RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ÉCOLOGIE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Mastère Académique en Science de la Nature et de la Vie

Spécialité Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

Contribution à l'étude de l'activité biologique de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* (Asteraceae)

Présenté par : Amira Chaimaa Racha **et** Amrouche Manel

Devant le jury composé de :

Mme REMINI L.	M.C.B	Présidente	USDB1
Mme ALLAL L.	Professeur	Examinatrice	USDB1
Mme BABA-AISSA K.	M.A.A	Promotrice	USDB1
Mr MOUSSAOUI K.	M.A.A	Co-promoteur	USDB1

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2024/2025

Remerciements

Nous remercions tout d'abord **Allah** le tout puissant pour nous avoir donné la force, la volonté et le courage d'aller jusqu'au bout du rêve de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères à **Madame BABA AISSA K**., promotrice de ce mémoire, pour son accompagnement constant, sa disponibilité, sa confiance et ses conseils précieux. Votre bienveillance et votre dévouement ont été pour nous une source d'inspiration tout au long de cette recherche. Recevez l'expression de notre profond respect et de notre reconnaissance la plus sincère.

Nos remerciements s'adressent également à **Madame REMINI L**., pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider ce jury, ainsi qu'à **Madame ALLAL L**., pour avoir accepté d'évaluer ce travail avec attention.

Nous exprimons également notre profonde reconnaissance à **Monsieur MOUSSAOUI K**. pour sa passion communicative, son soutien constant, et l'enrichissement qu'il a apporté à notre parcours. Vos conseils avisés et votre engagement à nos côtés ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions avec considération l'ensemble des enseignants de la spécialité, qui nous ont transmis leur savoir avec rigueur et générosité tout au long de notre formation.

Nous remercions chaleureusement notre invité de soutenance **Monsieur GASMI M.** Pour sa présence et sa disponibilité. Il nous a apporté une aide précieuse. Nous lui sommes reconnaissants pour son soutien tout au long de ce projet.

Enfin, nous adressons notre gratitude la plus profonde à **nos familles**, pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leur présence bienveillante, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la concrétisation de ce travail.

DÉDICACE

À **Allah**, Le Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, en qui j'ai puisé la patience, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail. Qu'Il soit à jamais loué.

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux, leur soutien moral constant et leurs prières précieuses, qui ont accompagné chacun de mes pas.

À mes sœurs bien-aimées, **Maroua, Marieme, Mawada et Mahedia**, dont l'affection, les encouragements et la présence réconfortante ont été d'un grand soutien tout au long de ce parcours.

À ma grand-mère adorée, dont la tendresse, la sagesse et les prières ont été pour moi une source de paix et de lumière. Qu'elle trouve ici l'expression de mon attachement profond et de ma reconnaissance éternelle.

À mon amie fidèle, **Naïma,** pour son soutien sincère, sa bienveillance et sa présence précieuse à chaque étape.

À **Racha**, mon cher binôme, pour son engagement, sa détermination et l'esprit de complicité qui a rendu ce chemin plus doux et plus fort. Ce travail porte aussi la trace de ta générosité et de ta rigueur.

Et enfin, à mon homme caché, pour sa patience, sa présence rassurante et sa confiance indéfectible. Votre soutien discret mais essentiel a profondément marqué cette réussite.

Manel

DÉDICACE

Avant toute personne, je remercie A**llah** le tout puissant, et je dédie ce travail aux êtres les plus chers à mon cœur :

Mes parents. À ma mère, pour son amour inconditionnel, ses prières silencieuses. À mon père, pour sa confiance, son soutien discret mais solide, et tous ses sacrifices. Leur présence est mon pilier, et je leur dois bien plus que ce travail, ainsi qu'à ma sœur **Rym,** pour sa présence rassurante et ses encouragements.

Mes proches, qu'ils soient de la famille ou des amis, ceux qui ont été présents, dans les moments de stress, de fatigue, et parfois de découragement. Merci pour vos présences sincères. Votre amitié m'a portée plus que vous ne l'imaginez.

Un remerciement très spécial à mon binôme **Manel**, pour sa collaboration, sa patience et tous les efforts partagés, ton sérieux et ton esprit d'équipe. Merci d'avoir tenu bon avec moi jusqu'au bout.

Enfin, je remercie l'ensemble de mes enseignants, et plus particulièrement ceux qui m'ont accompagné durant ce mémoire. Leur disponibilité, leurs conseils, leur rigueur et leur bienveillance ont été essentiels dans l'aboutissement de ce travail.

Chaimaa Racha

Contribution à l'étude de l'activité biologique de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* (Asteraceae)

Résumé

Face aux limites des insecticides chimiques, l'usage de bioproduits d'origine végétale constitue une alternative prometteuse en lutte phytosanitaire.

Cette recherche a pour objectif d'évaluer l'activité biologique d'un bioproduit formulé à base d'huile essentielle extraite de *Senecio angulatus*, une plante envahissante récemment détectée en Algérie, et de proposer une alternative naturelle aux insecticides chimiques, en testant le pouvoir insecticide de cette huile essentielle contre les larves *Tuta absoluta*, ravageur majeur de la tomate.

