à ces contraintes, la recherche de solutions alternatives respectueuses de l'environnement constitue aujourd'hui une priorité.

Les plantes médicinales et aromatiques représentent une source importante de substances bioactives pouvant être utilisées comme biopesticides naturels. Grâce à leur richesse en métabolites secondaires, tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les terpènes et les composés phénoliques, elles possèdent de nombreuses propriétés biologiques, notamment insecticides, répulsives, larvicides et antialimentaires **(Pavela, 2016 ; Isman, 2020).** Les extraits végétaux et les huiles essentielles suscitent ainsi un intérêt croissant dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs des denrées stockées en raison de leur biodégradabilité et de leur faible impact environnemental **(Regnault-Roger et al., 2012).**

Parmi les espèces végétales prometteuses, *Peganum harmala* L. est reconnue pour sa richesse en alcaloïdes β-carboliniques, notamment l'harmine et l'harmaline, auxquels sont attribuées diverses activités biologiques, dont l'activité insecticide **(Herraiz et Chaparro, 2005 ; Kartal et al., 2003).** De même, *Capparis spinosa* L., plante méditerranéenne largement répandue, renferme de nombreux composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les alcaloïdes et les glucosinolates, susceptibles d'exercer une activité biopesticide **(Tlili et al., 2011 ; Nabavi et al., 2016).** En parallèle, les huiles essentielles de citron (*Citrus limon*), de fenouil sauvage

(*Foeniculum vulgare*) et de bigaradier (*Citrus aurantium*) sont connues pour leurs propriétés insecticides et répulsives, attribuées principalement à leur forte teneur en composés terpéniques volatils tels que le limonène, l'anéthol et le **linalol (Tripathi et al., 2009 ; Pavela et Benelli, 2016).**

La valorisation de ces ressources végétales locales dans la région de Médéa pourrait contribuer au développement de méthodes de lutte alternatives, efficaces, durables et respectueuses de l'environnement. Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer l'effet insecticide des extraits de extraits aqueux et éthanoliques de *Peganum harmala* et *Capparis spinosa*, ainsi que l'activité insecticide des huiles essentielles de *Citrus limon*, *Foeniculum vulgare* et *Citrus aurantium* sur différents ravageurs des denrées stockées.

Pour la restitution de nos résultats, ce document est scindé en trois chapitres qui sontcomposés d'une introduction et suivis d'une conclusion et des perspectives.

- ✓ Ainsi, le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur les plantes et insectes étudiées .
- ✓ Le deuxième chapitre porte sur la partie expérimentale avec une présentation des Techniques d'études en terrain, d'extractions et des méthodes d'évaluation les activités biologiques.
- ✓ Le quatrième chapitre présente les résultats de l'évaluation des propriétés insecticides des métabolites secondaires des extraits des deux espèces.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

I.1. Description des plantes étudies :

I.1.1.*Peganum harmala L* :

I.1.1.1. Généralité :

Peganum harmala L. (Zygophyllaceae), appelée aussi harmal, est une plante buissonnante sauvage pouvant atteindre 30 à 90 cm de hauteur. Elle est largement répandue en Afrique du Nord, mais se rencontre également au Moyen-Orient, en Turquie, au Pakistan et en Inde. Cette espèce présente un intérêt particulier sur les plans biochimique, pharmacologique et médicinal.

La plante est riche en alcaloïdes, dont la teneur totale peut atteindre 4 %. Les principaux composés identifiés sont l'harmaline, l'harmine, l'harmalol et la peganine. Sur le plan thérapeutique, les fruits et les graines sont traditionnellement utilisés comme digestifs, diurétiques, hallucinogènes, hypnotiques, antipyrétiques, antispasmodiques, émétisants, narcotiques et stimulants utérins. Les feuilles sont employées dans le traitement de l'asthme, des coliques, de la dysménorrhée, du hoquet, de l'hystérie, de la névralgie et du rhumatisme.

Par ailleurs, *P. harmala* est également utilisée pour ses propriétés antimicrobiennes, antitumorales et antipaludiques, ainsi que comme insecticide. En usage traditionnel, elle est administrée en décoction ou en pommade pour traiter les fièvres, et en frictions pour soulager les rhumatismes **(Ababou et al., 2013 ; Kemassi et al., 2014a).**

I.1.1.2.La classification botanique :

Embranchement : Spermatophytes

Sous-embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Sapindales

Famille *: Zygophyllaceae*

Genre : *Peganum*

Espèce *: Peganum harmala L.* ***(Aberkane et al., 2024).***

I.1.1.3.Description botanique :

Peganum harmala L. est une plante vivace, herbacée, glabre et fortement ramifiée, pouvant atteindre 30 à 60 cm de hauteur. Elle développe des racines courtes et rampantes, capables de s'enfoncer jusqu'à 6,1 m de profondeur dans les sols très secs (figure 8). Cette espèce fleurit généralement entre juin et août dans l'hémisphère Nord **(Yousefi et al., 2009).** Ses tiges, dressées et très ramifiées, disparaissent en hiver. Elles portent des feuilles alternes, découpées en lanières étroites (figure 1). À l'extrémité des rameaux apparaissent des fleurs solitaires, relativement grandes, mesurant de 25 à 30 mm de diamètre **(Maire, 1933 ; Chopra et al., 1960 ; Ozenda, 1991).**

Les fruits sont de petites capsules sphériques, triloculaires, de 6 à 10 mm de diamètre, dressées sur la tige et légèrement déprimées au sommet (figure 1) **(Yousefi et al., 2009)**. Chaque capsule renferme plus de 50 petites graines triangulaires **(Asghari et al., 2004 ; Mouloudizargari et al., 2013)**. Ces graines sont nombreuses, petites, anguleuses, subtriangulaires et de couleur brun foncé (figure 12) ; leur tégument externe est réticulé et elles présentent une saveur amère **(Chopra et al., 1960).**

Par ailleurs, *P. harmala* possède des racines longues et profondes, ce qui lui permet de jouer un rôle important dans la conservation des sols et la fixation des sables. Elle se distingue aussi par une forte capacité d'adaptation et une bonne tolérance au froid et à la sécheresse, en raison de ses faibles exigences édaphiques **(Zhu, 2024).**



Figure 1 : *Peganum harmala L.*, **a :** aspect de *Peganum harmala L.* ; b : tige feuillée ; c : fleurs **(Rezzagui, 2012).**

I.1.1.4.Répartition géographique :

I.1.1.4.1.Distribution dans le monde :

Peganum harmala L., communément appelée « rue syrienne », est une espèce adaptée aux régions arides et semi-arides. Sa distribution naturelle s'étend de l'Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie, Libye et Égypte) jusqu'au Moyen-Orient et à l'Asie centrale et méridionale, incluant notamment l'Iran, l'Irak, la Turquie, le Pakistan, l'Inde et la Chine. L'espèce est également présente dans certaines régions de l'Europe méridionale et en Russie. Grâce à sa forte capacité d'adaptation aux conditions environnementales difficiles, *P. harmala* a été introduite et naturalisée dans plusieurs autres régions du monde, notamment aux États-Unis, au nord du Mexique et en Australie, ce qui lui confère aujourd'hui une large répartition géographique **(Yousefi et al., 2009 ; Sharifi-Rad et al., 2021) (Figure 02).**

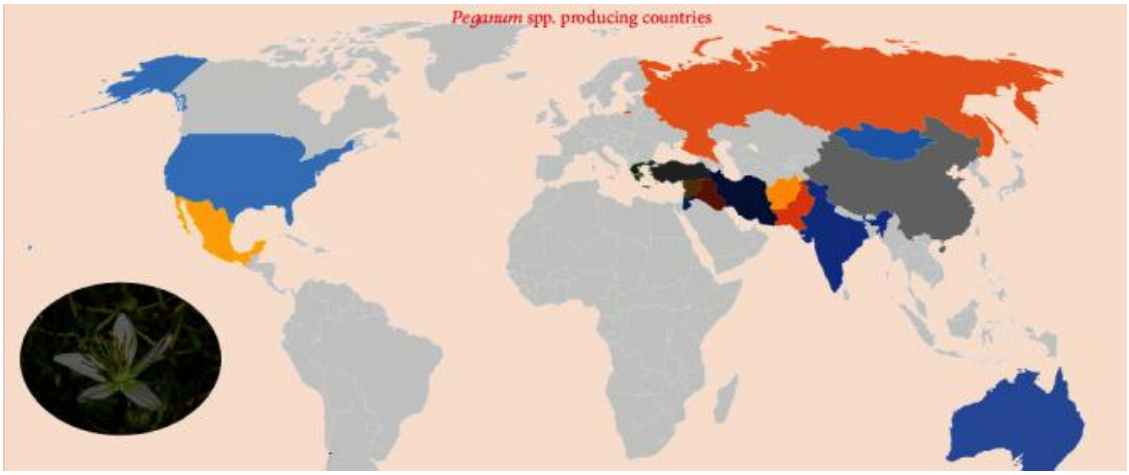


Figure 2 : Carte de la distribution géographique de *Peganum harmala* dans le monde **(Sharifi-Rad et al., 2021).**

I.1.1.4.2.Distribution en Algérie :

En Algérie, *Peganum harmala* L. est largement répandue dans les Hauts Plateaux, le Sahara septentrional et méridional, ainsi que dans les massifs du Sahara central. L'espèce est particulièrement associée aux terrains sableux, aux lits d'oueds et aux zones situées à l'intérieur des agglomérations **(Kemassi et al., 2014b) (figure 03).**

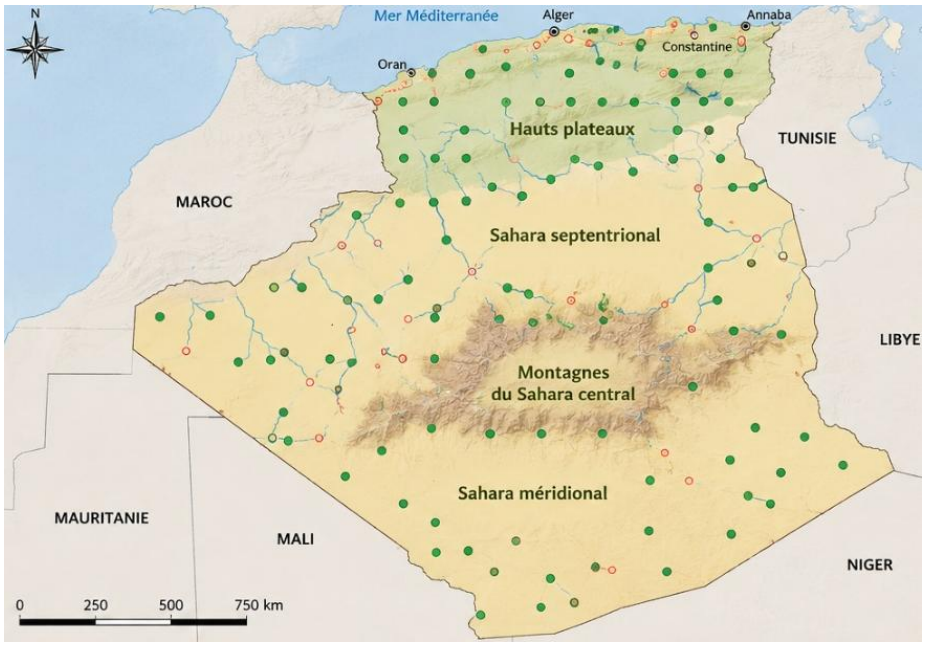


Figure 3 : Carte de distribution géographique de *Peganum harmala* en Algérie**. (Kemassi et al., 2014a).**

I.1.1.5.Composition chimique :

Chez *Peganum harmala*, l'analyse comparative de la composition chimique a révélé la présence de plusieurs composés bioactifs appartenant principalement aux terpènes, phénols et dérivés aromatiques**(Li et al., 2017)** (Tableau 01). Les constituants majoritaires identifiés sont l'*alcanfor* (28,24 %), le *capillin* (13,176 %), l'*eugenyl méthyl* (9,674 %), ainsi que le composé *1H-Cycloprop[e]azulen*-7-ol, *decahydro*-1,1,7-*trimethyl* (8,671 %). Des teneurs relativement importantes ont également été observées pour le composé (24H)-*Benzofuranone*, 5,6,7,7*a-tetrahydro*-4,4,7*a-trimethyl* (7,175 %), l'*acétate* d'*octyle* (6,671 %) et la *cétoïne cyclohéxyle* (6,663 %). D'autres composés secondaires ont été détectés à des proportions plus faibles, notamment l'*elemicin* (3,669 %), le *trans-geraniol* (2,753 %), *l'alpha-citral* (2,602 %), le *geraniol-acétate* (2,635 %) et le *citronellyl propionate* (2,259 %). En revanche, certains constituants tels que le *p-anisaldehyde*, le *germacrene* D, le *caryophyllene oxide* et le (Z,E)-farnesol ont été retrouvés à des concentrations très faibles. Cette diversité chimique suggère que *Peganum harmala* possède un profil phytochimique riche pouvant contribuer à ses propriétés biologiques et pharmacologiques rapportées dans plusieurs études. Inspiré de **(Dastagir et al., 2014)**

Tableau 01 : Composition chimique de *Peganum harmala* **(Dastagir et al.,2014)**

Type	Composés	Partie de la plante
β-carbolines	Harmaline (harmidine), Harmine (banistérine), Harmalol, Harman	Graines et racines
β-carbolines	Tétrahydroharmine, Harmol	Graines
β-carbolines	8-β-D-glucopyranoside-bis-2,3-dihydroisopyridinopyrrol-thioformyl	Parties aériennes
Alcaloïdes dérivés de la quinazoline	Déoxypéganine, Vasicine (péganine), Pégamine, Péganol, Péganones, Vascinones	Plante entière
Alcaloïdes dérivés de la quinazoline	Déoxyvasicinone, Vasicinone, Isopéganine, Dipégène	Graines
Acides gras	Acide 9,14-dihydroxyoctadécanoïque	Plante entière
Composés minéraux	Cendres	Plante entière
Élément minéral	Calcium	Plante entière
Oligoélément	Cuivre	Plante entière
Constituants nutritionnels	Matières grasses, Fibres, Protéines	Plante entière
Alcaloïde β-carboline	Ruine	Plante entière
Constituants généraux	Eau	Plante entière

I.1.1.6.Domaine d'utilisation :

I.1.1.6.1.Usages traditionnels :

Peganum harmala est traditionnellement employée comme purificateur d'air et pour ses propriétés analgésiques, antiparkinsoniennes, sédatives et apaisantes contre la nervosité. Elle est également utilisée dans le traitement du rhume, de l'hypertension, du diabète et de

l'ictère (Li et al., 2017), ainsi que dans la cicatrisation des ulcères et le soulagement des douleurs dorsales. Par ailleurs, cette plante est utilisée comme colorant naturel, purificateur sanguin et substance psychoactive (Moloudizargari et al., 2013).

Tableau 02 : Les usages traditionnels de différentes parties de *P.harmala* dans la phytothérapie (Dastagir et al., 2014)

Partie de la plante	Système / Activités pharmacologiques
Graines	Activités cardiovasculaires (antihypertenseur, hypotenseur), gastro-intestinales (antidiarrhéique, antispasmodique, traitement des coliques et douleurs intestinales), neurologiques (analgésique, antiparkinsonien, antidépresseur, hallucinogène), endocriniennes (emménagogue, abortif), antidiabétiques, antimicrobiennes (antibactérienne, antiparasitaire, antifongique, vermifuge), respiratoires (asthme, bronchite, fièvre), dermatologiques et cicatrisantes, ainsi que le traitement des douleurs rhumatismales, articulaires et de la sciatique. Les graines sont également utilisées contre l'asthénie, le rhume et l'impuissance.
Plante entière	Activités anti-inflammatoires, antiparasitaires (activité antileishmanienne) et dermatologiques, notamment dans le traitement des inflammations, rhumatismes et affections cutanées
Fruits	Utilisés comme purificateurs d'air dans les pratiques traditionnelles de fumigation
Capsules	Employées dans les pratiques rituelles et traditionnelles pour la protection contre le mauvais œil par fumigation

I.1.1.6.2.Usage moderne :

Les effets pharmacologiques de *Peganum harmala* varient selon le mode de préparation et le type d'extrait utilisé. Les extraits aqueux des graines sont principalement associés à des activités antispasmodiques, antihypertensives et neuropharmacologiques **(Aqel & Hadidi, 1991),** notamment par l'inhibition de la monoamine oxydase (MAO-A) **(Herraiz et al., 2010).** Les extraits méthanoliques, chloroformiques et éthanoliques ont montré une importante activité antimicrobienne, antifongique, antiparasitaire et antitumorale contre plusieurs microorganismes pathogènes et lignées cellulaires cancéreuses **(Le Moigne**

et al., 2020). Les extraits à l'acétate d'éthyle, butanoliques et aqueux présentent également des propriétés analgésiques **(Farouk et al., 2008)** et antinociceptives significatives. Par ailleurs, la fumigation des graines ou des parties aériennes est traditionnellement utilisée pour ses effets antiseptiques, désinfectants et insecticides. Les différentes préparations de la plante, qu'il s'agisse d'extraits bruts, de fractions alcaloïdiques ou de fumée, démontrent ainsi une grande diversité d'activités biologiques attribuées principalement aux alcaloïdes β-carboliniques et aux dérivés quinazolines présents dans la plante **(Moloudizargari et al., 2013).**

I.1.1.6.3.Utilisation biologique :

Le traitement *in vitro* avec des alcaloïdes individuels issus de *P. harmala* ou avec leur mélange s'est révélé particulièrement efficace contre *Aspergillus niger* et *Candida albicans*, avec une concentration minimale inhibitrice (CMI) des alcaloïdes totaux (bruts) de 0,333 ± 0,007 mg/mL pour les deux micro-organismes. Ces résultats suggèrent qu'une activité synergique entre les différents alcaloïdes présents dans l'extrait brut pourrait être responsable de cet effet antifongique marqué **(Moloudizargari et al., 2013).**

Par ailleurs, plusieurs études ont rapporté une activité insecticide des β-carbolines dérivées de *P. harmala*, mettant en évidence leur capacité à inhiber le développement et la croissance des stades larvaires chez certains insectes. Par exemple, la harmaline empêche le développement des larves de *Plodia interpunctella*, un ravageur des denrées stockées, en bloquant leur transition vers les stades pupal et adulte. Cet effet inhibiteur est attribué à une forte toxicité au niveau des cellules épithéliales de l'intestin moyen, entraînant la libération du contenu cytoplasmique dans la lumière intestinale **(Moloudizargari et al., 2013).**

Une autre étude a mis en évidence l'activité insecticide de l'extrait méthanolique de *Peganum harmala* contre Tribolium castaneum, un ravageur important des grains stockés. L'incorporation de cet extrait dans l'alimentation des larves a entraîné une réduction significative de leur croissance, tandis que les adultes ont également montré une forte sensibilité. Ces résultats suggèrent que *P. harmala* pourrait constituer une alternative naturelle prometteuse pour la lutte biologique contre les insectes nuisibles des denrées stockées **(Jbilou et al., 2008).**

D'autres travaux ont montré que l'huile des graines et les extraits de feuilles de Peganum harmala exercent un effet toxique sur les larves de Schistocerca gregaria. L'huile

a provoqué une mortalité, tandis que les survivants ont présenté une paralysie, une baisse de l'alimentation et des troubles du mouvement, sans retard de développement **(Idrissi Hassani LM, 2002)** .