La matière végétale a été collectée à Dellys-Sahel-Bouberak (wilaya de Boumerdès), et les larves extraites de feuilles de tomate infestées provenant d'une serre située à Fouka (wilaya de Tipaza). L'huile essentielle a été obtenue par hydro-distillation, avec un rendement de 0,019 %. Les bioessais ont été réalisés dans le temps, à différentes doses et par différents tests de toxicité (contact, répulsion et phytotoxicité).
Les résultats de cette étude ont révélé une différence significative entre les doses et le temps d'exposition avec ($P=0,002$; $P<0,05$) et une toxicité marquée, avec un taux de mortalité atteignant 83,80 % à la dose la plus élevée (D3) à 120 h d'exposition. La DL_{50} a été estimée à 1,31 g/ml, et le TL_{50} à 57,80 h pour cette même dose. En revanche, l'effet répulsif s'est avéré non significatif avec un taux de répulsion de – 21,67 %. Quant à l'analyse phytotoxique, elle indique une bonne tolérance de la bioformulation, avec des effets légers et limités sur les plants traités.

Ces résultats confirment un effet dose-dépendant et suggèrent que l'huile essentielle formulée de *Senecio angulatus* pourrait représenter une alternative prometteuse pour la gestion de *Tuta absoluta* en traitement par contact.

Mots clés : Bioinsecticide, Huile essentielle, *Senecio angulatus*, toxicité, *Tuta absoluta.*

Contribution to the Study of the Biological Activity of the Essential Oil of *Senecio angulatus (*Asteraceae*)*

Abstract

In light of the growing limitations associated with chemical insecticides, plant-derived bioproducts are increasingly seen as promising alternatives for sustainable pest management.

This study aims to evaluate the biological activity of a formulated bioproduct based on essential oil extracted from *Senecio angulatus*, an invasive plant species recently identified in Algeria. The investigation focuses on assessing its insecticidal potential against the larvae of *Tuta absoluta*, a major pest affecting tomato crops, in an effort to propose a natural alternative to synthetic insecticides.

Plant material was harvested from Dellys-Sahel-Bouberak (Boumerdès province), while *Tuta absoluta* larvae were collected from infested tomato leaves cultivated under greenhouse conditions in Fouka (Tipaza province). The essential oil was extracted by hydro-distillation, yielding 0.019%. Bioassays were conducted over time using different concentrations and toxicity tests, including contact, repellency, and phytotoxicity assessments.

The findings revealed significant differences across both dosage and exposure time ($P = 0.002$; $P < 0.05$), with pronounced toxicity observed. The highest dose (D3) led to a mortality rate of 83.80% after 120 hours. The calculated median lethal dose (LD_{50}) was 1.31 g/ml, and the median lethal time (LT_{50}) was 57.80 hours. In contrast, the repellent effect was not significant, with a repellency rate of –21.67%. Phytotoxic analysis showed that the formulation was generally well tolerated by the treated plants, producing only mild and limited symptoms.

Overall, the results support a dose-dependent response and suggest that the formulated essential oil of *Senecio angulatus* holds promise as a contact insecticidal agent for managing *Tuta absoluta* populations

Key words: Bioinsecticide, Essential oil, *Senecio angulatus*, Toxicity, *Tuta absoluta*

مساهمة في دراسة النشاط البيولوجي للزيت العطري لنبات *Senecio angulatus* (Asteraceae)

الملخص

في ظل محدودية استخدام المبيدات الكيميائية، أصبح اللجوء إلى المنتجات الحيوية ذات الأصل النباتي خيارًا واعدًا في مجال مكافحة الآفات الزراعية.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط البيولوجي لمنتج حيوي مُركّب يعتمد على الزيت العطري المستخلص من نبات *Senecio angulatus*، وهو نبات غازي تم رصده حديثًا في الجزائر، وذلك بهدف اقتراح بديل طبيعي لمبيدات الحشرات الكيميائية من خلال اختبار فعالية هذا الزيت ضد يرقات *Tuta absoluta*، والتي تُعد من الآفات الرئيسية لمحاصيل الطماطم.

تم جمع المادة النباتية من منطقة دلس-ساحل-بُوبراك (ولاية بومرداس)، بينما تم استخراج اليرقات من أوراق الطماطم المصابة، مأخوذة من بيت بلاستيكي واقع في فوكة (ولاية تيبازة). وتم الحصول على الزيت العطري بطريقة التقطير المائي، بنسبة استخلاص بلغت 0.019%.، أُجريت الاختبارات الحيوية على فترات زمنية مختلفة وبتركيزات متعددة وشملت اختبارات السمية بالملامسة والاختبارات ألطاردة واختبار السُميّة للنباتات المعاملة.

أظهرت نتائج الدراسة وجود فروق دالة بين التركيزات المستعملة وفترات التعرض (P=0.002) ؛(P<0.05)، كما كشفت عن سُميّة ملحوظة، حيث بلغت نسبة الوفيات 83.80% عند أعلى تركيز (D3) بعد 120 ساعة من المعالجة. وقد تم تقدير الجرعة القاتلة النصفية (DL50) بـ1.31 غ/مل، وزمن الموت النصفي (TL50) بـ57.80 ساعة لنفس التركي أما التأثير الطارد فقد تبين أنه غير دال، حيث لم تتجاوز نسبة الطرد –21.67%. وبالنسبة لتحليل السُميّة النباتية، فقد أظهر تحملًا جيدًا للمنتج الحيوي، مع تأثيرات خفيفة ومحدودة على النباتات المعالجة.

تشير هذه النتائج إلى وجود علاقة طردية بين الجرعة والتأثير الحيوي، وتقترح إمكانية اعتماد الزيت العطري المُركّب من *Senecio angulatus*كخيار بديل واعد في مكافحة *Tuta absoluta* عبر المعالجة بالملامسة.

الكلمات المفتاح: مبيد حيوي ، زيت عطري ، *Senecio angulatus*، السُميّة، .*Tuta absoluta*

Liste des figures

Figure 1. Carte de la production mondiale de tomates par pays..... **3**
Figure 2. Production de tomates industrielles en Algérie..... **4**
Figure 3. Cycle de vie de *Tuta absoluta*..... **7**
Figure 4. Dégâts de*Tuta absoluta* sur la tomate..... **8**
Figure 5. Perspectives de croissance du Marché des Biopesticides (2023-2031)..... **11**
Figure 6. Extraction par entrainement à la vapeur..... **13**
Figure 7. Les stations d'observation de *Senecio angulatus* en Algérie du Nord..... **16**
Figure 8. Description botanique de *Senecio angulatus L.*..... **17**
Figure 9. Chromatogramme et principaux composés de l'huile essentielle de *Senecio angulatus*..... **19**
Figure 10. Carte de localisation régionale de Sahel Bouberak wilaya de Boumèrdes..... **20**
Figure 11. Diagramme ombrothermique de la région Sahel Bouberak (Boumerdès)..... **21**
Figure 12. Serre de la culture de tomate..... **22**
Figure 13. Récolte des feuilles de tomate infestées..... **23**
Figure 14. Extraction des larves de *Tuta absuluta*..... **23**
Figure 15. Les larves de *Tuta absoluta* extraites..... **24**
Figure 16. Transplantation des plantules de tomates..... **25**
Figure 17. Protection des plantes transplantées par un insecte-proof..... **25**
Figure 18. Aspect de la plante étudiée : *Senecio angulatus*..... **26**
Figure 19. Extraction de l'huile essentielle *Senecio angulatus*..... **27**
Figure 20. Bioformulations liquides à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* et solution témoin positif..... **28**
Figure 21. Préparation des différents traitements..... **29**
Figure 22. Feuilles traitées par contact..... **30**
Figure 23. Application de l'essai répulsif..... **31**
Figure 24. Schéma récapitulatif du test de phytotoxicité de la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus*..... **32**
Figure 25. Taux de mortalité de Tuta absoluta par contact sous l'effet de l'huile essentielle de *Senecio angulatus*..... **37**
Figure 26. État des plants avant et après traitements à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus.*..... **40**
Figure 27. Analyse de la variance (ANOVA) des taux de mortalité de *Tuta absoluta* en fonction du temps et des doses par contact, illustrée par un box plot..... **41**
Figure 28. Box plot des taux de répulsion de Tuta absoluta en réponse au bioproduit à base de *Senecio angulatus.*..... **42**

Liste des tableaux

Tableau 1. Principaux ravageurs de la culture de la tomate et leurs impacts **5**
Tableau 2. Classification taxonomique de *Tuta absoluta* **6**
Tableau 3. Effets de *Tuta absoluta* sur la tomate et conséquences..... **8**
Tableau 4. Classification botanique de *Senecio angulatus* **18**
Tableau 5. Teneurs estimées en principaux composés phytochimiques dans les feuilles de *Senecio angulatus*. **19**
Tableau 6. Tableau climatique de Sahel Bouberak..... **21**
Tableau 7. Pourcentage de répulsion (PR %) évalué et classé selon l'échelle de répulsivité. **31**
Tableau 8. Taux de répulsion des adultes de *Tuta absoluta* en fonction des doses du bioproduit à différents temps d'observation **38**
Tableau 9. Classement du bioproduit de Senecio angulatus. **38**
Tableau 10. Moyenne des scores phytotoxiques observés chez les plants de tomate traités avec les doses D2 et D3 de la bioformulation. **39**
Tableau 11. Résultats de l'ANOVA des taux de mortalité selon le temps d'exposition et les doses par mode de contact. **40**
Tableau 12. Analyse de variance (ANOVA) du test de l'effet répulsif du bioproduit à base de Senecio angulatus sur *Tuta absoluta.* **41**
Tableau 13. Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) du test de phytotoxicité. **43**
Tableau 14. Toxicité(DL50) du bioproduit de *Senecio angulatus*..... **44**
Tableau 15. Toxicité(DL50) du témoin positif sur les larves de *Tuta absuluta* **44**
Tableau 16. Les valeurs de la TL50 évaluées pour les trois doses de la bio formulation du bioproduit de *Senecio angulatus*. **45**
Tableau 17. Les valeurs de TL50 évaluées pour les trois doses du témoin positif. . **46**

Liste des abréviations

% : Pourcentage

C° : Degré Celsius

DL50 : Dose létale 50

FAO : Organisme de la nation unie pour l'alimentation

G : Gramme

H : heures

HE : Huile essentielle

L : Litre

MC% : Mortalité corrigée

MO : Mortalité observée

Ml : Millilitre

Mg : Milligramme

Nt : Nombre traité

USD : United States Dollar

PR% : Pourcentage de répulsion

T : Température

TL50 : Temps létal 50

Sommaire

Remerciements.