I.1.2.*Capparis spinosa* L :

Le câprier est un arbuste vivace, d'après le nom commun du genre *Capparis*, appartenant à la famille des Capparidaceae. Ce genre comprend environ 250 espèces. Il est connu sous diverses appellations telles que Caper en anglais, Kabbar en arabe, Alcaparro en espagnol et Gollaro au Pakistan. Cette plante arbustive pérenne possède des racines épaisses et profondes et mesure entre 30 et 100 cm de hauteur ; elle peut être épineuse ou **i**nerme **(Aichi-Yousfi et al., 2016).**

I.1.2.1.La classification systématique :

- Règne : Plantae
- Embranchement : Spermatophyta
- Sous-embranchement : Angiospermae
- Classe : Dicotyledonae
- Ordre : Capparales
- Famille *: Capparaceae*
- Genre : *Capparis*
- Espèce : *Capparis spinosa L.***(Beldi et al., 2022; Chedraoui et al., 2017a)**

I.1.2.2.Description botanique :

Capparis spinosa est un arbuste vivace caduc en hiver, à port dressé, étalé ou retombant, pouvant développer des rameaux ramifiés atteignant jusqu'à 4 m de longueur. Cette espèce se caractérise par une grande variabilité morphologique, notamment au niveau de ses feuilles, dont la forme peut varier de l'ovale à l'obovale ou à la lancéolée. Les stipules sont souvent transformées en épines, un trait caractéristique à l'origine de son nom spécifique *spinosa*. Les fleurs, solitaires et généralement nocturnes, présentent quatre pétales blancs à blanc-rosés et de nombreuses étamines à longs filaments. Le fruit, de forme ellipsoïde à oblongue, renferme de nombreuses graines brun rougeâtre **(Fici, 2014 ; Inocencio et al., 2006 ; Chedraoui et al., 2017b) (figure 4).**



Figure 4 : *Capparis spinosa*, **a :** aspect de *Capparis spinosa*; **b :** fleurs; **c :** fruits **(Oukara, 2024).**

I.1.2.3.Répartition géographique :

I.1.2.3.1.Distribution dans le monde :

Capparis spinosa est une espèce largement répandue dans les régions tropicales, subtropicales et méditerranéennes. Elle se développe principalement dans des sols secs, bien drainés et fortement exposés au soleil, mais elle est également capable de croître dans des sols pauvres, rocheux ou montagneux. Cette plante présente une grande capacité d'adaptation édaphique, pouvant se développer sur différents types de sols, notamment les alfisols, les régosols et les lithosols, tout en montrant une bonne tolérance aux sols alcalins **(Mohammad et al., 2012 ; Nabavi et al., 2016).**

Son aire de répartition naturelle s'étend depuis la côte atlantique des îles Canaries et du Maroc jusqu'à la mer Noire, la Crimée, l'Arménie, la région de la mer Caspienne et l'Iran. Elle est aujourd'hui largement distribuée en Afrique du Nord, en Europe, en Asie occidentale, en Afghanistan et en Australie **(Alkire, 1998 ; Inocencio et al., 2002 ; Willis, 1988).** Probablement originaire des régions tropicales, l'espèce s'est progressivement étendue au bassin méditerranéen et à l'Asie centrale **(Zohary, 1960).** Grâce à sa résistance à la sécheresse et à sa capacité d'adaptation aux environnements arides, *C. spinosa* est considérée comme une espèce d'intérêt pour les agroécosystèmes des régions

méditerranéennes, particulièrement dans le contexte du changement climatique et de l'augmentation des épisodes de sécheresse **(Chedraoui et al., 2017a)** (figure 5).

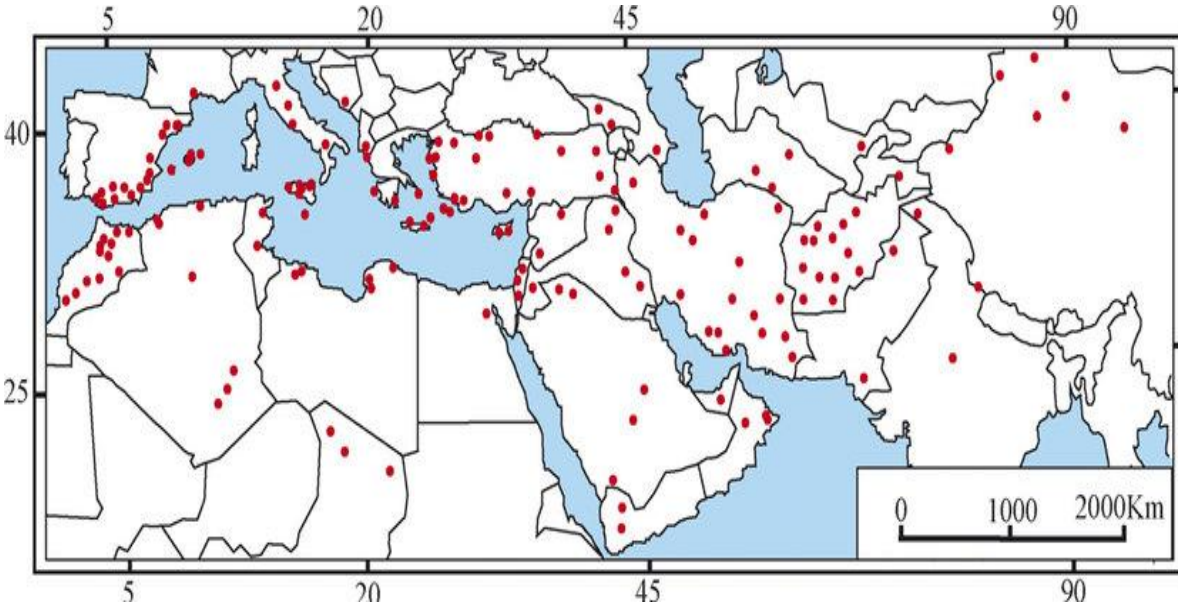


Figure 5 : Carte de la distribution géographique de *C.spinosa* dans le monde **(Inocencio et al., 2006).**

I.1.2.3.1.Distribution en Algérie :

L'espèce *Capparis spinosa L.*, appartenant à la famille des *Capparaceae*, est originaire de la région méditerranéenne. En Algérie, *Capparis spinosa* est commune dans tout le pays ; elle pousse naturellement à l'état sauvage dans des endroits ensoleillés et sur des sols squelettiques, rocheux, secs et pierreux **(Beldi et al., 2022)** (figure 6).

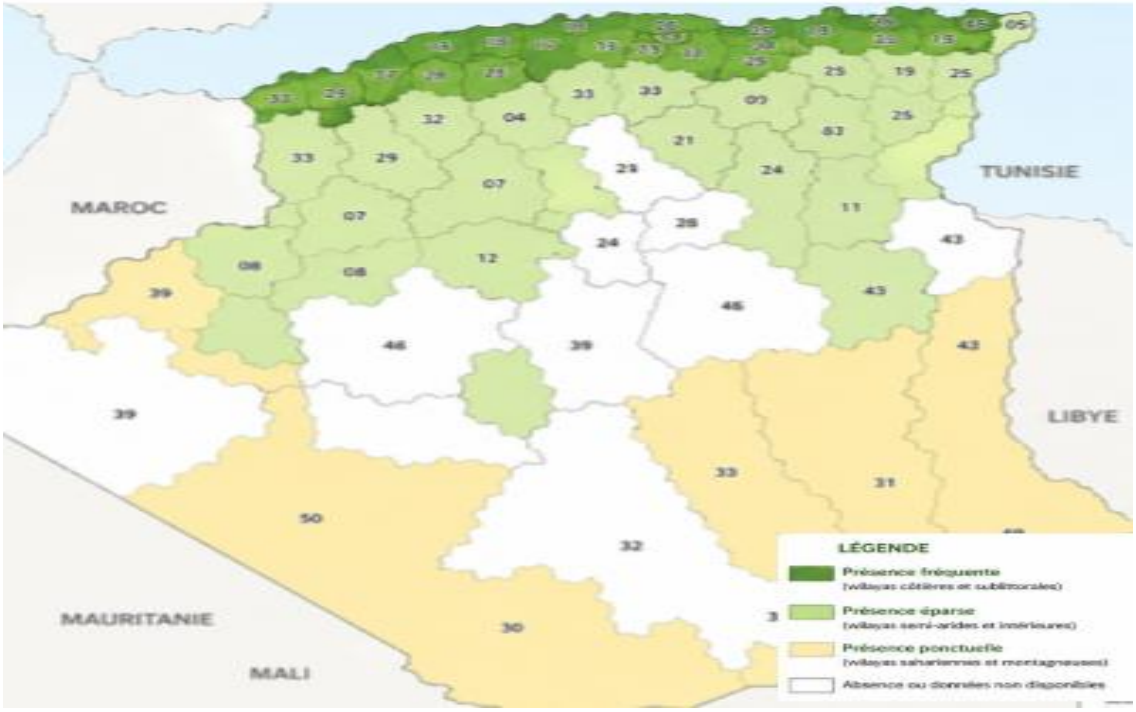


Figure 6 : Carte de la distribution géographique de *C.spinosa* en Algérie **(Beldi et al., 2022)**

I.1.2.4.Composition chimique :

Capparis spinosa a fait l'objet de nombreuses études phytochimiques qui ont mis en évidence une composition biochimique très variable selon plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions environnementales, le stade de récolte, les méthodes de conservation, le génotype et les techniques d'extraction utilisées (tableau 3). Cette espèce se distingue par une richesse importante en composés phénoliques et en flavonoïdes, qui constituent ses principaux métabolites secondaires. Ces substances jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de défense de la plante, en particulier face aux stress abiotiques comme les fortes températures et la sécheresse. Les résultats de plusieurs travaux montrent aussi que la teneur en composés phénoliques varie fortement selon l'organe étudié et la nature du solvant d'extraction. Ainsi, les extraits hydroéthanoliques et organiques présentent souvent des teneurs plus élevées que les extraits aqueux, ce qui confirme l'influence du mode d'extraction sur les résultats obtenus **(Sozzi et Vicente, 2006 ; Tlili et al., 2010 ; Chedraoui et al., 2017a).**

Tableau 03 : Composition chimique des extraits de différents *organes de Capparis spinosa* L.

Organes	Extraits	Constituants chimiques	Emplacement	Références
Fruits	ME	(6S)-hydroxy-3-oxo-α-glucoside ionol, Corchoionoside C, glucoside prenyl, indol-3-acétosonitrile glycoside, capparilloside A, capparilloside B	Turquie	Calis et al., 2002
Fruits	AE	Flazine, guanosine, capparine A, capparine B, 1-H-Indole-3-carboxaldéhyde, 4-hydroxy-1H-indole-3-carboxaldéhyde, chrysoeriol, apigénine, kaempférol, tévétiaflavone, 5-hydroxyméthylfuraldéhyde, acide vanillique, acide cinnamique	Chine	Haifeng et al., 2010
Fruits	EE/AF	Cappariside, 5-hydroxyméthylfurfural, 5-hydroxyméthyl acide furoïque, 2-acide furoïque	Chine	Yang et al., 2010a
Fruits	EE/EF	Aldéhyde protocatechuic, acide E-buténodiïque, éthyle 3,4-dihydroxybenzoate, acide syringique, acide protocatechuique, acide vanillique, acide succinique, acide 4-hydroxybenzoïque	—	—
Fruits	EE/AF	Capparisine A, capparisine B, capparisine C, lactone	Chine	Yang et al., 2010b

		propionique de l'acide 2-(5-hydroxyméthyl-2-formylpyrrol-1-yl), formaldéhyde N-(30-maleimidyl)-5-hydroxyméthyl-2-pyrrole		
Fruits	EE	acide benzoïque p-hydroxy, 5-(hydroxyméthyl)furfural, bis(5-formylfural)éther, daucostérol, α-D-fructofuranosides méthyl, uracil, stachydrine	Chine	Feng et al., 2011
Fruits	EE/BF	Acide de tétrahydroquinoline	Chine	Zhang et al., 2014
Fruits	EE/EF	Céspide de benzofuranone	—	—
Fruits	MOI	Phénoliques, flavonoïdes, caroténoïdes	Bahreïn	Allaith, 2014
Pièces aériennes	MOI	Quercétine 3-O-rutinoside, quercétine 3-O-glucoside, quercétine 3-O-glucoside-7-O-rhamnoside, Quercétine 3-O-[6‴-α-L-rhamnosyl-6"-β-D-glucosyl]-β-D-glucoside	Égypte	Sharaf et al., 2000
Pièces aériennes	EE/HF	Terpène	Jordanie	Yang et al., 2010b ; Muhaidat et al., 2013
Pièces aériennes	EE/AMF	Terpènes, flavonoïdes	—	—
Pièces aériennes	EE/BF	Tanins, flavonoïdes, alcaloïdes	—	—
Pièces aériennes	EE/AF	Sucre réducteur, flavonoïdes	—	—

Pousses et bourgeons	—	Glucocapperine, glucoibéline, progoitrin, epiprogoitrin, sinigrin, gluconapoleiférine, glucoalysine, gluconapine, 4-hydroxyglucobrassacine, glucobrassicanapine, glucobrassicine, gluconasturtiine	Turquie	Matthäus et Ozcan, 2002
Pousses et bourgeons	EE/AMF	1-tétradecanol, méthyl hexadécanoate, acide octadécanoïque, 6,10,14-triméthyl-2-pentadécanone, β-sitotérol, glycérol monotétracostanoate, p-hydroxybenzaldéhyde, acide ursolique, β-sitosterylglucoside, β-sitostylglucoside-6′-octadécanoate	Jordanie	Khanfar et al., 2003
Pousses et bourgeons	EE/BF	acide 4-coumarique, nicotinamide, cadabicine, isorhamnitine-3-O-rutinoside, rutine, stachydrine, 3-méthyl-2-butenyl-β-glucoside	—	—
Feuilles et tiges	EE	kaempferol 3-Rha-7-G, quercétine 3-Rut, quercétine 7-Rut, quercétine 3-G-7-Rhaw1	Chine	Sharaf et al., 1997
Feuilles et bourgeons floraux	AE	5-Acide quinique de caféoyle, acide quinique de 1-Caffeoyl, acide quinique 5-p-coumaroyl, acide quinique 4-Feruloyl, Rutine, quercétine 3-O-glc, Kaempferol 3-O-rutinoside, Méthyl-quercétine-O-	Croatie	Kulisic-Bilusic et al., 2010

		rutinoside, Kaempferol 3-O-glucoside, acides, flavonols		
Racines	EE	Capparispine, capparispine 26-O-b-D-glucoside, cadabicine 26-O-b-D-glucoside hydrochloride	Chine	Fu et al., 2008

ME, extraction méthanolique ; AE, extraction aqueuse ; EE, extraction éthanolique ; AF, fraction aqueuse ; EF, fraction d'acétate d'éthyle ; BF, fraction de butanol ; HF, fraction d'hexane ; AMF, fraction aqueuse de méthanol.

I.1.2.5.Domaine d'utilisation :

I.1.2.5.1.Usages traditionnels :

Capparis spinosa L. est une plante médicinale largement utilisée dans les pharmacopées traditionnelles de nombreuses régions du monde, notamment en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et en Asie. Depuis l'Antiquité, ses différentes parties (racines, écorce, feuilles, bourgeons et fruits) sont employées pour le traitement de diverses affections. Plusieurs études ont mis en évidence ses propriétés pharmacologiques, notamment antihypertensives, antidiabétiques, anti-inflammatoires, hépatoprotectrices, diurétiques, antiallergiques et antibactériennes **(El Tanbouly et al., 1989 ; Ali et al., 2007 ; Zhou et al., 2010 ; Abraham et al., 2011 ; Kazemian et al., 2015 ; Mollica et al., 2017).**

Dans la médecine traditionnelle iranienne, les racines, les fruits et l'écorce de *C. spinosa* sont utilisés comme diurétiques et toniques contre le paludisme et les affections articulaires **(Hooper, 1937 ; Afsharypuor et al., 1998).** Au Pakistan et en Inde, les feuilles sont réputées pour leurs propriétés analgésiques et antirhumatismales, tandis que les racines sont employées dans le traitement de la fièvre, des douleurs dentaires, des troubles rhumatismaux et de certaines inflammations. L'écorce est également utilisée contre la toux et l'asthme **(Chopra et al., 1986 ; The Wealth of India, 1992).**

D'autres usages traditionnels ont été rapportés en Chine, en Arabie saoudite et au Maroc. En médecine traditionnelle chinoise, les feuilles, les fruits et les racines sont utilisés pour traiter la polyarthrite rhumatoïde et la goutte (Feng et al., 2011). En Arabie saoudite, des préparations à base d'écorce de racine sont appliquées sur les articulations enflées et certaines affections cutanées. Au Maroc, les bourgeons sont utilisés contre les infections

oculaires, tandis que les fruits séchés sont consommés pour aider à contrôler l'hypertension et les complications du diabète **(Jouad et al., 2001 ; Eddouks et al., 2002 ; Eddouks et al., 2004).**

I.1.2.5.1.Usages modernes :

Activités antioxydantes, anticancéreuses et antimicrobiennes

Les différentes parties de *Capparis spinosa* sont riches en composés phénoliques et en flavonoïdes, notamment la rutine, la quercétine et le kaempférol, qui leur confèrent une importante activité antioxydante. Les extraits des feuilles, fruits, graines et boutons floraux ont montré une forte capacité à neutraliser les radicaux libres et à protéger l'organisme contre le stress oxydatif. Certaines études ont également rapporté des effets neuroprotecteurs et une amélioration de la mémoire. Par ailleurs, plusieurs extraits ont démontré une activité anticancéreuse en inhibant la prolifération de cellules tumorales, ainsi qu'une activité antibactérienne contre diverses bactéries pathogènes, avec une réduction de la formation des biofilms bactériens **(Siracusa et al., 2011 ; Tlili et al., 2015 ; Goel et al., 2016 ; Kulisic-Bilusic et al., 2012 ; Abraham et al., 2011).**

Activités anti-inflammatoires, anti-arthritiques et immunomodulatrices :

De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés anti-inflammatoires de *C. spinosa*. Les extraits, notamment ceux des fruits, réduisent l'inflammation et inhibent plusieurs médiateurs impliqués dans les réactions inflammatoires. Des effets anti-arthritiques ont également été observés, avec une diminution des douleurs articulaires et des œdèmes chez des modèles expérimentaux. En outre, les extraits riches en flavonoïdes possèdent une activité immunomodulatrice en stimulant certaines cellules du système immunitaire et en favorisant la production de cytokines impliquées dans la réponse immunitaire **(Zhou et al., 2010 ; Zhou et al., 2011b ; Feng et al., 2011 ; Arena et al., 2008).**

Activités antidiabétiques et autres propriétés biologiques

Les extraits de *Capparis spinosa* ont montré une activité antidiabétique prometteuse chez les animaux de laboratoire et chez des patients atteints de diabète de type 2, en réduisant

la glycémie, l'hémoglobine glyquée et les triglycérides. Des effets antispasmodiques ont également été rapportés, suggérant une utilisation potentielle dans le traitement de l'asthme. Enfin, la plante présente d'autres propriétés intéressantes, notamment une capacité à stimuler la régénération osseuse **(Fallah Huseini et al., 2013 ; Nabavi et al., 2016 ; Caboni et al., 2012).**

I.1.3 AGRUMES*:*

I.1.3.1. Généralité :

Les agrumes, appelés aussi Hespérides, tirent leur nom du mot italien *acrumen*, qui signifie « saveur âcre ». Ce sont des fruits d'origine végétale composés de deux parties principales : une peau externe, appelée zeste, riche en glandes à huiles essentielles, et une pulpe divisée en quartiers contenant des pépins ainsi que de nombreux sacs à jus **(Kara, 2018).** Ils regroupent une grande diversité de fruits très consommés, notamment l'orange, la mandarine, la clémentine, le pamplemousse, le citron et la lime. Sur le plan botanique, les agrumes sont généralement de petits arbres ou arbustes mesurant entre 5 et 15 m de hauteur, souvent épineux, à feuillage dense et persistant, sauf chez certaines variétés hybrides à feuilles caduques ou semi-persistantes. Le fruit est constitué de segments charnus renfermant les graines **(Praloran, 1971) (figure 7).**

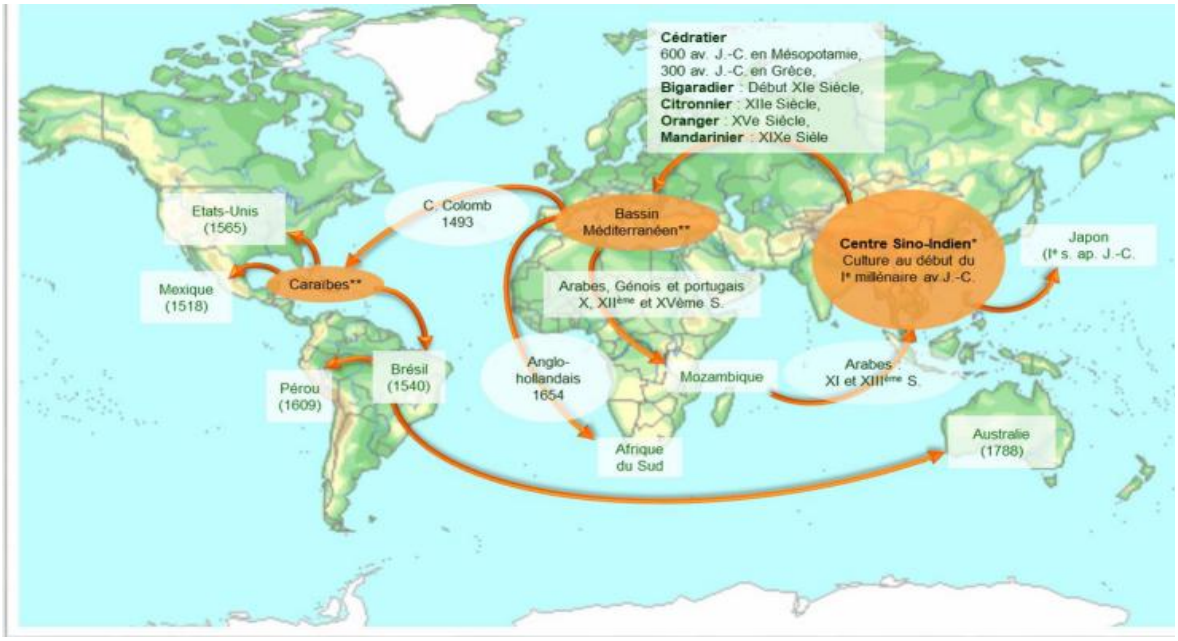


Figure 7 : Diffusion des agrumes dans le monde. * Origine et aire de répartition primaire. ** Aires de répartition et de diversification secondaire (d'après Praloran, 1971).

I.13.2.La production des agrumes

I.1.3.2.1. la production mondiale :

Les agrumes à jus sont les fruits les plus cultivés. Les oranges douces représentent la moitié de la production mondiale des agrumes, suivies des tangerines/mandarines, des citrons/limes et des pomelos **(FAO, 2021) (figure 8).**

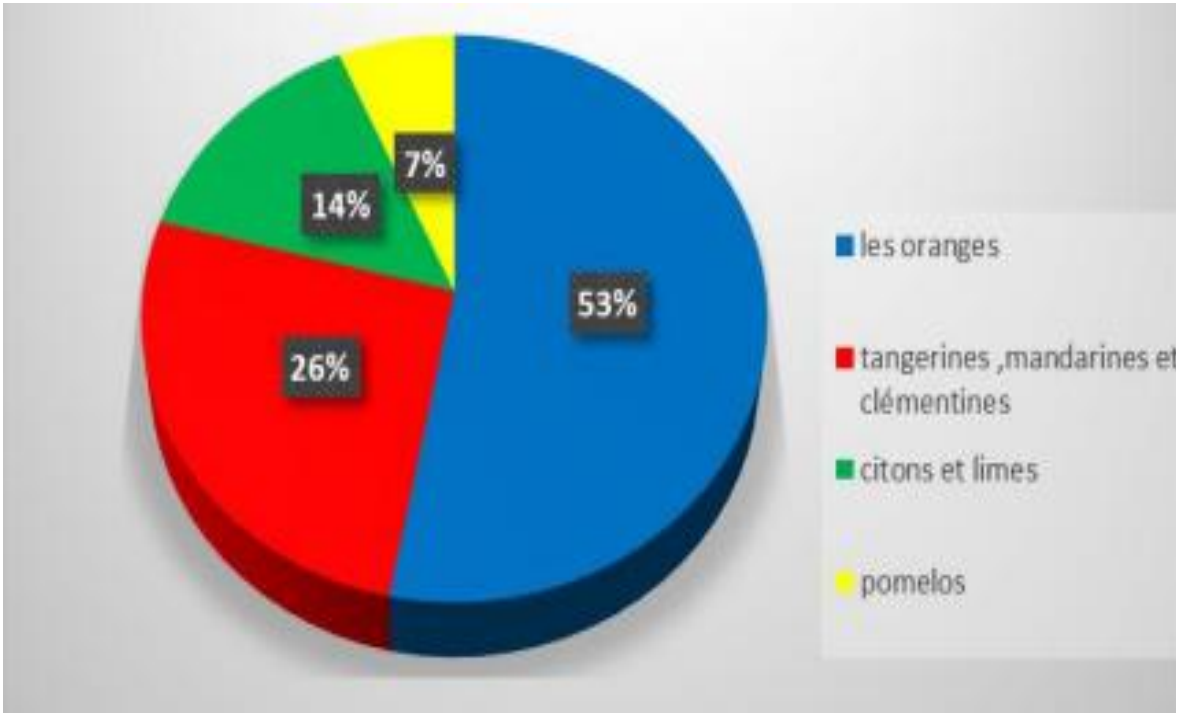


Figure 8 : :Répartition de la production mondiale par espèce d"agrumes en 2020 **(FAO, 2021).**

I.1.3.2.2. La production en Algérie :

Les agrumes présentent une importance économique considérable pour de nombreux pays. Il en est de même pour l'Algérie où ils constituent une source d'emploi et d'activité économique aussi bien dans le secteur agricole que dans diverses branches auxiliaires **(Farhat et al., 2010).**

Les principales zones agrumicoles algériennes sont particulièrement concentrées dans les plaines Littorales et Sublittoraux, où les conditions de sol et de climat sont favorables et ils sont localisés comme suite (Figure 9).

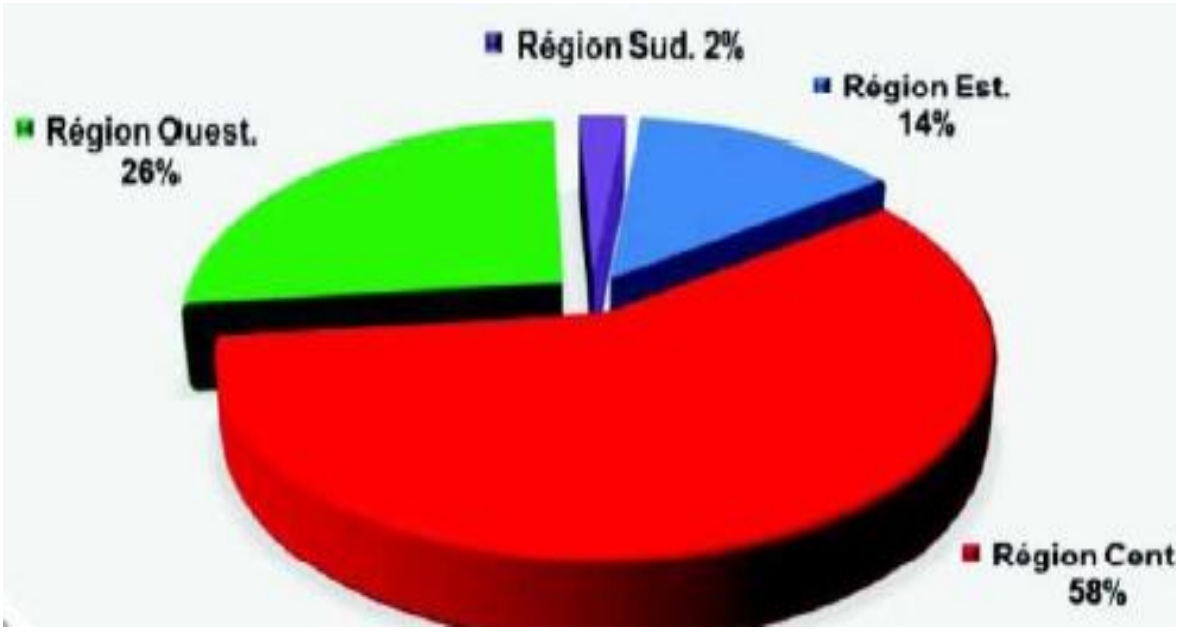


Figure 9 : Répartition des superficies agrumicoles par région **(MADRP, 2013).**

I.1.3.3.Composition chimique :

The chemical composition of citrus peels varies according to several factors, particularly the cultivar. Citrus peels are characterized by a high moisture content, ranging from 2.97 to 3.79 g/100 g dry weight, corresponding to approximately 60–75% on a fresh weight basis. They also contain considerable amounts of soluble sugars (6.52–47.81 g/100 g dry weight). Due to their high moisture and sugar contents, citrus peels are highly perishable and susceptible to fermentation and mold growth **(Farhat et al., 2011; Kammoun et al., 2011).**

Citrus peels are also rich in proteins (1.79–9.06 g/100 g dry weight) and minerals (2.52–10.03 g/100 g dry weight), whereas their lipid content remains relatively low (0.48–4 g/100 g dry weight). In addition, they represent an important source of aromatic compounds and essential oils, with concentrations ranging from 0.6 to 1% **(Oreopoulou et al., 2007; Yeoh et al., 2008; Hosni et al., 2010; Farhat et al., 2011).**

Furthermore, citrus peels contain various pigments, mainly carotenoids and anthocyanins, as well as several bioactive compounds such as vitamin C, dietary fibers, and phenolic compounds. Their high content of fibers and antioxidant substances gives them

considerable nutritional and functional value **(Goulas et al., 2012; Barros et al., 2012; Ghasemi et al., 2009; Magda et al., 2008).**

I.1.3.4.La classification botanique :

Selon **Praloran (1971) ,** les agrumes appartiennent à :

Règne: Végétale

Embranchement: Angiospermes

Classe: Eudicotes

Ordre: Germinale (Rutales)

Famille: Rutaceae

Trois genres : Fortunella, Poncirus, Citrus

C'est au dernier genre qu'appartiennent les principales espèces cultivées (Praloran, 1971):

- ✓ Citrus sinensis Osback (Oranger)
- ✓ Citrus reticulataBlanco(Mandarinier)
- ✓ Citrus clementinaClement (Clémentinier)
- ✓ Citrus limon BRUN (Citronnier)
- ✓ Citrus grandis OSBACK (Pomplemoussier)
- ✓ Citrus medical INN (Cédratier)
- ✓ Citrus aurantium L. (Bigaradier)

I.1.3.5. Genre Citrus :

Initialement, le genre *Citrus* s'est structuré autour de 4 taxons originaires d'Asie de l'est :

- Le cédratier (*Citrus médica)* ;
- Le pamplemoussier (*Citrus maxima*) ;
- Le mandarinier (*Citrus reticulata*) ;
- *Citrus micrantha* Wester, un proche parent de la lime *Citrus aurantifolia* Swingle **(Nicolas, 2013).**

Ces 4 groupes de base auraient donné lieu à des recombinaisons génétiques par hybridation, créant ainsi les autres types d'agrumes que l'on peut rencontrer aujourd'hui : orangers, bigaradiers, citronniers, pomelos **(Nicolas, 2013).**

I.1.3.5.1. L'oranger (*Citrus aurantium*) :

Est un petit arbre ou arbuste pouvant atteindre 10 à 15 m de hauteur. Il possède une cime dense formée de nombreux rameaux et un feuillage persistant, vert sombre, coriace et légèrement ailé. Les feuilles sont alternes et glabres, fortement aromatiques grâce à la présence de poches à huiles essentielles. La floraison est blanche et très parfumée. Le fruit est une baie globuleuse à légèrement allongée, parfois munie d'un mamelon au pôle opposé au pédoncule **(Teuscher et al., 2005)** (figure 10).



Figure 10 : *Citrus aurantium*
(https://aliksir.com/products/bitter-orange-citrus-aurantium-ssp-amara-essential-oil?srsltid=AfmBOorw7NtBwrvk1PkZBdXu3MoBAAczESgC8b4I1nBnmua2z_cqgp6z).

I.1.3.5.1. Le citronnier (*Citrus limon*):

Appartenant à la famille des Rutacées, est un petit arbre ou arbuste aromatique mesurant entre 2 et 10 m de hauteur. Il présente une ramification importante et un système racinaire superficiel concentré dans les premiers horizons du sol. Les feuilles sont persistantes, alternes, coriaces et riches en glandes à huiles essentielles visibles à l'œil nu, ce qui leur confère une forte odeur caractéristique **(Gollouin et Tonelli, 2013). (figure 11).**



Figure 11 : *Citrus limon*
https://www.alamyimages.fr/lemon-tree-et-les-fruits-citrus-limon-citrus-limonum-chromolithographie-par-e-gunther-apres-une-illustration-botanique-de-hermann-adolph-koehlers-plantes-medicinales-sous-la-direction-de-gustav-pabst-koehler-allemagne-1887-image211100326.html.

I.1.3.5.4. fenouil (*Foeniculum vulgare):*

I.1.3.5.4.1. Description botanique :

Le fenouil (*Foeniculum vulgare* L.) est une plante aromatique vivace appartenant à la famille des Apiacées. Originaire du bassin méditerranéen, il est aujourd'hui cultivé dans de nombreuses régions du monde. Il se caractérise par une tige dressée et ramifiée pouvant atteindre 2,5 m de hauteur, ainsi que par des feuilles finement divisées en segments filiformes. Ses petites fleurs jaunes sont regroupées en ombelles composées. Le fruit est un diakène allongé, de couleur vert jaunâtre à brun clair, riche en huiles essentielles **(Streeter et al. 2009) (figure 12).**

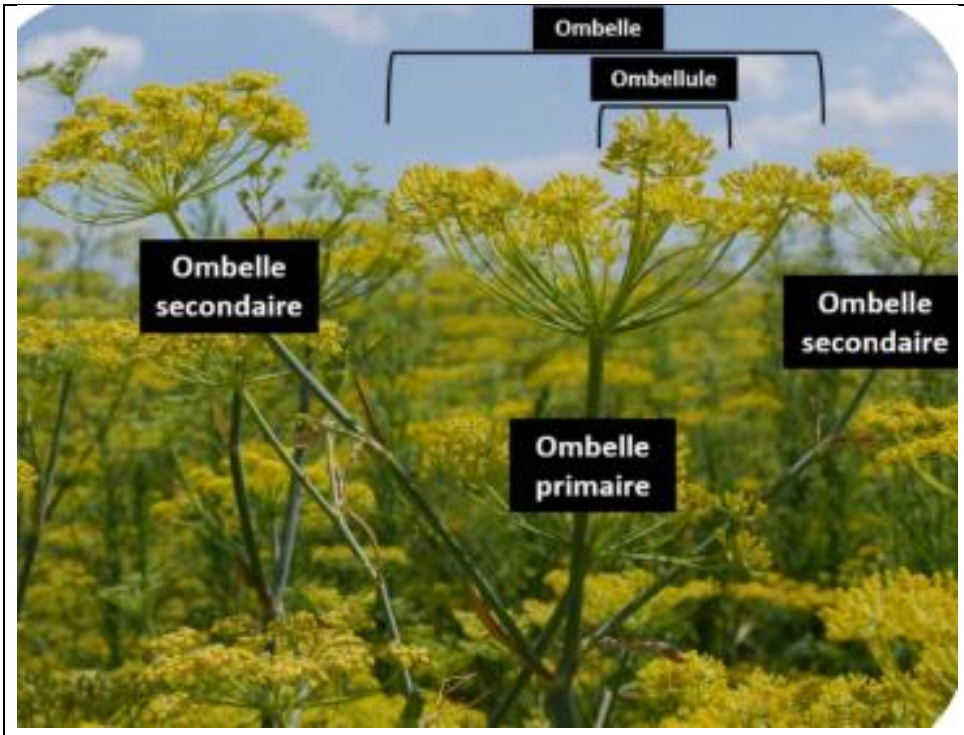


Figure 12 : *Foeniculum vulgare* ***https://hal.science/tel-04039153v1/document***

I.1.3.5.4. 2.Composition chimique :

L'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* présente une composition chimique complexe et variable selon l'origine géographique, le stade de développement de la plante et les conditions environnementales. À ce jour, environ 87 composés volatils ont été identifiés dans cette huile essentielle . Ces composés sont présents dans l'ensemble des organes de la plante, notamment les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits. **(Badgujar et al., 2014).**

Les fruits (graines) constituent toutefois la partie la plus riche en huile essentielle. Celle-ci est dominée par le trans-anéthole, qui représente généralement plus de 85 % de sa composition, conférant au fenouil son arôme caractéristique ainsi qu'une grande partie de ses propriétés biologiques . Parmi les autres constituants importants figurent le fenchone, l'estragole et divers monoterpènes présents en plus faibles proportions **(Salami et al., 2016).**

I.2. Aperçu biologique des insectes étudies :

I.2.1.*Tribolium castaneum :*

I.2.1.1. Description de *Tribolium castaneum*

Tribolium castaneum est un petit coléoptère de couleur brun rougeâtre mesurant 3-4 mm de long, son corps est lisse et allongé **(Weidner et Rack, 1984).** Les antennes se terminent par une massue nettement distincte. Les yeux ne sont pas surmontés d'un bourrelet semblable à une paupière. Les élytres présentent des lignes longitudinales pointillées. Il se distingue des autres Tribolium par la partie ventrale des yeux qui sont larges et qui sont relativement rapprochés **(Bousquet, 1990) (figure 13).**



Figure 13 : *Tribolium castaneum* **(Khan, I., et al 2016)**

I.2.1.2. Classification taxonomique :

La classification taxonomique de *Tribolium castaneum* est la suivante **(Haines, 1991) :**

- **Règne :** Animalia
- **Phylum :** Arthropoda
- **Sous-phylum :** Hexapoda
- **Classe :** Insecta
- **Ordre :** Coléoptères
- **Superfamille :** Tenebrionoidea
- **Famille :** Tenebrionidae
- **Sous-famille :** Tenebrioninae
- **Genre :** *Tribolium*
- **Espèce :** *Tribolium castaneum*

I.2.1.3. Cycle de développement

Tribolium castaneum se développe de manière optimale entre 25 et 38 °C (**Gueye et al., 1997)**. La femelle commence à pondre dès l'âge de trois jours et peut produire entre 500 et 800 œufs. Les larves sont mobiles, de couleur blanchâtre à jaunâtre, et passent par 5 à 11 mues avant d'atteindre leur taille finale, d'environ 5 mm. À la fin du dernier stade larvaire, elles cessent de se nourrir, deviennent immobiles et se transforment en nymphes. Cette phase dure généralement de 3 à 9 semaines. Les nymphes sont d'abord blanches, puis leur coloration s'assombrit progressivement jusqu'au stade adulte. Les adultes apparaissent 9 à 17 jours plus tard, se nourrissent des mêmes substrats que les larves et vivent en moyenne de 15 à 20 mois. Dans des conditions favorables, l'insecte peut produire jusqu'à cinq générations par an **(Gueye et al., 1997) (figure 14).**

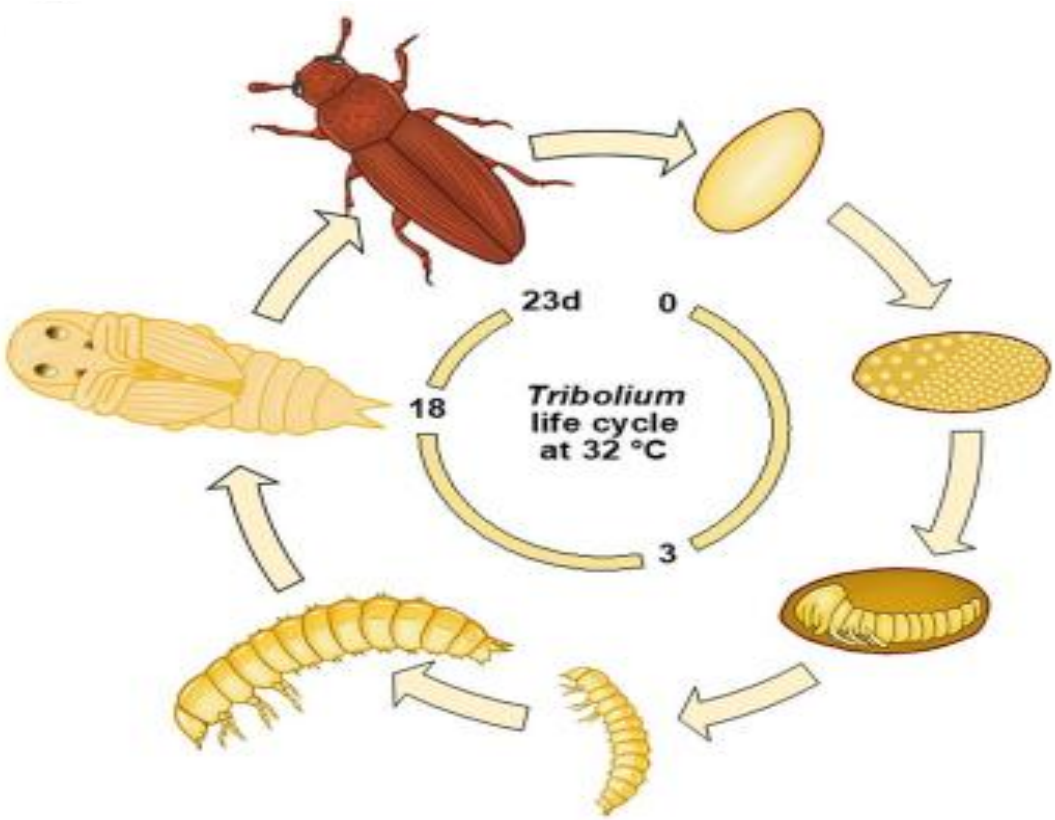


Figure 14 : *Tribolium castaneum* **(Klingler et all., , 2022**).