Dédicace.

Résume.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste d'abréviation.

Introduction……1

Chapitre I Synthèse bibliographique

Partie 1 : la tomate *Solanum lycopersicum* et son état sanitaire 3

I.1.1 Importance de la culture de la tomate 3

I.1.2 Principaux ravageurs de la tomate 4

I.1.3 Généralités sur les Gelechiidae et *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) 5

I.1.3.1 Taxonomie 6

I.1.3.2 Origine et répartition géographique 7

I.1.3.4. Dégâts causés par l'insecte 8

I.1.4 Méthodes de lutte 9

I.1.4.1. Lutte physique 9

I.1.4.2. Lutte chimique 9

I.1.4.3. Lutte biologique 9

Partie 2 : Les biopesticides 10

I.2.1 Définition : 10

I.2.2. Les caractéristiques des biopesticides 10

I.2.3. Le marché des biopesticides 11

I.2.4. Les huiles essentielles 12

I.2.4.1 Historique des huiles essentielles 12

I.2.4.2 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles 12

I.2.4.3 Méthodes d'extraction des huiles essentielles 13

I.2.4.4 Le rôle des huiles essentielles 14

I.2.4.5 La formulation et son intérêt 15

I.2.5. La plante étudiée 15

I.2.5.1. Historique et présentation de *Senecio angulatus* 15

I.2.5.2. Description botanique de Senecio angulatus 16
I.2.5.3. Classification botanique de *Senecio angulatus* 17
I.2.5.4. Constituants chimiques de *Senecio angulatus* 18

Chapitre II Matériel et méthodes

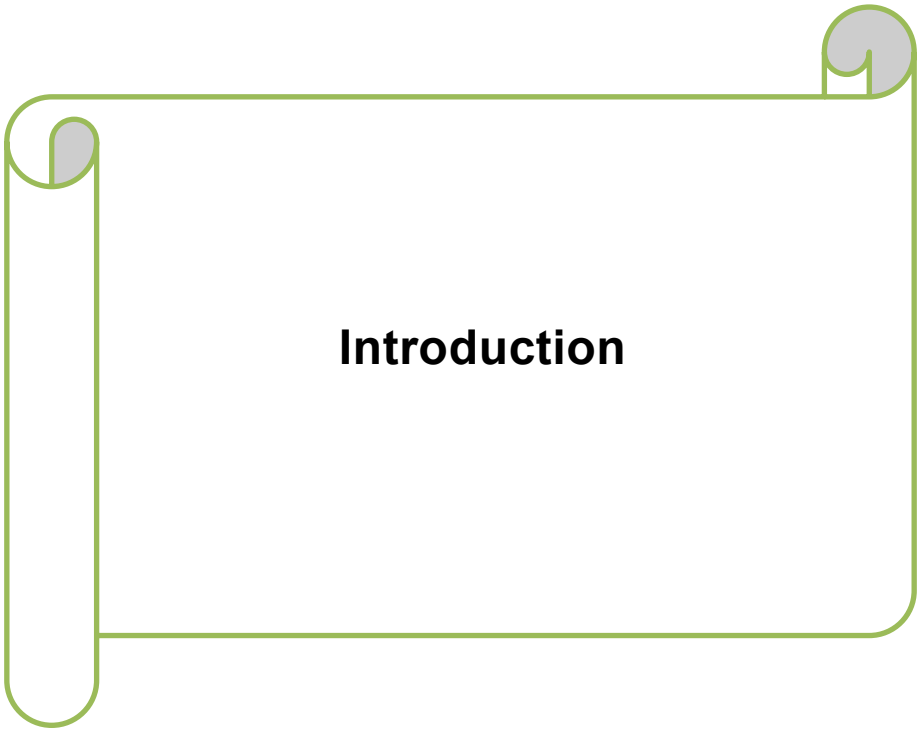
II.1. Présentation de la région d'étude 20
II.2. Synthèse climatique 21
II.3. Lieu de l'expérimentation 21
II.4. Matériel utilisé 22
II.4.1. Matériel de laboratoire 22
II.4.2. Matériel biologique 22
II.4.2.1. Matériel animal 22
II.4.2.2. Méthodologie de l'extraction des larves de *Tuta absoluta* 23
II.4.3. Matériel végétal 24
II.4.3.1. Transplantation des plantules de tomate 24
II.4.3.2. La récolte de *Sencio angulatus* 25
II.4.3.3. Extraction de l'huile essentielle 26
II.5. Méthodes 27
II.5.1. Estimation du rendement en huile essentielle 27
II.5.2. Formulation de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* 27
II.5.3. Préparation des traitements 28
II.5.3.1. Préparation des doses pour les tests de toxicité 28
II.5.3.2. Test d'évaluation de la toxicité par contact 29
II.5.3.3. Test d'évaluation de l'effet répulsif 30
II.5.3.4. Test de phytotoxicité 32
II.6. Analyse des données 33
II.6.1. Dénombrement 33
II.6.2. Estimation de la mortalité observée 33
II.6.3. Estimation de la mortalité corrigée 33
II.7. Calcul des doses létales 50 34
II.8. Calcul des temps létaux 50 34
II.9. Analyse de la variance 35