I.2.2. *Sitophilus oryzae* L*:*

I.2.1.1. Description de *Sitophilus oryzae* L :

Sitophilus oryzae est un petit coléoptère de forme allongée, mesurant entre 2,5 et 4 mm de longueur. Sa coloration varie du brun rougeâtre au brun foncé. Il se distingue par la

présence d'un rostre allongé caractéristique et de quatre taches rouge-orangé bien visibles sur les élytres. Doté d'ailes fonctionnelles, il est capable de voler **(Lepesme P., 1944).**

La larve mesure environ 2,5 à 3 mm de longueur. Elle est de couleur blanche, de forme arquée, charnue et dépourvue de pattes. Son développement se déroule entièrement à l'intérieur du grain, où elle se nourrit et évolue jusqu'au stade adulte **(Logstaff, et all ., 1983)** (fiure15)..



Figure 15 : *Sitophilus oryzae* L.,
https://grainscanada.gc.ca/fr/qualite-grains/gestion/identification-insectes/insectes-ravageurs-primaires/calandre-grains.html).

I.2.1.2. Classification taxonomique :

Selon **Hoffmann (1954)**, *Sitophilus oryzae* L., communément appelé charançon du riz, appartient à la classification taxonomique suivante :

- **Embranchement :** Arthropoda
- **Sous-embranchement :** Antennata
- **Classe :** Insecta
- **Sous-classe :** Pterygota
- **Super-ordre :** Coleopteroidea
- **Ordre :** Coleoptera
- **Sous-ordre :** Polyphaga

- **Super-famille :** Phytophagoidea
- **Famille :** Curculionidae
- **Sous-famille :** Rhynchophorinae
- **Genre :** *Sitophilus*
- **Espèce :** *Sitophilus oryzae* L.

I.2.2.3. Cycle de développement

Le cycle biologique de *Sitophilus oryzae* comprend quatre stades de développement : l'œuf, la larve, la nymphe et l'adulte. La femelle pond ses œufs à l'intérieur des grains de céréales, où les larves se développent entièrement après l'éclosion. Ces dernières se nourrissent des réserves du grain, causant ainsi des dommages importants aux stocks. Après plusieurs stades larvaires, la larve se transforme en nymphe dans une loge aménagée à l'intérieur du grain (figure 16).

La nymphe, immobile et de couleur blanchâtre, évolue progressivement vers le stade adulte. Une fois sa métamorphose achevée, l'adulte perce l'enveloppe du grain pour émerger à l'extérieur. Il s'agit d'un petit coléoptère brun foncé à noir, muni d'un rostre caractéristique et capable de se reproduire rapidement. Dans des conditions favorables de température (environ 25 °C) et d'humidité relative (70 %), le cycle de développement est relativement court et l'adulte peut vivre jusqu'à quatre mois. Cette longévité, associée à une forte capacité de reproduction, explique l'importance de *S. oryzae* parmi les principaux ravageurs des céréales stockées **(Scotti, 1978 ; Lepesme, 1944 ; Longstaff, 1981 ; Fleurrat – Leussard 1982) (figure 15).**

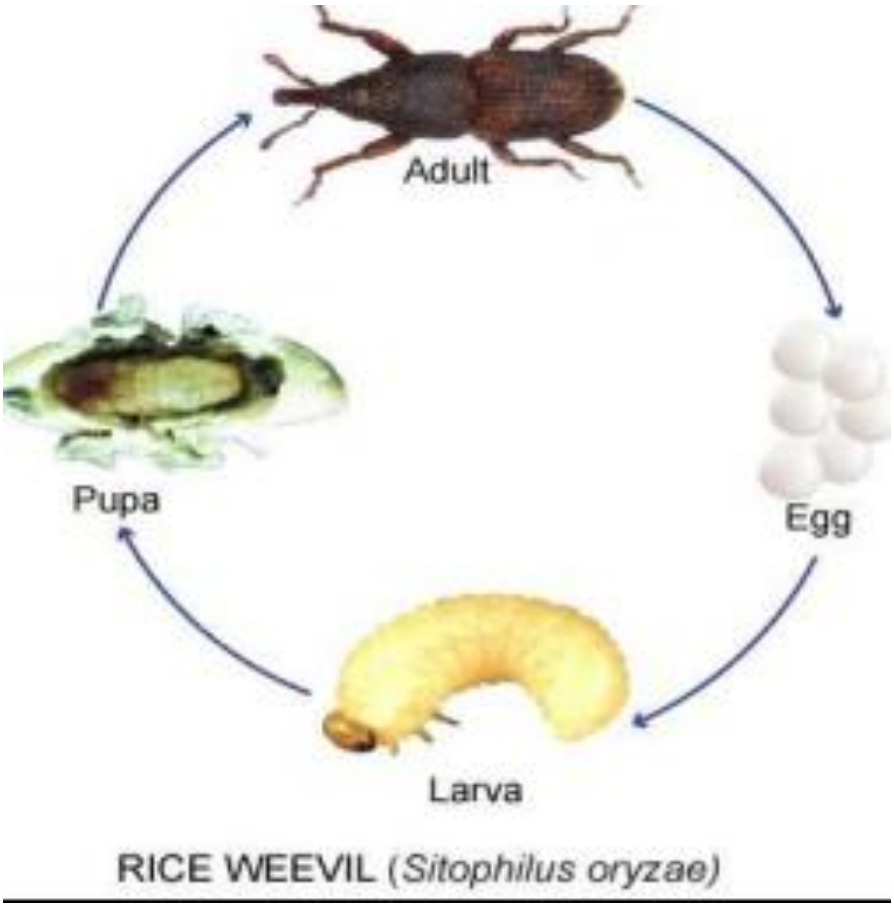


Figure 16 : Le cycle biologique de *Sitophilus oryzae L.*, **(Fahad, Shah et all , 2018).**

I.2.3. *Tenebrio molitor L.)* L*:*

I.2.3.1. Description de *Tenebrio molitor* .L :

Les vers de farine (*Tenebrio molitor L.)* sont les larves d'un coléoptère de la famille des Ténébrionidés, connu pour les dégâts qu'il peut occasionner aux grains stockés. Cette espèce est largement répandue et présente un développement holométabole (métamorphose complète), passant du stade d'œuf à celui d'adulte en quatre à cinq mois, en traversant successivement les stades larvaire et nymphal**(Ong et al., 2018).** La rigidité de la cuticule est due aux fortes liaisons hydrogène existant entre les unités répétitives de la chitine **(Engel et Moran, 2013)** (fiure17).



Figure 17 : *Tenebrio molitor* L., **https://www.insectes-et-compagnie.com/elevage-vers-de-farine/**

I.2.3.2. Classification taxonomique :

- **Embranchement :** Arthropoda
- **Sous-embranchement :** Antennata
- **Classe :** Insecta
- **Sous-classe :** Pterygota
- **Super-ordre :** Coleopteroidea
- **Ordre :** Coleoptera
- **Sous-ordre :** Polyphaga
- **Famille :** Tenebrionidae
- **Genre :** *Ténébrion*
- **Espèce :** *Tenebrio molitor* L.

I.2.3.3. Cycle de développement :

Le cycle de vie de *Tenebrio molitor* L. comprend quatre stades distincts : l'œuf, la larve, la nymphe (pupe) et l'adulte **(Khanal et al., 2023).** Après la ponte, les œufs éclosent généralement dans un délai de trois à neuf jours. Le stade larvaire constitue la phase la plus longue du développement ; il dure environ 57 jours dans des conditions contrôlées, mais peut s'étendre jusqu'à deux ans dans des environnements plus froids. Au cours de cette période,

les larves passent de neuf à vingt-trois stades larvaires (instars) **(Ribeiro et al., 2018).** À l'issue du stade larvaire, les insectes entrent dans la phase nymphale, qui représente le stade de développement le plus court, avec une durée variant de cinq à quarante-huit jours selon la température. Les nymphes ne s'alimentent pas et développent progressivement un exosquelette rigide . La rigidité de la cuticule est due aux fortes liaisons hydrogène existant entre les unités répétitives de la chitine. Enfin, les coléoptères adultes émergent et présentent une longévité comprise entre deux et trois mois **(Hong et al., 2020).**Après chaque mue, un nouvel instar, initialement blanc et mou, apparaît. Le premier instar émerge après l'éclosion de l'œuf et évolue vers le deuxième instar après la première mue. Ce processus se poursuit jusqu'au dernier stade larvaire, qui se transforme ensuite en nymphe, un stade quiescent et non nourricier. Plusieurs facteurs influencent les transitions entre les différents stades de développement chez *T. molitor*, notamment la température, le régime alimentaire, l'humidité, la photopériode, la teneur en oxygène ainsi que la densité de population **(Muñoz-Seijas et al., 2024) (figure 18).**

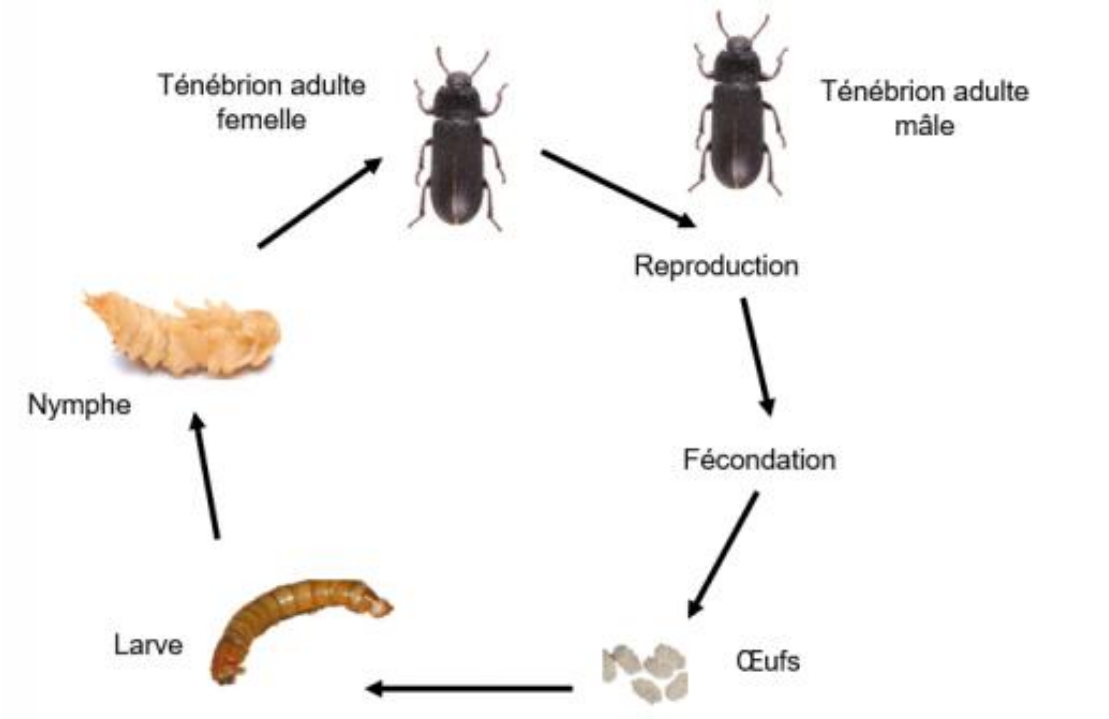


Figure 18 : Le cycle biologique de *Tenebrio molitor L.*, **(https://www.in-alim.fr/in-alim-larve-tenebrion-novel-food/).**

PARTIE EXPERIMENTALE

.

MATERIEL ET METHODES

1. Objectif de l'étude :

Le but de cette étude est de mettre en évidence les activités insecticides des extraits aqueux et éthanolïques *Capparis spinosa* L. et *Peganum harmala L.*) et les huiles essentielles trois plantes médicinales et aromatiques (*Citrus limon , Citrus aurantium* et *Pimpinella anisum)* trois ravageur des denrées stockées : Sitophilus oryzae L , *Tribolium castaneum et Tenebrio molitor* .

II.1.Matériel :

II.1.1.Matériel végétal :

II.1.1.1.Plantes testés :

Deux espèces végétales ont été étudiées : *Capparis spinosa* L. (figure II.1) et *Peganum harmala L.* (figure II.2). La récolte a été réalisée par échantillonnage aléatoire sur le terrain, à partir de différentes parties des plantes, notamment les feuilles et les racines. Les échantillons des deux espèces spontanées ont été prélevés au mois de février 2026. *Capparis spinosa* a été récoltée à Ouzera, dans la wilaya de Médéa, tandis que *Peganum harmala* L. a été collectée dans la région de Chahbounia, également située dans la wilaya de ksar el boukhari. Achat des les huiles essentielles trois plantes médicinales et aromatiques (*Citrus limon , Citrus aurantium* et *Pimpinella anisum)* Bioaxon aromatics (figure II.3.).



Figure II.1 : *Capparis spinosa L.* (originale novembre 2025)



Figure II.2 : *Peganum harmala* L (Photo originale mai 2026)



Figure II.3 : Les huiles essentielles trois plantes médicinales et aromatiques (*Citrus limon , Citrus aurantium* et *Foeniculum vulgare,)*

II.1.1. Matériel Animal :

Afin d'évaluer l'activité insecticide des extraits et des huiles essentielles étudiés, trois espèces d'insectes ont été utilisées comme organismes tests. *Tribolium confusum* (Figure II.4a) a été obtenu à partir d'échantillons de blé infestés, tandis que *Sitophilus oryzae* (Figure II.4b) a été isolé d'échantillons de maïs infestés. Les larves de *Tenebrio molitor* L. (Figure II.4c) ont

été achetées auprès d'un fournisseur spécialisé et maintenues au laboratoire jusqu'à leur utilisation dans les bioessais.

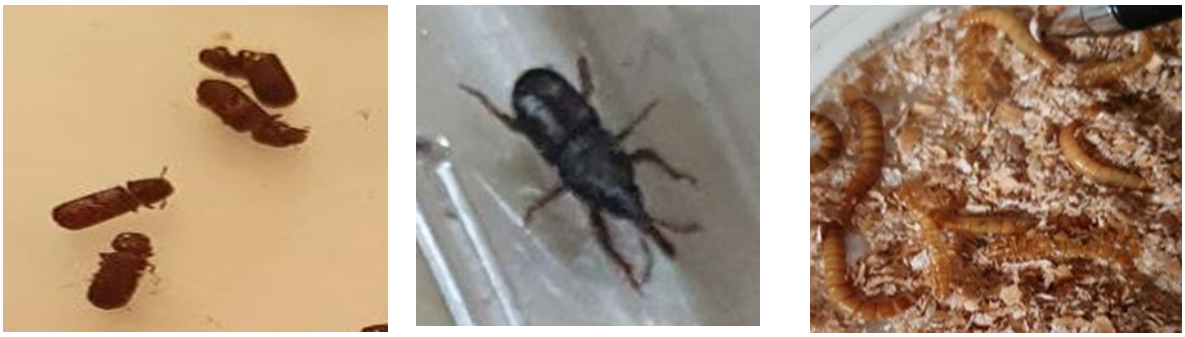


Figure II.2. Les insectes de teste a : adulte *Tribolium confusum* b : adulte *Sitophilus oryzae* c : larves de *Tenebrio molitor* L.

II.2. Méthodes :

III.2.1.Séchage broyages et tamisages de la plante :

Les parties récoltées, à savoir les feuilles et les racines, ont été séchées à l'ombre et à l'air libre, à température ambiante, afin de préserver les principes actifs et d'éviter leur altération par la lumière (figures II.5 et II.6). Le séchage a duré environ deux semaines. Après séchage, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique, puis tamisés afin d'obtenir une poudre fine, homogène et de texture similaire à celle de la farine, selon la méthode décrite par **N'Guessan et al.** (2009) (figure II.7).

Les poudres obtenues à partir des deux plantes ont ensuite été conservées dans des récipients en verre hermétiquement fermés, étiquetés et stockés en vue de la préparation des extraits aqueux et méthanoliques.



Figure II.5 : Les parties séchée de *(Capparis spinosa)* (A: feuille, B : racine).



Figure II.6: Les parties séchée de *de (Peganum harmala L)* (A: feuille ,B : racine).

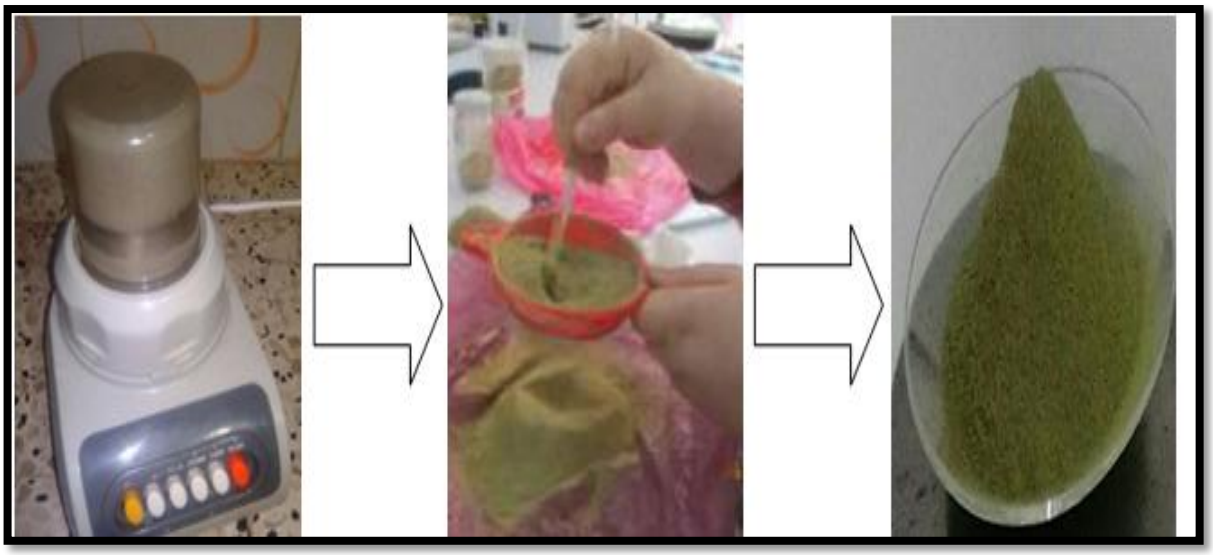


Figure II.7 : broyage et tamisage des échantillons pour l'obtention d'une poudre très fine.

II.2.2.Préparation des extraits :

II.2.2.1. Protocole d'extraction:

III.2.2.1.1. Le choix du solvant:

Le choix du ou des solvants est très important. Il doit être d'une grande pureté pour pouvoir être éliminé facilement en limitant la perte de composés volatils . Il faut tenir compte de la polarité des composés et de la miscibilité avec les autres solvants **.** l'éthanol, l'addition de 30 % d'eau distillée a un pouvoirs extractions très élèves**. (Bourgou et al, 2016) .**

III.2.2.1.2.Extraction par macération à froid dans la solution hydrométhanol (extrait éthanolique):

Selon le protocole de travail de **Coulibaly et *all* (2011)** avec une légère modification (Figure II.8). L'extraction a été réalisée selon les étapes suivantes :

-50g de poudre végétale mis à macérer dans 500 ml de solution hydro-éthanolique à 70% (70/30 v/v) en raison de (1/10);

-Le macérat mis à sous agitation magnétique pendant 24h et à une température ambiante;

-Le macérat hydroalcoolique obtenus est soumis à la double filtration sur coton hydrophile et sur papier-filtre Whatman no 1 ;

-Les filtrats obtenus sont concentrés à l'évaporateur rotatif de type à la température de 60 °C respectivement

-Après, une séchage de l''extrait à l'étuve (45 °C) pendant 24 heures, les extraits obtenus ont été broyés et conservés à 4°C jusqu'à utilisation**.**

III.2.1.1.3.Extraction par macération à froid dans l'eau distillée (extraits aqueux) :

L'extraction aqueuse a été réalisée selon le protocole décrit par **Sanogo et al. (2006),** avec quelques modifications (figure II.8). Les différentes étapes de l'extraction sont les suivantes :

- ✓ Cinquante grammes (50 g) de poudre végétale ont été introduits dans un récipient contenant 500 mL d'eau distillée, selon un rapport masse/volume de 1/10 (p/v).
- ✓ Le mélange a ensuite été soumis à une agitation magnétique continue pendant 24 heures à température ambiante.
- ✓ Après macération, le mélange a été filtré successivement sur du coton hydrophile puis sur du papier filtre Whatman n°1 afin d'éliminer les particules solides.
- ✓ Les filtrats obtenus ont été concentrés à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide à une température de 80 °C.
- ✓ Les résidus d'extraction ont ensuite été séchés dans une étuve à 45 °C .
- ✓ Enfin, les extraits secs obtenus ont été broyés puis conservés à 4 °C jusqu'à leur utilisation.



Figure II.7 : Protocole d'extraction méthanolique des plantes testés.

II.2.3.Teste biologique *in vitro* :

II.2.3.1. Préparation des dilutions des extraits et huiles essentielles :

À partir de l'extrait initial, de concentration 0,5 g/mL (soit 100 %), des dilutions à 50 %, 25 % et 12,5 % ont été préparées à partir d'une solution mère contenant 2 % de diméthylsulfoxyde (DMSO) (Figure II.8). Le témoin était constitué uniquement d'eau distillée additionnée de 2 % de DMSO.

Concernant les huiles essentielles, quatre doses ont été testées à partir de chaque huile essentielle, dont la concentration initiale était de 0,08 µL/mL (soit 100 %). Les dilutions préparées correspondaient à D1 = 100 %, D2 = 50 %, D3 = 25 % et D4 = 12,5 %, obtenues dans une solution mère contenant 1 % de Tween 80 (figure II.8). Le témoin était constitué uniquement d'eau distillée additionnée de 1 % de Tween 80.



Figure II.8 : Préparation des dilutions des extraits et huiles essentielles.

II.2.3.2. Evaluation de la toxicité des extrais par effet contact :

Premier essai : application topique sur les larves de *Tenebrio molitor* :

L'activité insecticide des extraits *Capparis spinosa* L. et *Peganum harmala L.* a été évaluée par application directe sur les larves de *Tenebrio molitor*. Pour chaque traitement, un volume de 100 µL de la solution à tester a été déposé sur la face dorsale de chaque larve à l'aide d'une micropipette. Quatre doses ont été testées pour chaque extrait et chaque huile essentielle. Un lot témoin, traité uniquement avec le solvant correspondant (eau distillée contenant 2 % de DMSO pour les extraits), a été inclus dans l'expérimentation. Chaque traitement a été réalisé en trois répétitions. La mortalité des larves a été enregistrée à intervalles réguliers après traitement, soit à 24 h, 48 h, 72 h, 96

h, 144 h et 168 h. Les observations ont été poursuivies pendant une période totale de sept jours (Figure II.9).

Deuxième essai : traitement par contact des insectes dans des boîtes de Pétri :

L'évaluation de la toxicité par contact a également été réalisée sur des adultes de *Tribolium confusum* et de *Sitophilus oryzae*, ainsi que sur des larves de *Tenebrio molitor*. Pour chaque traitement, 1 mL de la solution contenant l'extrait ou l'huile essentielle a été réparti uniformément dans une boîte de Pétri renfermant 10 insectes. Les mêmes doses que celles utilisées lors du premier essai ont été appliquées. Les traitements ont été répétés trois fois pour chaque dose. Un témoin négatif composé d'eau distillée additionnée du solvant approprié (Tween 80 à 1 %) a été utilisé dans les mêmes conditions expérimentales. Le nombre d'insectes morts a été déterminé après 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 144 h et 168 h d'exposition. Le suivi de la mortalité a été effectué pendant sept jours afin d'évaluer l'effet insecticide des différents traitements.

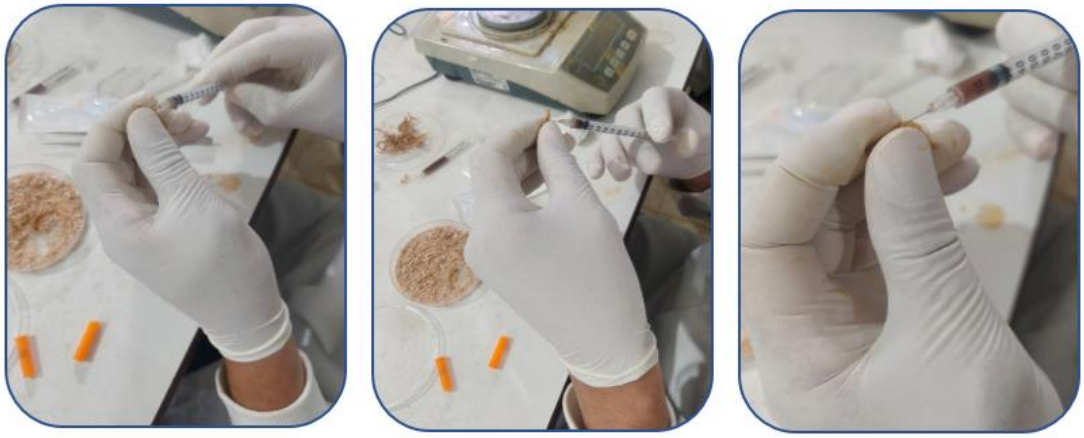


Figure II.9 : Évaluation de la toxicité des extraits par contact

II.2.3.3. Évaluation de la toxicité des extraits par effet d'ingestion :

Dans des boîtes de Pétri contenant 2 g de graines de blé ou de farine mélangées avec les extraits de *Capparis spinosa* L. et *Peganum harmala L.* 10 individus de *Tenebrio molitor* ont été introduits. Les expériences ont été répétées 3 fois pour chaque dose. Quatre doses ont été utilisées pour chaque partie de la plante, le témoin (graines de blé/farine traitées à l'eau distillée contenant 2 % de DMSO). Le nombre d'insectes

morts a été calculé toutes les 6 heures pendant une période de 144 heures après le traitement (24 heures, 48 heures, 72 heures, 96 heures et 144 heures) (figure II.10)



Figure II.10 : Évaluation de la toxicité des extraits par effet d'ingestion.

II.2.3.4. Évaluation de la toxicité des huiles essentielles par effet d'inhalation :

L'activité insecticide des huiles essentielles par effet d'inhalation a été évaluée dans des boîtes de Pétri hermétiquement fermées. Pour chaque traitement, une quantité déterminée d'huile essentielle correspondant à la dose testée a été déposée à l'aide d'une micropipette sur un tampon de coton fixé à la face interne du couvercle de la boîte de Pétri, de manière à éviter tout contact direct avec les insectes.

Chaque boîte contenait 10 individus de *Tribolium confusum* adultes, 10 individus de *Sitophilus oryzae* adultes ou 10 larves de *Tenebrio molitor*. Quatre doses ont été testées pour chaque huile essentielle. Afin d'évaluer l'évolution de l'effet fumigant au cours du temps, les insectes ont été exposés pendant six durées différentes : 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 144 h et 168 h. La mortalité a été enregistrée à la fin de chaque période d'exposition afin de déterminer l'efficacité insecticide des huiles essentielles par inhalation.

II.2.4. Expression des résultats :

IV.2.4.1. Détermination du taux de mortalité :

La mortalité constitue le principal critère permettant d'évaluer l'efficacité d'un traitement chimique ou biologique. Le taux de mortalité observé chez les insectes témoins et ceux soumis aux différents traitements a été déterminé selon la formule suivante :

$$\textbf{Mortalité observée (\%)} = \frac{\textbf{Nombre d'individus morts}}{\textbf{Nombre total d'individus}} \times 100$$

où :

- ✓ **Nombre d'individus morts** : nombre d'insectes décédés après le traitement ;
- ✓ **Nombre total d'individus** : nombre total d'insectes utilisés dans l'essai.

RESULTATS ET DESCUSSION

III. Résultats & Discussion :

III.1.Evaluation de l'activité insecticide des extraits de *Peganum harmala* et *Capparis spinosa* sur les adultes de trois ravageurs des denrées stockée :

Pour Peganum harmala et *Capparis spinosa*, aucun effet significatif n'a été observé dans la présente étude. Cette divergence pourrait s'expliquer par des contraintes et des conditions de travail rencontrées lors de la réalisation des essais biologiques. En effet, les conditions expérimentales n'ont pas permis d'appliquer l'ensemble du protocole dans des conditions optimales, ce qui a pu influencer la qualité des bioessais et limiter l'expression de l'activité insecticide des extraits. Par conséquent, les résultats obtenus doivent être interprétés avec prudence et ne permettent pas de remettre en cause le potentiel insecticide de ces espèces végétales décrit dans la littérature.

III.1.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Tribolium confusum* :

III.1.1.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Tribolium confusum* par contact :

- Les taux de mortalité des adultes de *Tribolium confusum* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de *Citrus limon* par contact sont présentés dans la figure III.1.

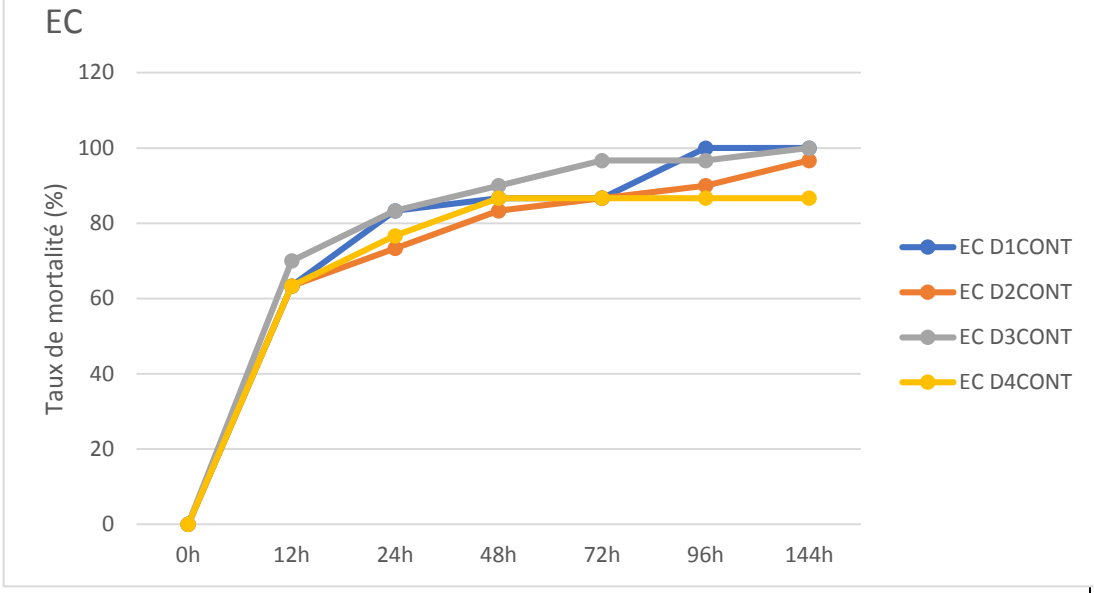


Figure III.1: Taux de mortalité de *Tribolium confusum* traité par l'huile essentielle de *Citrus limon*.

Chez *Tribolium confusum*, les résultats montrent une augmentation progressive de la mortalité en fonction du temps d'exposition à l'huile essentielle de *Citrus limone* par contact. Dès 12 h, des taux de mortalité relativement élevés sont enregistrés, variant de 60 % à 70 %, ce qui témoigne d'une action insecticide rapide de l'huile essentielle. Cette activité s'intensifie ensuite au cours du temps, les mortalités atteignant important après 24 h,.

À partir de 72 h, l'effet insecticide devient très prononcé, avec des taux de mortalité compris entre 80% et 100 %. Après 96 h, les mortalités se stabilisent à des niveaux très élevés, atteignant 100 % pour la dose 1 et la dose 3, tandis que la dose 2 % de mortalité et la dose 4. À 144 h, l'efficacité maximale est confirmée pour les doses 1 et 3 avec 100 % de mortalité, alors que la dose 2 atteint près de 100 % et que la dose 4 reste la moins efficace .

- Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence un effet insecticide fortement dépendant du temps d'exposition. L'huile essentielle de *Citrus limone* exerce une activité remarquable contre T. confusum, avec une augmentation progressive de la mortalité jusqu'à l'obtention d'une efficacité totale pour certaines doses. La dose 3 apparaît comme la plus performante, suivie des doses 1 et 2, tandis que la

dose 4 présente l'activité la plus faible. Ces variations peuvent être liées à la composition chimique de l'huile essentielle, aux concentrations appliquées ou encore à la sensibilité physiologique des insectes exposés.

- Les taux de mortalité des adultes de *Tribolium confusum* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de *Citrus limon* par contact sont présentés dans la figure III.2.

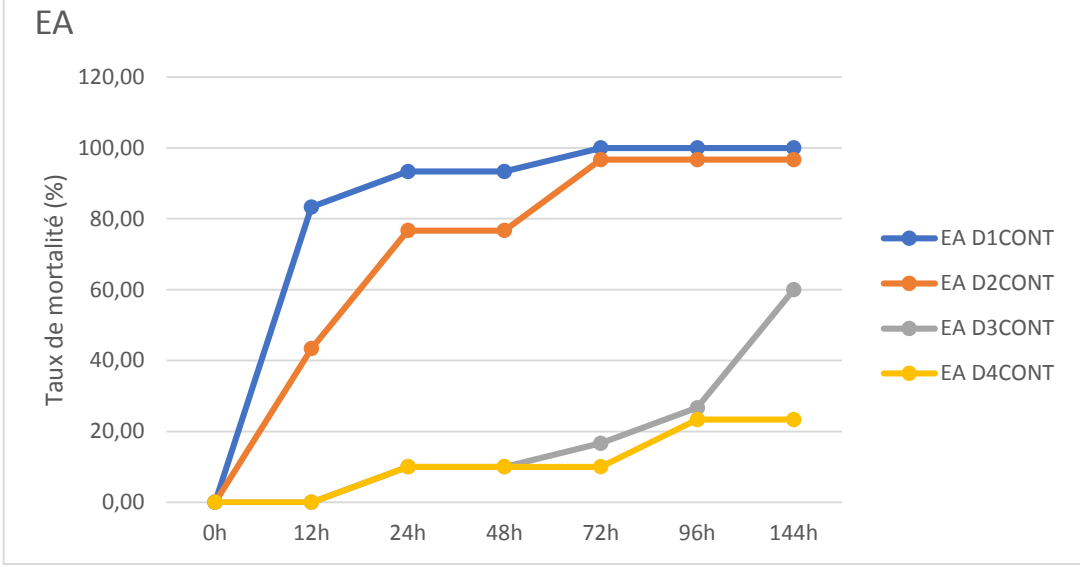


Figure III.2: Taux de mortalité de *Tribolium confusum* traité par l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare)* par contact.

Chez *Tribolium confusum*, l'huile essentielle de fenouil sauvage exerce une action insecticide nette, avec une réponse qui varie selon la dose et le temps d'exposition. Dès 12 h, la dose 1 provoque déjà une mortalité élevée , suivie de la dose , alors que les doses 3 et 4 n'induisent aucune mortalité. À 24 h, l'effet s'accentue fortement pour les doses les plus actives, , tandis que les doses 3 et 4 restent très faibles.

À partir de 72 h, la dose 1 atteint une mortalité totale de 100 %, et la dose 2 s'en rapproche , ce qui traduit une forte efficacité de l'huile essentielle sur *T. confusum*. En revanche, les doses 3 et 4 demeurent nettement moins efficaces, avec des valeurs faibles même après prolongation de l'exposition. À 144 h, la dose et la dose 4 reste faible.

Ces résultats montrent que l'activité de l'huile essentielle de fenouil sauvage est clairement dépendante de la dose et du temps d'exposition. Globalement, la dose 1 est la plus performante, suivie de la dose 2, alors que les doses 3 et 4 présentent une

efficacité limitée. Cela suggère que *Tribolium confusum* est sensible aux composés volatils du fenouil sauvage, mais que leur effet n'est réellement marqué qu'aux doses les plus élevées.

- Les taux de mortalité des adultes de *Tribolium confusum* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de *Citrus limon* par contact sont présentés dans la figure III.3.