Chapitre III Résultats

III.1. Le rendement en huile essentielle de *Senecio angulatus* 36
III.1.1. Fluctuation des taux de mortalité du *Tuta absoluta* par mode contact 36
III.1.2. Effet répulsif du bioproduit sur *Tuta absoluta* 37
III.1.3. Évaluation de la phytotoxicité de la bioformulation d'huile essentielle de *Senecio angulatus* 38
III.2. Analyse de la variance 40
III.2.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité du bioproduit de *Senecio angulatus* et le témoin positif par mode contact sur les larves de *Tuta absuluta* .. 40
III.2.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité du bioproduit de *Senecio angulatus* par mode répulsif sur les larves de *Tuta absuluta* 41
III.2.3. Analyse de la variance pour le test phytotoxicité du bioproduit de *Senecio angulatus* sur les plants de tomates 43
III.3. Doses létales DL_{50} : 43
III.3.1. Doses létales DL_{50} de l'huile essentielle formulée 43
III.3.2. Doses létales DL_{50} du Témoin positif : 44
III.4. Temps létal TL_{50} 45
III.4.1. Temps létal TL_{50} de l'huile essentielle formulée 45
III.4.2. Temps létal TL_{50} du Témoin positif 45

Chapitre IV Discussion

IV.1. Rendement en huile essentielle de *Senecio angulatus* 47
IV.2. Activité insecticide par contact sur *Tuta absoluta* 48
IV.3. Effet combiné dose testée, la durée d'exposition et le mode d'application 49
IV.4. Effet répulsif de la bioformulation sur *Tuta absoluta* 51
IV.5. Test de phytotoxicité de la bioformulation sur les feuilles de tomate 51
IV.6. Doses létales (DL_{50}) et temps létaux (TL_{50}) 52
Conclusion générale 54
Références bibliographiques 56
Annexe.


Introduction

Introduction

La tomate *Solanum lycopersicum* représente l'une des cultures maraîchères majeures à l'échelle mondiale, en raison de sa richesse nutritionnelle, de sa valeur commerciale et de son rôle dans le développement local **(Rodríguez et *al*., 2023).**

En Algérie, elle occupe une place dominante dans les systèmes agricoles, en particulier dans les exploitations maraîchères sous serre **(Allache et *al*., 2012)**. Toutefois, cette culture est confrontée à de nombreuses menaces phytosanitaires, dont l'une des plus sérieuses est *Tuta absoluta* Meyrick, 1917, un microlépidoptère originaire d'Amérique du Sud **(Campos, et *al*., 2017)**.

Depuis son introduction en Europe puis en Afrique du Nord, *Tuta absoluta* s'est rapidement propagée dans les zones de culture de la tomate, provoquant des pertes de rendement pouvant dépasser 80 % en l'absence de mesures de lutte adéquates **(Desneux, et *al*., 2010)**. Sa capacité à se multiplier rapidement, à se cacher dans différentes parties de la plante et à résister à plusieurs familles d'insecticides chimiques rend sa gestion extrêmement complexe **(Rasheed, et *al*., 2018)**.

Sa propagation rapide sur le territoire algérien a conduit à un stress important sur les cultures maraîchères, entraînant des pertes agricoles importantes et obligeant le recours à des mesures de lutte intensives **(Zaid et *al*., 2019).**

Face à cette situation préoccupante, la lutte chimique reste le moyen le plus couramment utilisé par les agriculteurs **(Ben-Husin, 2017)**. Cependant, son efficacité est de plus en plus remise en question en raison de l'apparition de populations résistantes et des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine **(Rasheed, et *al*., 2018)**. Des recherches récentes ont souligné les dangers liés à l'accumulation de résidus chimiques dans les sols et les nappes phréatiques, ainsi que leur toxicité potentielle pour les organismes non ciblés ***(*Pistocchi et *al*., 2023*)***.

Dans ce contexte, le recours à des alternatives écologiquement durables, telles que la valorisation des plantes spontanées à effet insecticide, qui contiennent une diversité de composés bioactifs susceptibles d'interférer avec le cycle biologique des insectes ravageurs et de réduire leur population est très recherché **(Nicot et *al*., 2003 ; Bouchelta et *al*., 2020)**.

En effet, le développement des biopesticides et des substances naturelles issues de sources biologiques, en particulier les huiles essentielles d'origine végétale suscite un intérêt croissant **(Campos, et *al.*, 2017)**. Ces composés naturels présentent des propriétés insecticides, répulsives, ovicides et parfois antifongiques, qui les rendent potentiellement efficaces dans la lutte intégrée contre *Tuta absoluta* **(Abbas, 2014)**.