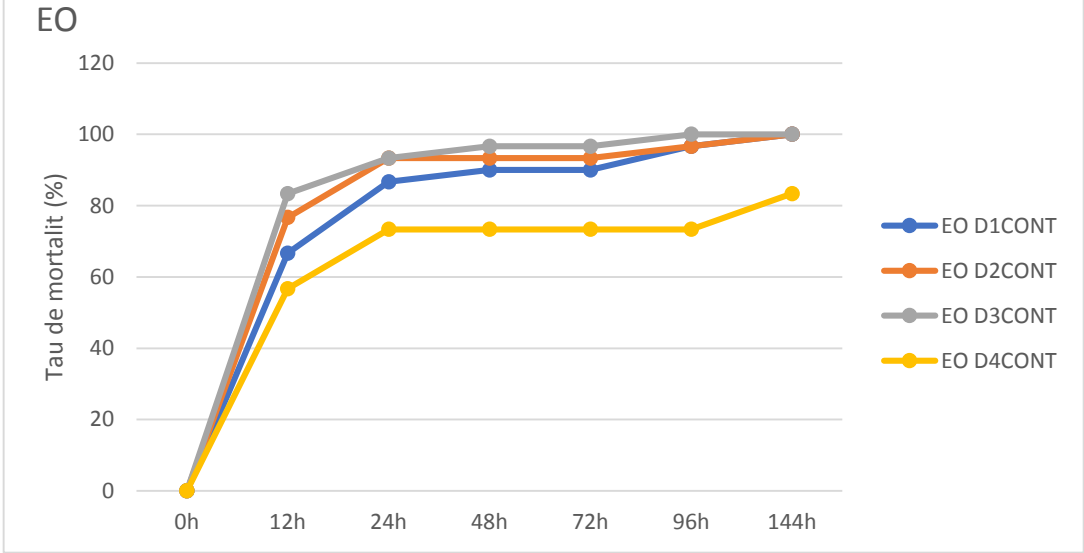


Figure III3 : Taux de mortalité des adultes de ***Tribolium confusum*** exposés à l'huile essentielle de bigaradier (***Citrus aurantium***) par contact.

Chez *Tribolium confusum*, l'huile essentielle de bigaradier présente une activité insecticide marquée, avec une augmentation progressive de l'effet en fonction du temps d'exposition. Dès 12 h, des mortalités relativement élevées sont déjà observées, variant de 50% à 85 %, ce qui traduit une action rapide des composés volatils de l'huile essentielle. À 24 h, l'effet s'intensifie nettement, avec des valeurs comprises entre 70 % et 95 %, puis il continue d'augmenter à 48 h, où la mortalité atteint 90,00 % à 97% selon la dose.

À partir de 72 h, l'activité reste élevée, avec des taux de mortalité compris entre 70 % et 97 %. Après 96 h, la dose 3 atteint une mortalité totale de 100 %, tandis que les doses 1 et 2 s'élèvent à 100 %. La dose 4, en revanche, demeure la moins efficace . À 144 h, les doses 1, 2 et 3 atteignent toutes 100 % de mortalité, alors que la dose 4 progresse faible.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que l'huile essentielle d'orange exerce un effet insecticide fortement dépendant du temps et de la dose. La dose 3 apparaît

comme la plus rapide et la plus performante, suivie des doses 1 et 2, tandis que la dose 4 présente une efficacité plus faible. Ces observations suggèrent que *T. confusum* est sensible à l'huile essentielle d'orange, surtout aux doses les plus élevées ou les plus actives.

- La comparaison des trois huiles essentielles testées sur *Tribolium confusum* montre que toutes possèdent une activité insecticide importante, mais avec des niveaux d'efficacité différents. L'huile essentielle de bigaradier se distingue par une action rapide et régulière, atteignant 100 % de mortalité à 144 h pour les doses 1, 2 et 3. L'huile essentielle de citron présente également une forte efficacité, avec des mortalités maximales de 100 % pour certaines doses dès 96 h. Quant à l'huile essentielle de fenouil sauvage, elle se révèle très efficace aux doses les plus élevées, atteignant 100 % de mortalité à 72 h pour la dose 1, mais son activité diminue nettement aux doses plus faibles. Globalement, les huiles essentielles de bigaradier et de citron apparaissent comme les plus performantes et les plus homogènes contre *T. confusum*, tandis que celle de fenouil sauvage montre une efficacité plus dépendante de la dose appliquée.

III.2.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Tenebrio molitor*:

III.1.1.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Tenebrio molitor*par contact :

- L'activité insecticide de l'huile essentielle de citron (*Citrus limon*) sur les adultes de *Tenebrio molitor* a été évaluée par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps figure III.4.

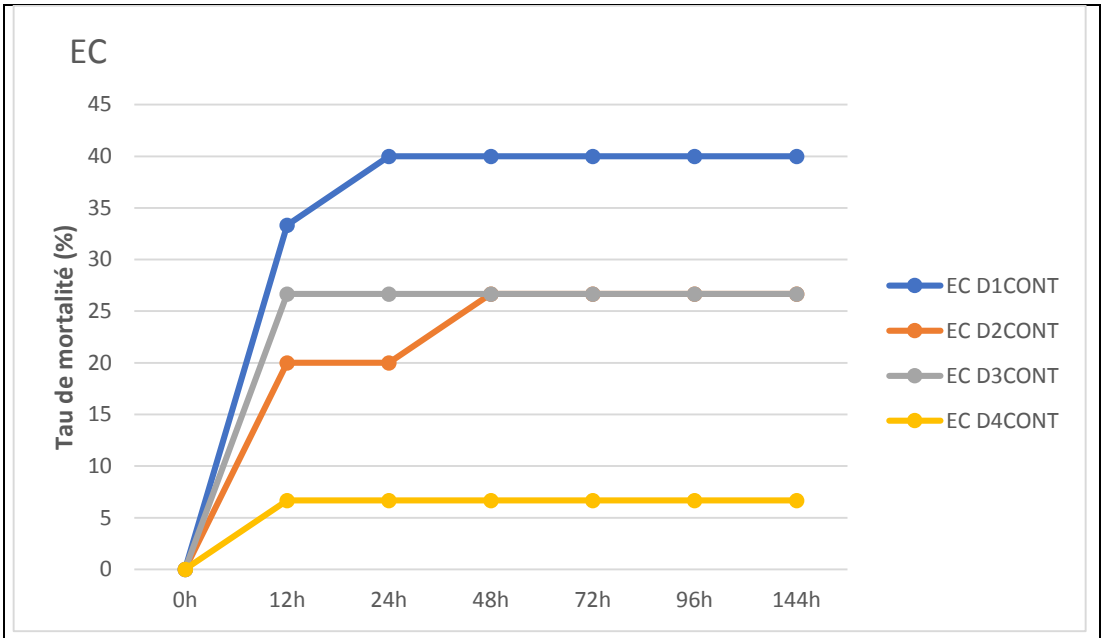


Figure III.4 : Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de citron (*Citrus limon*) par contact.

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de citron exerce une activité insecticide relativement faible sur *Tenebrio molitor* par contact. Dès 12 h d'exposition, les taux de mortalité varient entre 5 % et 35 %, la dose 1 étant la plus efficace, tandis que la dose 4 présente l'effet le plus faible . Après 24 h, une légère augmentation de la mortalité est observée pour la dose 1, qui atteint 40,0 %, alors que les autres doses restent comprises entre 6 % et 27 %.

À partir de 48 h et jusqu'à 144 h, les taux de mortalité demeurent pratiquement constants. La mortalité maximale enregistrée est de 40,0 % pour la dose 1, tandis que et que la dose 4 reste limitée. L'absence d'augmentation notable de la mortalité au-delà de 24 h indique que l'action insecticide de l'huile essentielle atteint rapidement son niveau maximal d'efficacité.

- L'activité insecticide de l'huile essentielle de fenouil sauvage (Foeniculum vulgare) sur les adultes de Tenebrio molitor a été évaluée par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps figure III.5.

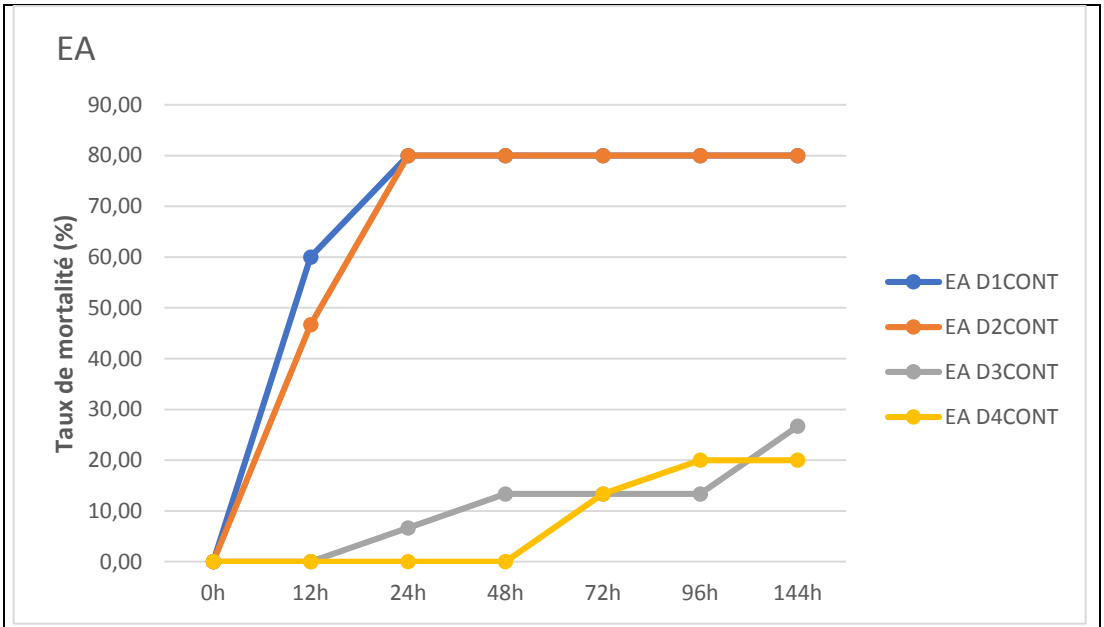


Figure III.5 : Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) par contact..

Les résultats montrent que l'huile essentielle de fenouil exerce une activité insecticide modérée sur *Tenebrio molitor*, avec une efficacité qui varie selon la dose et le temps d'exposition. Dès 12 h, la dose 1 provoque une mortalité de 60 %, suivie de la dose 2 , tandis que les doses 3 et 4 n'entraînent aucune mortalité. À 24 h, l'effet augmente nettement pour les doses 1 et 2, qui atteignent toutes deux 80 %, alors que les doses 3 et 4 restent très faibles .

À partir de 48 h et jusqu'à 144 h, les valeurs restent globalement stables pour les doses les plus actives. Les doses 1 et 2 se maintiennent à 80 %, ce qui traduit un effet rapide mais limité dans le temps. En revanche, les doses 3 et 4 présentent une activité beaucoup plus faible, à 144 h. Cette stabilité indique que l'action insecticide se manifeste surtout aux doses élevées et n'augmente plus après 24 h d'exposition.

- L'activité insecticide de l'huile essentielle de bigaradier (Citrus aurantium sur les adultes de Tenebrio molitor a été évalué par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps.

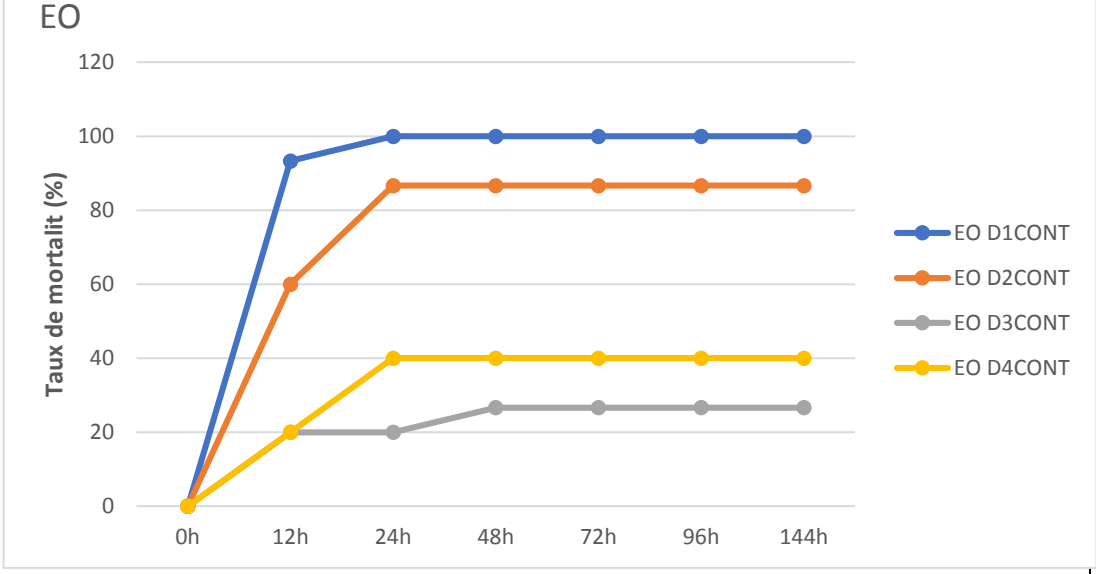


Figure III.6 : Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de de bigaradier (*Citrus aurantium*) par contact.

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de bigaradier (*Citrus aurantium*) possède une activité insecticide importante contre *Tenebrio molitor*, particulièrement aux doses les plus élevées. Dès 12 h d'exposition, la dose 1 entraîne une mortalité très élevée, suivie de la dose 2 , tandis que les doses 3 et 4 faible mortalité. Cette réponse rapide témoigne d'une action insecticide précoce de l'huile essentielle.

Après 24 h, la dose 1 atteint une mortalité totale de 100 %, qui se maintient jusqu'à la fin de l'expérimentation. La dose 2 reste stable jusqu'à 144 h. En revanche, les doses 3 et 4 présentent une efficacité plus faible, avec des mortalités faible. Aucune augmentation notable n'est observée après 48 h, indiquant que l'effet maximal est atteint rapidement.

Dans l'ensemble, ces résultats montrent que l'huile essentielle de bigaradier exerce une activité insecticide marquée et fortement dépendante de la dose. Les doses 1 et 2 se révèlent particulièrement efficaces, tandis que les doses plus faibles restent nettement moins actives. Ces observations suggèrent que T. molitor est sensible aux composés bioactifs de l'huile essentielle d'orange, notamment aux concentrations les plus élevées.

- Parmi les trois huiles essentielles testées, l'huile essentielle bigaradier (*Citrus aurantium*) s'est révélée la plus efficace contre Tenebrio molitor, avec une mortalité maximale de 100 % obtenue dès 24 h à la dose 1. L'huile essentielle de fenouil occupe la deuxième position, atteignant 80 % de mortalité aux doses 1 et 2. En revanche, l'huile essentielle de citron a montré l'activité la plus faible, avec une mortalité maximale limitée . Ainsi, l'ordre d'efficacité observé est : bigaradier. > fenouil > citron, ce qui met en évidence une sensibilité plus importante de *T. molitor* aux composés actifs de l'huile essentielle de bigaradier.

III.3.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Sitophilus zeamais* :

III.3.1.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Sitophilus zeamais* par contact :

➢ L'activité insecticide de l'huile essentielle de citron (*Citrus limon*) sur les adultes de *Sitophilus zeamais* a été évaluée par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps figure III.7.

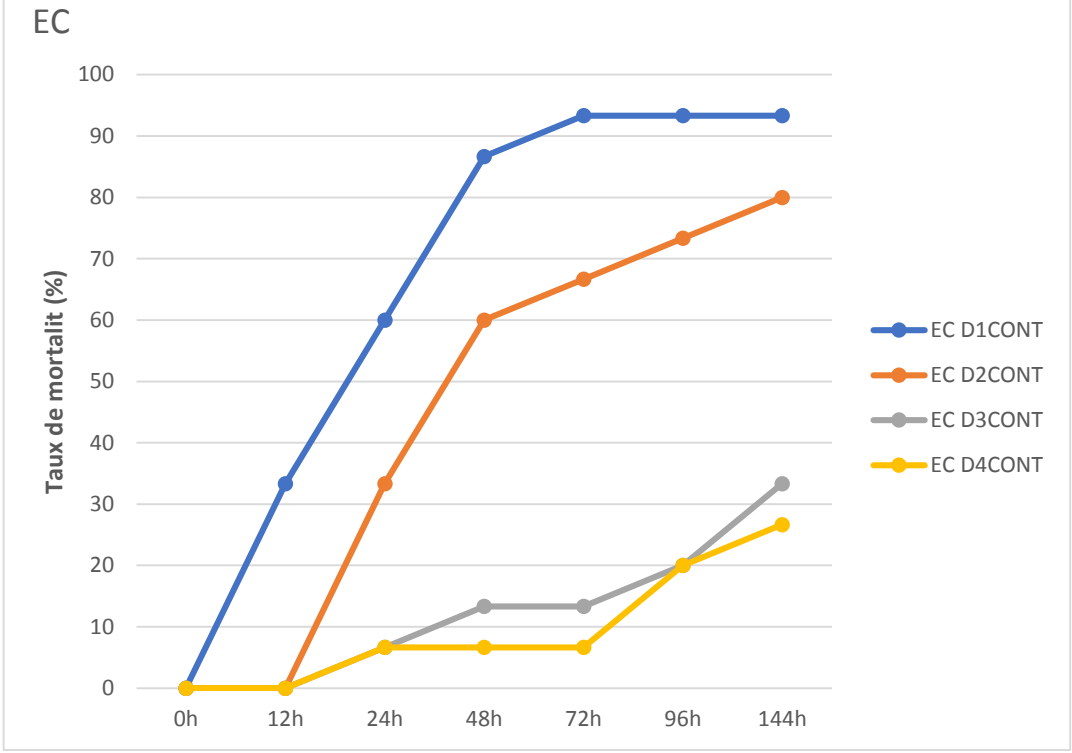


Figure III.7: Taux de mortalité des adultes de *Tenebrio molitor* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de de bigaradier (*Citrus limon*) par contact.

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de *Citrus limon* exerce une activité insecticide par contact sur *Sitophilus zeamais*, dont l'intensité augmente en fonction du temps d'exposition et de la dose appliquée. Dès 12 h après traitement, une faible taux de mortalité est enregistrée à la dose D1contact, alors qu'aucun effet n'est observé aux doses D2contact, D3contact et D4contact. Cette réponse précoce traduit une action relativement rapide de l'huile essentielle à la concentration la plus élevée.

Après 24 h, la mortalité de D1contact est légèrement supérieur à D2contact et aux doses D3contact et D4contact. Cette augmentation met en évidence une relation dose-réponse, l'efficacité du traitement étant plus importante lorsque la concentration appliquée est élevée.

L'effet insecticide continue de s'accentuer avec la durée d'exposition. À 48 h, les taux de mortalité pour D1contact, D2contact, D3contact et D4contact diminue selon la dose . Après 72 h, la mortalité augment à D1contact et à D2contact, tandis que les doses les plus faibles demeurent peu efficaces. À 96 h et 144 h, les mortalités

enregistrées sont élevée pour les deux doses D1contact, D2contact, alors que les doses D3contact et D4contact reste faible à la fin de l'essai.

➢ L'activité insecticide de l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) sur les adultes de *Sitophilus zeamais* a été évaluée par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps figure III.8.