De plus, les huiles essentielles présentent l'avantage d'être biodégradables, disponibles localement, et généralement considérées comme sûres pour l'environnement et la santé humaine, ce qui les rend compatibles avec les principes de l'agriculture durable **(Bouchelta et *al.*, 2020).** Toutefois, malgré leur potentiel, l'efficacité des biopesticides reste variable et sujette à plusieurs limitations **(Asadi et *al.,* 2023)**.

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons spécifiquement à la valorisation d'une plante envahissante *Senecio angulatus* (L. 1781), nouvellement détectée en Algérie par l'estimation de son activité biologique.

Cette approche vise à proposer une alternative viable aux insecticides conventionnels, en testant l'activité biocide d'une bioformulation à base d'huile essentielle de cette plante à l'égard des larves de *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) selon différentes concentrations et durées d'exposition ainsi que leur préférence alimentaire

Cette recherche répondrait ainsi à plusieurs interrogations principales telles que :

- Quel pourrait être l'effet d'une bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* sur les larves de *Tuta absoluta*, en fonction du mode d'application ?
- Est-ce que l'utilisation de différentes doses de ce bioproduit entraînerait une efficacité variable selon le temps d'exposition ?
- Cette formulation exercerait-elle une action répulsive sur les larves de l'insecte ciblée *Tuta absoluta* ?
- Est-ce que l'application de ce bio insecticide aurait un impact visible sur l'état sanitaire de la plante traitée ?

Chapitre I
Synthèse bibliographique

Partie 1 : la tomate *Solanum lycopersicum* et son état sanitaire

I.1.1 Importance de la culture de la tomate

La culture de la tomate *Solanum lycopersicum* occupe une place stratégique dans l'agriculture mondiale, tant pour sa valeur économique et social **(Bulatova, 2023)**. En 2022, la production mondiale de tomates fraîches a été estimée à environ 186 millions de tonnes, confirmant ainsi sa position parmi les principales cultures maraîchères à l'échelle mondiale **(FAO, 2023)**

La Chine demeure le principal producteur mondial, assurant à elle seule environ 35 **%** de la production globale, suivie par l'Inde, les États-Unis, la Turquie et l'Égypte **(Bulatova, 2023)**. Une part significative de cette production, soit près de 40 millions de tonnes, est destinée à l'industrie de transformation **(FAO et WPTC, 2023).**

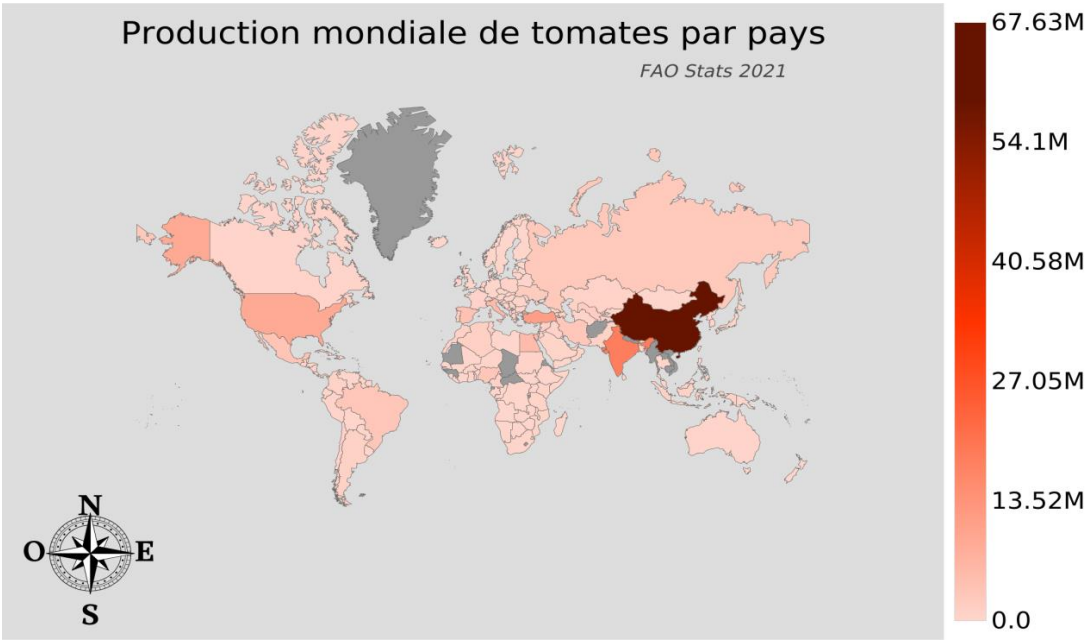


Figure 1. Carte de la production mondiale de tomates par pays **(AtlasBig, 2023).**

En 2024, l'Algérie a enregistré une production record de tomates, atteignant environ 2,7 millions de tonnes, grâce à l'extension des surfaces cultivées et à l'amélioration des techniques agricoles, notamment dans les régions à fort potentiel maraîcher **(eBourse.dz, 2024).**

Cette culture est aussi importante pour le secteur agroalimentaire local, car une grande partie de la récolte est destinée à la transformation industrielle, particulièrement sous forme de concentré **(Martins et Silva, 2020).**

Selon **Oerke (2006)**, les ravageurs, comprenant insectes, maladies, acariens ou mauvaises herbes, provoquent des pertes significatives en agriculture, tant en termes de rendement que de qualité des récoltes. À cela s'ajoutent les pertes dues aux attaques de ravageurs et agents pathogènes, qui peuvent causer d'importants dégâts économiques et altérer la qualité des fruits récoltés **(Bouzouina et *al.*, 2023)**.

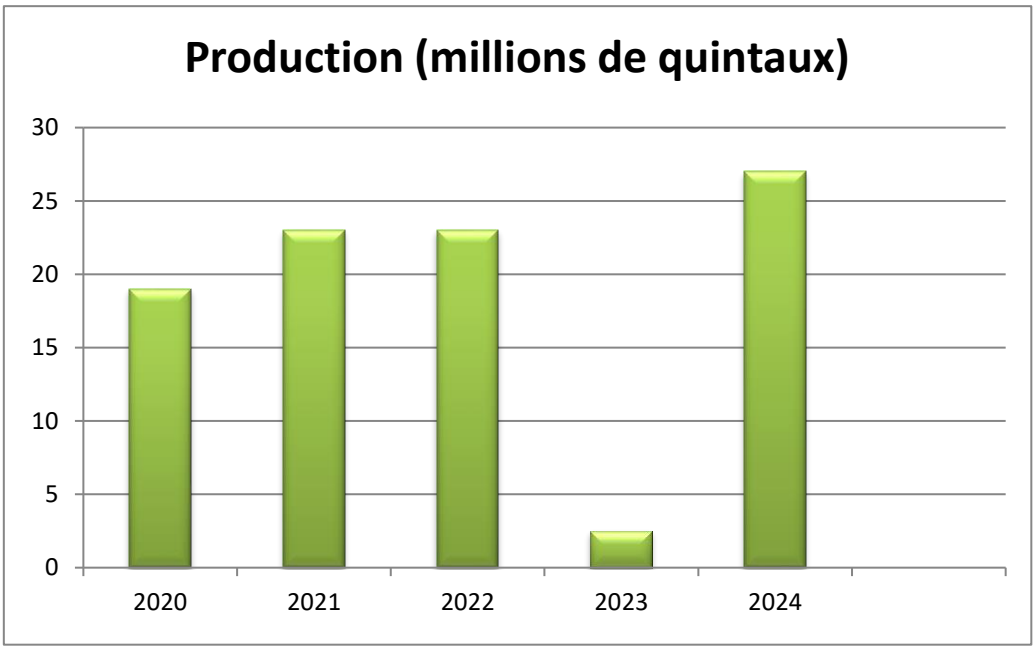


Figure 2. Production de tomates industrielles en Algérie **(2020–2024) (APS, 2021 ; eBourse.dz, 2024)**

I.1.2 Principaux ravageurs de la tomate

La culture de la tomate est confrontée à plusieurs ravageurs majeurs qui affectent la production et la qualité des fruits. Le tableau suivant présente les principaux insectes nuisibles rapportés dans diverses études. : La tomate (*Solanum lycopersicum*) et son état sanitaire.

Tableau 1. Principaux ravageurs de la culture de la tomate et leurs impacts

Nom scientifique	Nom commun	Famille	Type de dégâts principaux
Tuta absoluta	Mineuse de la tomate	*Gelechiidae*	Mine les feuilles, tiges, fruits ; pertes de rendement importantes
Bemisia tabaci	Aleurode	*Aleyrodidae*	Succion de sève, transmission de virus (TYLCV), miellat
Helicoverpa armigera	Noctuelle de la tomate	*Noctuidae*	Larves creusent les fruits ; dégâts directs
Liriomyza trifolii	Mouche mineuse	*Agromyzidae*	Galeries dans les feuilles, baisse photosynthèse
Nezara viridula	Punaise verte	*Pentatomidae*	Piqûres sur les fruits, déformation, nécroses
Spodoptera littoralis	Fausse-teigne du cotonnier	*Noctuidae*	Défoliation, attaque des fruits jeunes
Myzus persicae	Puceron vert du pêcher	*Aphididae*	Succion de sève, transmission virale, affaiblissement des plants
Frankliniella occidentalis	Thrips occidental	*Thripidae*	Déformation des feuilles, transmission de virus (TSWV)
Bactrocera zonata	Mouche des fruits	*Tephritidae*	Ponte dans les fruits, pourriture secondaire
Phthorimaea operculella	Teigne de la pomme de terre	*Gelechiidae*	Mine les tubercules, parfois les fruits de tomate

Source : D'après Campos et *al.* (2017), Desneux et *al.* (2010) et Guimapi et *al.* (2016).