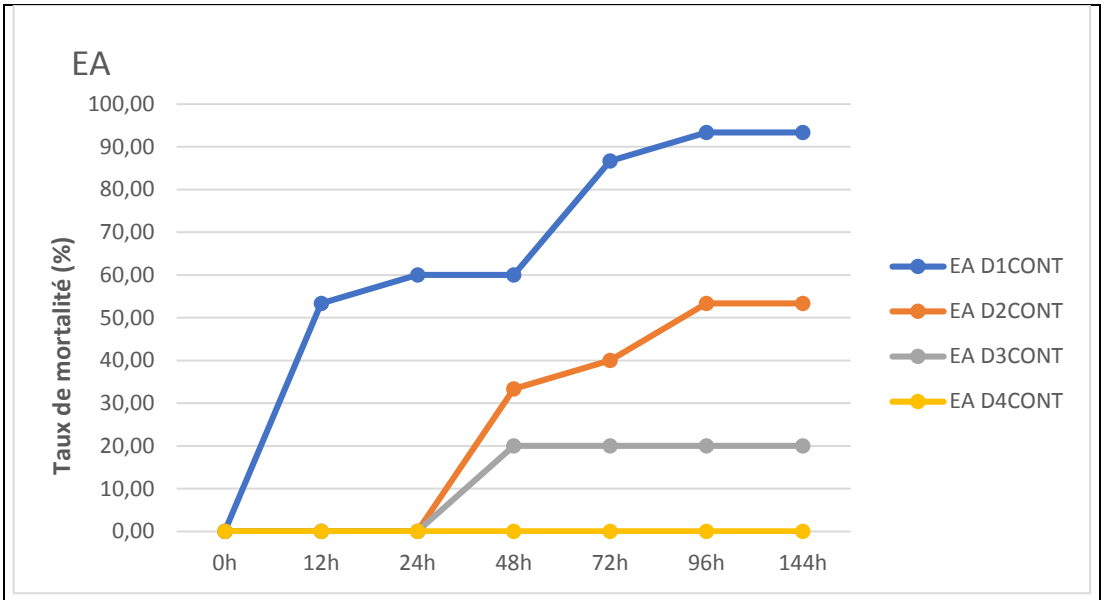


Figure III.8 : Taux de mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) par contact..

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle de fenouil (*Foeniculum vulgare*) possède une activité insecticide par contact contre Sitophilus zeamais, dont l'efficacité varie en fonction de la dose appliquée et du temps d'exposition. Dès 12 h après traitement, la dose D1contact provoque une mortalité modérer alors qu'aucun effet n'est observé aux autres doses. Cette réponse rapide témoigne d'une action immédiate de l'huile essentielle à la concentration la plus élevée.

Après 24 h, la mortalité à D1contact atteint 60 %, tandis que les doses D2contact, D3contact et D4contact demeurent sans effet. À partir de 48 h, une augmentation de la

mortalité est observée aux doses intermédiaires, à D2contact et à D3contact, alors que D4contact reste totalement inefficace. Cette évolution met en évidence une relation entre la concentration appliquée et l'efficacité insecticide.

L'activité du traitement se renforce avec le temps. À 72 h, les mortalités augmente pour les doses D1contact, D2contact et D3contact. Après 96 h, la dose la plus élevée induit une mortalité importante, tandis que D2contact est modérée et D3contact demeure stable . À la fin de l'expérimentation (144 h), les taux de mortalité restent identiques, indiquant que l'effet maximal du traitement a été atteint avant cette période.

Dans l'ensemble, l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* présente une activité insecticide intéressante par contact contre *Sitophilus zeamais*. Son efficacité est particulièrement marquée à la dose D1contact, qui entraîne plus de 90 % de mortalité après 96 h d'exposition. En revanche, les doses les plus faibles montrent une activité limitée, voire nulle dans le cas de D4contact. Ces résultats confirment le caractère dose-dépendant de l'action insecticide de cette huile essentielle et suggèrent son potentiel comme alternative naturelle dans la lutte contre les insectes ravageurs des denrées stockées.

- L'activité insecticide de l'huile essentielle de Bigaradier (*Citrus aurantium* L.) sur les adultes de *Sitophilus zeamais* a été évaluée par contact direct à différentes doses et pendant plusieurs périodes d'exposition. Les taux de mortalité enregistrés permettent d'apprécier l'efficacité de cette huile essentielle et son évolution en fonction du temps figure III.9.

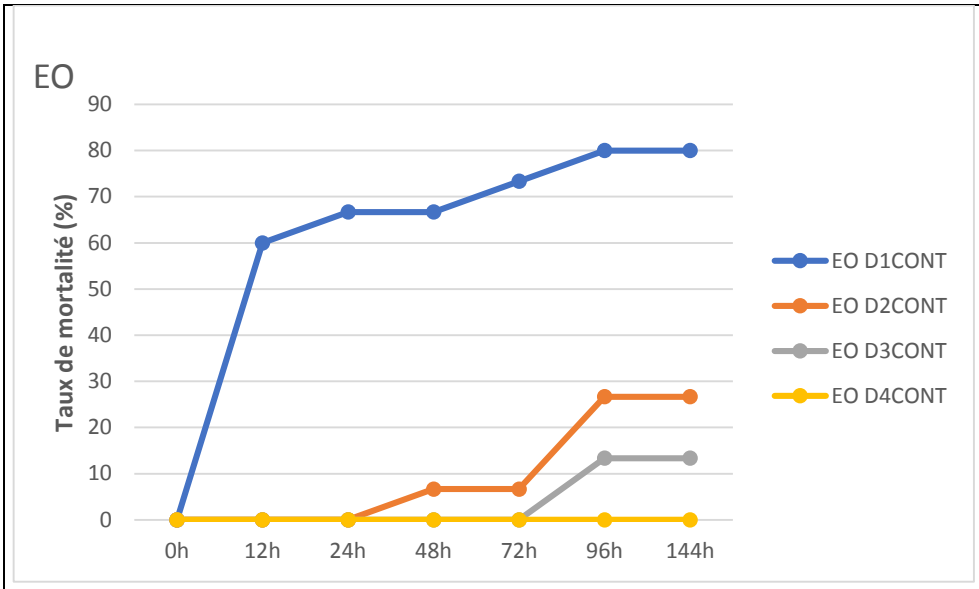


Figure III.6 : Taux de mortalité des adultes de *Sitophilus zeamais* exposés aux différentes doses de l'huile essentielle de de bigaradier (*Citrus aurantium*) par contact

Les résultats obtenus montrent que l'huile essentielle Bigaradier (*Citrus aurantium* L.) exerce une activité insecticide par contact sur *Sitophilus zeamais*, dont l'intensité dépend à la fois de la concentration utilisée et de la durée d'exposition. Dès 12 h après traitement, la dose D1contact provoque une mortalité modère, alors qu'aucun effet n'est observé aux autres doses. Cette réponse rapide met en évidence une action insecticide précoce de l'huile essentielle à la concentration la plus élevée.

Après 24 h, la mortalité à D1contact augmente légèrement, tandis que les doses D2contact, D3contact et D4contact demeurent inefficaces. À 48 h, une faible activité apparaît à D2contact , alors qu'aucune mortalité n'est encore observée aux doses D3contact et D4contact. Cette tendance indique que l'efficacité de l'huile essentielle diminue fortement avec la réduction de la concentration.

L'effet insecticide progresse avec le temps. À 72 h, la mortalité est importante à D1contact, tandis que D2contact reste limitée . Après 96 h, la dose la plus élevée , alors que D2contact et D3contact sont faible. Aucun effet n'est enregistré à D4contact durant toute la période expérimentale. Les valeurs observées à 144 h demeurent identiques à celles obtenues à 96 h, suggérant que l'effet maximal du traitement a été atteint avant cette échéance.

Dans l'ensemble, l'huile essentielle Bigaradier présente une activité insecticide modérée à élevée contre *Sitophilus zeamais*, principalement à la dose D1contact, qui permet d'obtenir 80 % de mortalité après 96 h d'exposition. Les doses plus faibles montrent une efficacité réduite ou nulle, ce qui souligne le caractère fortement dose-dépendant de l'activité observée. Comparativement aux huiles essentielles de citron et de fenouil, l'huile essentielle Bigaradier semble moins efficace, bien qu'elle conserve un potentiel intéressant comme bio-insecticide naturel pour la protection des produits stockés contre S. zeamais.

- La comparaison des trois huiles essentielles testées met en évidence des différences significatives de leur activité insecticide par contact à l'égard de *Sitophilus zeamais*. Globalement, les huiles essentielles de citron (*Citrus limon*) et de fenouil (*Foeniculum vulgare*) se sont révélées les plus efficaces, alors que l'huile essentielle Bigaradier (*Citrus aurantium* L.) a présenté une activité plus modérée. À la dose la plus élevée (D1contact), les huiles essentielles de citron et de fenouil ont induit les taux de mortalité les plus élevés, bien que le fenouil se soit distingué par une action plus rapide dès les premières heures de traitement. À la dose intermédiaire (D2contact), l'huile essentielle de citron a conservé la meilleure efficacité avec une mortalité finale de 80 %, suivie par celle de fenouil puis Bigaradier. Aux doses les plus faibles (D3contact et D4contact), une diminution marquée de l'activité insecticide a été observée pour l'ensemble des huiles essentielles ; toutefois, l'huile essentielle de citron est demeurée la plus active pour le fenouil, et 0 % pour l'oranger. Ces résultats montrent que l'efficacité des huiles essentielles est fortement influencée par la concentration appliquée et permettent d'établir l'ordre décroissant d'activité insecticide suivant : huile essentielle de citron (*Citrus limon*) ≥ huile essentielle de fenouil (*Foeniculum vulgare*) > huile essentielle Bigaradier (*Citrus aurantium* L.).

III.1.1.Evaluation de l'activité insecticide des trois huiles essentielles sur les adultes *Tribolium confusum, Tenebrio molitor* et *Sitophilus zeamais* par inhalation:

Les résultats obtenus lors de l'évaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles de citron (*Citrus limon*), de fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) et de bigaradier (*Citrus aurantium*) par inhalation n'ont révélé aucune mortalité chez les

adultes de *Tribolium confusum, Tenebrio molitor* et *Sitophilus zeamais* durant toute la période d'exposition. Quel que soit le temps d'exposition ou l'espèce étudiée, les taux de mortalité sont restés nuls (0 %), indiquant une absence d'effet fumigant dans les conditions expérimentales adoptées.

Cette absence d'activité insecticide pourrait être attribuée à la faible quantité d'huile essentielle utilisée, qui n'a probablement pas permis d'atteindre une concentration suffisante de composés volatils dans l'enceinte expérimentale pour provoquer une intoxication des insectes. Par ailleurs, la sensibilité des espèces testées aux substances volatiles peut varier selon leurs caractéristiques physiologiques et comportementales. Ces résultats suggèrent que, aux doses appliquées, les trois huiles essentielles sont plus efficaces lorsqu'elles sont utilisées par contact direct que par inhalation. L'augmentation des doses ou de la concentration des vapeurs pourrait être nécessaire pour mettre en évidence un éventuel effet fumigant de ces huiles essentielles.

Discussion générale :

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les trois huiles essentielles testées , huile essentielle de citron (*Citrus limon*), de fenouil (*Foeniculum vulgar*e) et de bigaradier (*Citrus aurantium* L.) , présentent une activité insecticide variable vis-à-vis des insectes ravageurs des denrées stockées étudiés, à savoir *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor* et *Sitophilus zeamais*. L'intensité de cette activité dépend principalement de la nature de l'huile essentielle, de la dose appliquée, de l'espèce cible ainsi que de la durée d'exposition. D'une manière générale, l'augmentation progressive des taux de mortalité observée au cours du temps met en évidence un effet à la fois dose dépendant et temps dépendant, ce qui traduit une action cumulative des composés bioactifs présents dans les huiles essentielles. Ces observations confirment le potentiel des huiles essentielles comme alternatives naturelles aux insecticides de synthèse dans la protection des denrées stockées **(Ahsaei et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Chez *Tribolium confusum*, les résultats ont mis en évidence une sensibilité élevée aux trois huiles essentielles testées, avec toutefois des différences d'efficacité selon l'huile utilisée. Les huiles essentielles de citron et de bigaradier se sont révélées les plus actives, atteignant des taux de mortalité très élevés, voire 100 % pour certaines doses après prolongation du temps d'exposition. L'huile essentielle de fenouil a également présenté une activité insecticide intéressante, mais son efficacité s'est montrée plus fortement dépendante de la dose appliquée, les doses les plus élevées induisant des mortalités importantes, alors que les doses les plus faibles se sont avérées nettement moins actives. Cette relation positive entre la concentration, le temps d'exposition et la mortalité est fréquemment rapportée pour les huiles essentielles appliquées aux ravageurs des stocks, notamment chez les espèces du genre Tribolium *(Ahsaei et al., 2020 ; Amoura et al., 2021 ; Kavallieratos et al., 2025).*

La forte efficacité des huiles essentielles de citron et de bigaradier contre *T. confusum* pourrait être attribuée à leur richesse en monoterpènes, notamment le limonène, principal composé des huiles essentielles d'agrumes. Ce composé est largement reconnu pour ses propriétés insecticides, en particulier par son action sur le système nerveux des insectes. Il agit en perturbant la transmission de l'influx nerveux, provoquant des troubles moteurs, une paralysie puis la mort de l'insecte. Des travaux menés sur les huiles essentielles d'agrumes contre les ravageurs des denrées stockées ont montré que le limonène, le linalol et certains terpénols peuvent exercer des effets toxiques par contact ou par fumigation, souvent associés à une inhibition de certaines enzymes nerveuses ou respiratoires **(Mossa et al., 2020 ; Amoura et al., 2021).**

L'huile essentielle de fenouil a, quant à elle, montré une activité variable mais significative contre *T. confusum*, surtout aux doses élevées. Cette efficacité pourrait être liée à la présence de composés tels que le trans-anéthol, le fenchone et l'estragole, connus pour leurs propriétés insecticides et répulsives. Ces molécules sont susceptibles d'agir à la fois sur le comportement alimentaire, le système nerveux et certains processus métaboliques essentiels chez l'insecte. La dépendance marquée de l'effet du fenouil vis-à-vis de la dose pourrait indiquer que la concentration en principes actifs doit atteindre un certain seuil pour produire une toxicité significative sur *T. confusum*. Plus largement, la littérature indique que l'efficacité des huiles essentielles est souvent liée à la nature des constituants majoritaires, mais aussi aux interactions synergiques entre composés mineurs et majeurs **(Yang et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Dans l'ensemble, les résultats obtenus chez *T. confusum* indiquent que cette espèce est particulièrement sensible aux huiles essentielles testées, notamment à celles issues des agrumes. Cette sensibilité pourrait être liée à des caractéristiques physiologiques propres à l'espèce, telles qu'une cuticule relativement perméable, une forte exposition aux composés volatils ou une capacité limitée de détoxification vis-à-vis de certains métabolites secondaires. Plusieurs études de synthèse consacrées aux ravageurs des denrées stockées confirment d'ailleurs que Tribolium confusum figure parmi les espèces sensibles à de nombreuses huiles essentielles, en particulier celles riches en monoterpènes oxygénés et en hydrocarbures **monoterpéniques (Ahsaei et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Chez *Tenebrio molitor*, l'activité insecticide des huiles essentielles apparaît globalement plus faible que celle observée chez *Tribolium confusum*. Les résultats montrent que la réponse de cette espèce varie selon l'huile essentielle appliquée, avec une efficacité relativement limitée pour certaines huiles et certaines doses. D'après les tendances générales observées, l'huile essentielle de bigaradier semble avoir présenté la meilleure activité insecticide vis-à-vis de *T. molitor*, suivie de celle de fenouil, tandis que l'huile essentielle de citron s'est révélée moins efficace.

La faible activité du citron contre *T. molitor* pourrait traduire une moindre sensibilité de cette espèce aux monoterpènes dominants des huiles d'agrumes. Les taux de mortalité enregistrés restent modérés et semblent atteindre rapidement un plateau, ce qui laisse supposer que l'effet insecticide maximal est obtenu dans les premières heures d'exposition, sans augmentation notable par la suite. Ce comportement pourrait être lié à la physiologie particulière de *T. molitor*, notamment à une cuticule plus épaisse, à une meilleure résistance à la pénétration des substances actives ou encore à l'existence de mécanismes de détoxification enzymatique plus performants que chez les autres espèces étudiées. Cette hypothèse rejoint les observations rapportées chez *T. molitor* dans des travaux sur d'autres huiles essentielles, où l'efficacité insecticide dépend fortement du stade biologique, de la dose et de la composition de l'huile utilisée **(Plata-Rueda et al., 2021 ; Baranová et Gruľová, 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

L'activité relativement meilleure observée avec l'huile essentielle de bigaradier pourrait être due à une composition chimique plus favorable à l'action sur *T. molitor,*

soit par la présence de molécules actives spécifiques, soit par un effet synergique entre plusieurs constituants. L'huile essentielle de fenouil semble également posséder un certain effet insecticide sur cette espèce, mais celui-ci resterait probablement conditionné par la concentration utilisée et le temps d'exposition. Les différences de sensibilité entre *T. molitor* et les autres insectes étudiés pourraient refléter des variations physiologiques et métaboliques importantes entre les espèces, notamment dans la structure de la cuticule, le métabolisme des xénobiotiques ou le comportement locomoteur (Plata-Rueda et al., 2021 ; Kavallieratos et al., 2025).

Ainsi, *T. molitor* apparaît comme une espèce plus tolérante aux huiles essentielles testées, ce qui limite l'efficacité des traitements, surtout aux doses faibles. Cette observation est importante dans une perspective de valorisation des huiles essentielles, car elle montre que l'efficacité d'un biopesticide ne peut être généralisée à toutes les espèces de ravageurs et qu'une adaptation des doses et des modalités d'application est indispensable selon l'espèce cible **(Baranová et Gruľová, 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Chez *Sitophilus zeamais*, les trois huiles essentielles ont montré une activité insecticide par contact, avec une intensité variable selon la nature de l'huile, la dose appliquée et la durée d'exposition. Les huiles essentielles de citron et de fenouil se sont révélées les plus efficaces, alors que l'huile essentielle de bigaradier a présenté une activité plus modérée. De manière générale, les mortalités observées augmentent progressivement avec le temps et avec la dose, ce qui met en évidence une relation claire entre la concentration appliquée et l'efficacité du traitement. Cette tendance est en accord avec plusieurs études menées sur les charançons des grains, où les huiles essentielles exercent une toxicité croissante à mesure que la dose et le temps d'exposition augmentent (**Yang et al., 2020 ; Fouad et al., 2023 ; Kavallieratos et al., 2025).**

L'huile essentielle de citron a montré une activité importante contre *S. zeamais*, en particulier à la dose la plus élevée, où les taux de mortalité deviennent très élevés après 72 à 96 heures d'exposition. Cette efficacité pourrait être attribuée à la présence du limonène et d'autres monoterpènes caractéristiques des huiles d'agrumes, connus pour leur effet neurotoxique chez les insectes. L'action de ces composés pourrait se traduire par une perturbation du système nerveux, une altération de la mobilité et, à

terme, la mort des individus exposés. Des travaux réalisés sur des huiles essentielles d'agrumes contre *S. zeamais* ont montré que ces extraits peuvent inhiber certaines enzymes clés telles que l'acétylcholinestérase ou la Na^+/K^+-ATPase, ce qui contribue à leur toxicité **(Mossa et al., 2020).**

L'huile essentielle de fenouil a également montré une activité marquée contre *S. zeamais,* avec une action parfois plus rapide dès les premières heures de traitement. Cette réponse pourrait être liée aux propriétés insecticides du trans-anéthol, du fenchone et de l'estragole, déjà rapportées dans plusieurs travaux portant sur les ravageurs des denrées stockées. La mortalité plus élevée observée à forte dose suggère que ces composés exercent un effet toxique direct sur l'insecte, possiblement renforcé par des interactions synergiques entre les constituants de l'huile. Des résultats similaires ont été rapportés pour l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* appliquée à *S. zeamais,* confirmant l'intérêt de cette espèce végétale comme source potentielle de biopesticides pour la protection des grains stockés **(Wanna et Khaengkhan, 2023).**

En revanche, l'huile essentielle de bigaradier a montré une efficacité plus limitée contre *S. zeamais*, notamment aux doses intermédiaires et faibles, où les mortalités sont restées faibles ou nulles. Cette différence d'efficacité, malgré l'appartenance botanique commune avec le citron, pourrait être liée à des variations dans la composition chimique de l'huile essentielle, tant sur le plan qualitatif que quantitatif. En effet, les huiles essentielles d'agrumes peuvent différer sensiblement par la proportion de leurs constituants majoritaires et par la présence de composés secondaires capables de moduler leur activité biologique. De manière générale, la littérature souligne que même entre espèces proches d'agrumes, l'efficacité insecticide peut varier selon le chémotype, l'organe végétal utilisé et les conditions d'extraction **(Yang et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Les résultats obtenus chez *S. zeamais* montrent donc que cette espèce est sensible aux huiles essentielles testées, en particulier à celles de citron et de fenouil. Cette sensibilité est particulièrement intéressante dans le contexte de la protection des céréales stockées, *S. zeamais* étant un ravageur majeur du maïs et d'autres grains conservés. Les résultats de la présente étude confirment ainsi l'intérêt des huiles essentielles comme outils potentiels de lutte contre ce ravageur, en complément ou en

substitution partielle des insecticides conventionnels **(Yang et al., 2020 ; Fouad et al., 2023).**

La comparaison des résultats obtenus chez *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor et Sitophilus zeamais* met en évidence des différences nettes de sensibilité aux huiles essentielles testées. Globalement, *Tribolium confusum* apparaît comme l'espèce la plus sensible, avec des taux de mortalité très élevés obtenus pour les huiles essentielles de citron et de bigaradier. *Sitophilus zeamais* présente également une sensibilité importante, surtout vis-à-vis des huiles de citron et de fenouil, tandis que *Tenebrio molitor* semble être l'espèce la plus tolérante, avec des mortalités plus faibles et une réponse plus modérée à l'ensemble des traitements. Des différences comparables entre espèces de ravageurs des stocks ont été largement rapportées dans la littérature, où la toxicité d'une même huile essentielle varie en fonction de la biologie et de la physiologie de l'insecte **cible (Yang et al., 2020 ; Plata-Rueda et al., 2021 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Ces différences de sensibilité peuvent être expliquées par plusieurs facteurs biologiques et physiologiques. La structure de la cuticule, l'épaisseur du tégument, la capacité d'absorption des composés lipophiles, la vitesse du métabolisme, les mécanismes de détoxification enzymatique ainsi que le comportement des insectes vis-à-vis du substrat traité sont autant de paramètres susceptibles d'influencer l'efficacité d'une huile essentielle. Ainsi, un même produit naturel peut exercer une forte toxicité sur une espèce et une action plus limitée sur une autre. La revue **de Kavallieratos et al. (2025)** insiste justement sur le fait que la variabilité interspécifique constitue l'un des éléments centraux dans l'évaluation des huiles essentielles comme agents de lutte contre les ravageurs des denrées stockées.

Par ailleurs, les différences observées entre les huiles essentielles elles-mêmes soulignent l'importance de leur composition chimique dans l'expression de l'activité insecticide. Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de molécules bioactives monoterpènes, sesquiterpènes, phénylpropanoïdes capables d'agir simultanément sur plusieurs cibles physiologiques. Cette diversité chimique favorise des effets additifs ou synergiques, ce qui constitue l'un des principaux avantages des huiles essentielles par rapport à certains insecticides conventionnels. Les composés peuvent agir par contact, par inhalation, par perturbation du système nerveux, par

inhibition de l'alimentation ou encore par altération des membranes cellulaires et des fonctions enzymatiques **(Mossa et al., 2020 ; Yang et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

Dans l'ensemble, les résultats obtenus au cours de cette étude confirment le potentiel insecticide des huiles essentielles de citron, de fenouil et de bigaradier comme agents de biocontrôle contre les insectes ravageurs des denrées stockées. Leur efficacité, bien que variable selon les espèces et les doses, met en évidence leur intérêt comme alternatives naturelles aux pesticides de synthèse. Outre leur activité biologique, ces huiles présentent plusieurs avantages, notamment leur origine naturelle, leur biodégradabilité et leur faible persistance dans l'environnement. Toutefois, avant toute application pratique à grande échelle, il reste indispensable de poursuivre les investigations, notamment par la caractérisation chimique détaillée des huiles essentielles, la détermination de leurs paramètres toxiques (CL50 et CL90), l'étude de leur stabilité ainsi que l'évaluation de leur efficacité dans des conditions réelles de stockage. De telles recherches permettraient de mieux valoriser ces substances naturelles dans le cadre de stratégies de lutte intégrée contre les ravageurs des denrées stockées **(Ahsaei et al., 2020 ; Kavallieratos et al., 2025).**

CONCLUSION

Conclusion & Perspectives

La présente étude s'inscrit dans la recherche de solutions alternatives aux insecticides de synthèse pour la protection des denrées stockées contre les insectes ravageurs. Dans ce cadre, notre travail a porté sur l'évaluation de l'activité insecticide de métabolites secondaires d'origine végétale, à savoir les huiles essentielles de *Citrus limon, Foeniculum vulgare* et *Citrus aurantium*, ainsi que les extraits de *Peganum harmala* et *Capparis spinosa*, vis-à-vis de trois ravageurs d'importance économique des denrées stockées : *Tribolium confusum, Tenebrio molitor* et *Sitophilus zeamais*.

Les résultats obtenus mettent en évidence un potentiel insecticide réel des produits végétaux testés, en particulier des huiles essentielles appliquées par contact. Globalement, l'efficacité observée varie selon la nature du produit, l'espèce cible, la dose appliquée et la durée d'exposition, traduisant un effet à la fois dose-dépendant et temps-dépendant. Cette variabilité confirme que la réponse biologique des insectes aux biopesticides est étroitement liée à leurs caractéristiques physiologiques et à la composition chimique des extraits ou huiles essentielles employés.

Parmi les espèces étudiées, *Tribolium confusum* s'est révélé particulièrement sensible aux huiles essentielles testées. Les huiles essentielles de citron et de bigaradier ont montré les effets insecticides les plus marqués, avec des taux de mortalité très élevés, voire totaux dans certaines conditions expérimentales. L'huile essentielle de fenouil a également présenté une activité intéressante, bien que son efficacité ait été plus fortement conditionnée par la dose appliquée. Ces résultats suggèrent que les composés terpéniques majoritaires de ces huiles, notamment les monoterpènes des agrumes et les constituants aromatiques du fenouil, pourraient jouer un rôle déterminant dans la toxicité observée.

Chez *Sitophilus zeamais*, les trois huiles essentielles ont également exercé une activité insecticide par contact, avec une efficacité variable. Les huiles essentielles de citron et de fenouil se sont distinguées par une action plus marquée, alors que celle de bigaradier a montré une efficacité plus modérée. L'augmentation progressive de la mortalité en fonction du temps d'exposition et de la concentration confirme la sensibilité de cette espèce aux substances bioactives d'origine végétale et renforce l'intérêt de ces huiles essentielles dans la lutte contre les ravageurs des grains stockés.

En revanche, *Tenebrio molitor* s'est montré plus tolérant aux traitements testés. Bien qu'une activité insecticide ait été observée, les taux de mortalité sont restés globalement plus faibles que ceux enregistrés chez *T. confusum* et *S. zeamais*. Cette moindre sensibilité pourrait être liée à des différences physiologiques propres à l'espèce, telles qu'une cuticule plus résistante, une capacité accrue de détoxification ou une moindre pénétration des composés actifs. Ces observations soulignent l'importance d'adapter les doses et les modalités d'application selon l'espèce cible.

Par ailleurs, l'évaluation de l'activité insecticide par inhalation n'a révélé aucune mortalité chez les insectes testés dans les conditions expérimentales adoptées. L'absence d'effet fumigant pourrait être attribuée à une concentration insuffisante en composés volatils dans l'enceinte expérimentale ou à une faible sensibilité des espèces étudiées à ce mode d'action. Ce résultat montre que, dans le cadre de cette étude, l'application par contact demeure la voie la plus efficace pour exprimer l'activité insecticide des huiles essentielles testées.

Dans l'ensemble, ce travail met en évidence l'intérêt des plantes aromatiques et médicinales comme source de substances bioactives potentiellement valorisables dans la lutte biologique contre les ravageurs des denrées stockées. Les huiles essentielles de *Citrus limon, Foeniculum vulgare* et *Citrus aurantium* apparaissent comme des candidats prometteurs, notamment pour le contrôle de *Tribolium confusum* et de *Sitophilus zeamais*. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes pour le développement de biopesticides d'origine naturelle, plus respectueux de l'environnement et susceptibles de s'intégrer dans des stratégies de protection durable des denrées stockées.

Toutefois, avant toute application pratique, des investigations complémentaires demeurent nécessaires. Il serait notamment utile de caractériser plus précisément la composition chimique des extraits et huiles essentielles testés, d'identifier les molécules responsables de l'activité observée, d'évaluer leur innocuité sur les organismes non cibles et sur la qualité des denrées, ainsi que de tester leur efficacité dans des conditions semi-réelles ou réelles de stockage. L'optimisation des doses, des formulations et des modes d'application représente également une étape indispensable pour envisager leur valorisation à plus grande échelle.

En conclusion, les résultats obtenus confirment que les ressources végétales locales constituent une voie prometteuse pour la mise au point d'alternatives naturelles aux insecticides conventionnels. Leur valorisation dans le domaine de la protection des stocks pourrait contribuer à une gestion plus durable des ravageurs, conciliant efficacité biologique, sécurité sanitaire et préservation de l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Aichi-Yousfi, H., Bahri, B. A., Medini, M., Rouz, S., Rejeb, M. N., & Ghrabi-Gammar, Z.** (2016). Genetic diversity and population structure of six species of *Capparis* in Tunisia using AFLP markers. *Comptes Rendus Biologies*, *339*(11–12), 442–453. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.09.001
2. **Aqel, M., & Hadidi, M.** (1991). Direct relaxant effect of *Peganum harmala* seed extract on smooth muscles of rabbit and guinea pig. *International Journal of Pharmacognosy*, *29*(3), 176–182. https://doi.org/10.3109/13880209109082874
3. **Asghari, G., Saidfar, G., & Mahmudi, S.** (2004). Biotransformation of aromatic aldehydes by cell cultures of *Peganum harmala* L. and *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, *2*, 127–130.
4. **Badgujar, S. B., Patel, V. V., & Bandivdekar, A. H.** (2014). *Foeniculum vulgare* Mill: A review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed Research International*, *2014*, Article 842674. https://doi.org/10.1155/2014/842674
5. **Barros, H. R. M., Ferreira, T. A. P. C., & Genovese, M. I.** (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, *134*, 1892–1898.
6. **Beldi, H., Benbott, A., Yahia, A., Geuttaf, S., & Bensouici, C.** (2022). Contribution to the pharmacological valorization of the roots of *Capparis spinosa* L. from Mila region.
7. **Bonneton, F.** (2010). Quand *Tribolium* complète la génétique de la drosophile. *Médecine/Sciences*, *26*.
8. **Bousquet, Y.** (1990). *Beetles associated with stored products in Canada: An identification guide*. Agriculture and Agri-Food Canada.
9. **Camara, A.** (2009). *Lutte contre Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en Basse-Guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales* (Thèse de doctorat). Université du Québec à Montréal.
10. **Chedraoui, S., Abi-Rizk, A., El-Beyrouthy, M., Chalak, L., Ouaini, N., & Rajjou, L.** (2017). *Capparis spinosa* L. in a systematic review: A xerophilous species of multi values and promising potentialities for agrosystems under the threat of global warming. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1845. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01845
11. **Chopra, C., Abrol, B. K., & Handa, K. L.** (1960). *Les plantes médicinales des régions arides*. UNESCO.
12. **Coulibaly, B., N'Guessan, K. R., Aka, N., et al.** (2011). Activité antimycobactérienne in vitro des extraits de *Phyllanthus amarus* (Schum. & Thonn.) sur les souches de *Mycobacterium ulcerans* en Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, *80*, 759–771.
13. **Dastagir, G., Hussain, F., & Rehman, I. U.** (n.d.). Essential oil composition of some plants of family Zygophyllaceae and Euphorbiaceae.
14. **FAO.** (2021). *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture*.
15. **Farhat, A., Fabiano-Tixier, A. S., El Maataoui, M., Maingonnat, J. F., Romdhane, M., & Chemat, F.** (2011). Microwave steam diffusion for extraction of essential oil from orange peel: Kinetic data, extract's global yield and mechanism. *Food Chemistry*, *125*, 255–261.
16. **Farouk, L., Laroubi, A., Aboufatima, R., Benharref, A., & Chait, A.** (2008). Evaluation of the analgesic effect of alkaloid extract of *Peganum harmala* L.: Possible

mechanisms involved. *Journal of Ethnopharmacology, 115*(3), 449–454. https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.10.014
17. **Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F.** (2010). *Citrus d'Algérie : Les huiles essentielles et leurs procédés d'extraction*. OPU.
18. **Fleurrat-Leussard.** (1982). *Autres méthodes de lutte contre les insectes et acariens des denrées stockées*. AFNOR/ITCF.
19. **Ghasemi, K., Ghasemi, Y., & Ebrahimzadeh, M. A.** (2009). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 22*(3), 277–281.
20. **Goulas, V., & Manganaris, G. A.** (2012). Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of citrus fruits grown in Cyprus. *Food Chemistry, 131*, 39–47.
21. **Haines, C. P.** (1991). *Insects and arachnids of tropical stored products: Their biology and identification*.
22. **Hassan Annaz, H., Sane, Y., Bitchagno, G. T. M., Ben Bakrim, W., Drissi, B., Mahdi, I., El Bouhssini, M., & Sobeh, M.** (2022). Caper (*Capparis spinosa* L.): An updated review on its phytochemistry, nutritional value, traditional uses, and therapeutic potential. *Frontiers in Pharmacology, 13*, 878749. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.878749
23. **Herraiz, T., González, D., Ancín-Azpilicueta, C., Arán, V. J., & Guillén, H.** (2010). β-Carboline alkaloids in *Peganum harmala* and inhibition of human monoamine oxidase (MAO). *Food and Chemical Toxicology, 48*(3), 839–845. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.12.019
24. **Idrissi Hassani, L. M., Ould Ahmedou, M. L., Mayad, E. H., & Bouaichi, A.** (2002). Pouvoir insecticide de *Peganum harmala* sur *Schistocerca gregaria* : Effets de l'huile et des extraits de feuilles. *Biologie & Santé, 2*(2), 122–133.
25. **Kammoun Bejar, A., Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Boudhrioua Mihoubi, N.** (2011). Effect of infrared drying on drying kinetics, color, total phenols and water and oil holding capacities of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Engineering*.
26. **Kemassi, A., Bouziane, N., Boual, Z., & Ould El Hadj, M. D.** (2014). Activité biologique des huiles essentielles de *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) et de *Cleome arabica* L. (Capparidaceae) sur *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775). *Phytothérapie, 12*(6), 348–353. https://doi.org/10.1007/s10298-014-0894-y
27. **Khan, I., Prakash, A., & Agashe, D.** (2016). Divergent immune priming responses across flour beetle life stages and populations. *Ecology and Evolution*, 1–9. https://doi.org/10.1002/ece3.2532
28. **Klingler, M., & Bucher, G.** (2022). The red flour beetle *Tribolium castaneum*: Elaborate genetic toolkit and unbiased large-scale RNAi screening to study insect biology and evolution. *EvoDevo, 13*(1), 14. https://doi.org/10.1186/s13227-022-00201-9
29. **Le Moigne, R., Subra, F., Karam, M., & Auclair, C.** (2020). The β-carboline harmine induces actin dynamic remodeling and abrogates the malignant phenotype in tumorigenic cells. *Cells, 9*(5), 1168. https://doi.org/10.3390/cells9051168
30. **Lepesme, P.** (1944). *Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés*. Paul Le Chevalier.
31. **Li, S., Cheng, X., & Wang, C.** (2017). A review on traditional uses, phytochemistry, pharmacology, pharmacokinetics and toxicology of the genus *Peganum*. *Journal of Ethnopharmacology, 203*, 127–162. https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.03.049

32. **Longstaff, B. C.** (1981). Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae): A critical review. *Protection Ecology, 3*, 83–130.
33. **MADRP.** (2013). *Statistiques agricoles*. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Algérie.
34. **Maire, R.** (1933). *Études sur la flore et la végétation du Sahara central*.
35. **Mohaddab, M., Genva, M., Fakiri, M., El-Goumi, Y., Zeroual, A., & Fauconnier, M.-L.** (2024). *Capparis spinosa*: A rich source of phenolic compounds—A comprehensive review of its phytochemistry, health benefits, and biotechnological applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 61*, 103409. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103409
36. **Moloudizargari, M., Mikaili, P., Aghajanshakeri, S., Asghari, M., & Shayegh, J.** (2013). Pharmacological and therapeutic effects of *Peganum harmala* and its main alkaloids. *Pharmacognosy Reviews, 7*(14), 199–212. https://doi.org/10.4103/0973-7847.120524
37. **N'Guessan, K., Kadja, B., Zirihi, G. N., Traoré, D., & Aké-Assi, L.** (2009). Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte d'Ivoire). *Sciences & Nature, 6*(1), 1–15.
38. **Oreopoulou, V., & Tzia, C.** (2007). Utilization of plant by-products for the recovery of proteins, dietary fibers, antioxidants and colorants. In *Utilization of by-products and treatment of waste in the food industry* (pp. 209–232). Springer.
39. **Ozenda, P.** (1991). *Flore et végétation du Sahara* (3e éd.). CNRS.
40. **Padrini, F., & Lucheroni, M. T.** (1996). *Le grand livre des huiles essentielles : Guide pratique pour retrouver vitalité, bien-être et beauté avec les essences et l'aromassage énergétique*. De Vecchi.
41. **Palermo, D., Giunti, G., Laudani, F., Palmeri, V., & Campolo, O.** (2021). Essential oil-based nano-biopesticides against *Tribolium confusum*. *Sustainability, 13*, 9746.
42. **Praloran, J. C.** (1971). *Les agrumes*. G.-P. Maisonneuve et Larose.
43. **Salami, M., Rahimmalek, M., Ehtemam, M. H., & Sabzalian, M. R.** (2016). Variation in bioactive compounds and anatomical characteristics of different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations as affected by self-pollination. *Journal of Applied Botany and Food Quality, 89*, 38–48.
44. **Sanogo, R., Diallo, D., Diarra, S., Ekoumon, C., & Bougoudougou, F.** (2006). Activité antibactérienne et antalgique des deux recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et la cystite au Mali. *Mali Médical, 21*(1), 18–24.
45. **Scotti, G.** (1978). *Les insectes et les acariens des céréales stockées*. AFNOR/ITCF.
46. **Shahrajabian, M. H., Sun, W., & Cheng, Q.** (2021). Improving health benefits with considering traditional and modern health benefits of *Peganum harmala*. *Clinical Phytoscience, 7*, 18. https://doi.org/10.1186/s40816-021-00255-7
47. **Sun, Y., Yang, T., & Wang, C.** (2023). *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry, 409*, 135258. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258
48. **Teuscher, E., Anton, R., & Lobstein, A.** (2005). *Plantes aromatiques*. Tec & Doc Lavoisier.
49. **Weidner, H., & Rack, G.** (1984). *Tables de détermination des principaux ravageurs des denrées entreposées dans les pays chauds*. GTZ.
50. **Yeoh, S., Shi, J., & Langrish, T. A. G.** (2008). Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels. *Desalination, 218*, 229–237.

51. **Yousefi, R., Ghaffarifar, F., & Dalimi, A. A.** (2009). The effect of *Alkanna tinctoria* and *Peganum harmala* extracts on *Leishmania major* in vitro. *Iranian Journal of Parasitology, 4*, 40–47.
52. **Zhu, Z., Zhao, S., & Wang, C.** (2022). Antibacterial, antifungal, antiviral, and antiparasitic activities of *Peganum harmala* and its ingredients: A review. *Molecules, 27*(13), 4161. https://doi.org/10.3390/molecules27134161