I.1.3 Généralités sur les Gelechiidae et *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917)

Les Gelechiidae regroupent de nombreux petits papillons largement répandus dans le monde, dont plusieurs sont connus pour causer des dégâts considérables aux cultures agricoles. Leurs larves s'attaquent aux parties végétatives ou reproductrices des plantes, entraînant des pertes économiques importantes **(Karsholt et Riedl, 2020 ; Bado et *al.,* 2020)**. Parmi eux, *Tuta absoluta* est l'un des ravageurs les plus redoutés

des cultures de tomate. Elle s'est rapidement propagée dans de nombreuses régions agricoles, où elle cause des dégâts importants. Son cycle de vie court et sa reproduction rapide entraînent plusieurs générations annuelles, augmentant ainsi la pression sur les cultures et rendant sa gestion particulièrement complexe, aussi bien en serre qu'en plein champ **(Urbaneja et *al.*, 2009).**

I.1.3.1 Taxonomie

Le tableau ci-dessous présente la classification taxonomique de *Tuta absoluta*, selon les travaux de **Karadjova et *al.* (2021) :**

Tableau 2. Classification taxonomique de *Tuta absoluta*

Niveau taxonomique	**Classification de *Tuta absoluta***
Règne	*Animalia*
Embranchement	*Arthropoda*
Classe	*Insecta*
Ordre	*Lepidoptera*
Famille	*Gelechiidae*
Sous-famille	*Gelechiinae*
Genre	*Tuta*
Espèce	*Tuta absoluta* Meyrick, 1917

Source : Karadjova *et al.*, 2021.

Le cycle de vie de *Tuta absoluta* est fortement influencé par la température, ce qui accélère sa reproduction et facilite sa prolifération dans des environnements favorables **(Chabrol, 2009 ; INRAE, 2009 ; CIRAD, 2010).**

La femelle pond jusqu'à 300 œufs, principalement sur la face inférieure des feuilles, qui éclosent en 4 à 6 jours. La larve, stade où les dégâts sont les plus importants, se développe pendant 12 à 15 jours. La nymphose dure entre 5 et 10 jours

et peut se dérouler au sol, sur les feuilles ou les fruits. La durée de vie de l'adulte est d'environ 10 à 15 jours, mais peut être prolongée selon les conditions

Ainsi, le cycle complet s'achève en 24 à 38 jours, variant selon le climat **(CIRAD, 2010).**

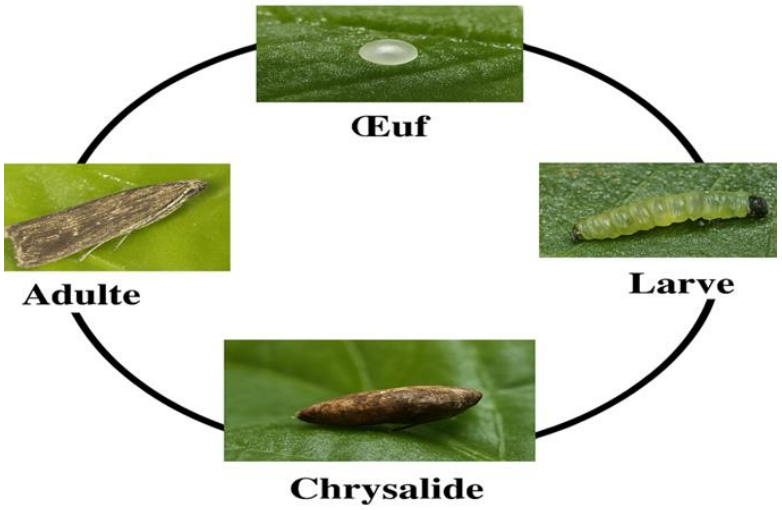


Figure 3. Cycle de vie de *Tuta absoluta* **(Bennour et *al*., 2021).**

I.1.3.2 Origine et répartition géographique

Tuta absoluta est originaire d'Amérique du Sud, notamment des régions andines comme le Pérou et l'Équateur **(Guéna et Frérot, 2011 ; Trdan et *al*., 2021)**. Elle a été détectée en dehors de son aire d'origine pour la première fois en Espagne en 2006, ce qui a marqué le début de sa propagation rapide vers les pays du bassin méditerranéen **(Desneux et *al*., 2010)**.

Depuis, elle s'est étendue à l'Afrique du Nord, l'Europe du Sud, le Moyen-Orient et certaines régions d'Afrique subsaharienne **(Trdan et *al*., 2021)**. Cette expansion est facilitée par le commerce mondial et la culture intensive de la tomate **(Javal et *al*., 2021)**.

Aujourd'hui, *Tuta absoluta* est considérée comme une espèce invasive majeure, difficile à contrôler par des moyens chimiques classiques **(Desneux et *al*., 2010 ; CIRAD, 2011)**

I.1.3.4. Dégâts causés par l'insecte

Tuta absoluta cause divers dégâts à la tomate, touchant plusieurs parties de la plante. Le tableau suivant présente ses impacts principaux **:**

Tableau 3. Effets de *Tuta absoluta* sur la tomate et conséquences

Aspect affecté	**Effets observés**
Stade de la plante	Présence de dégâts à tous les stades de croissance de la tomate, de la plantule jusqu'au fruit mûr.
Dégâts sur la plante	Galeries creusées dans les feuilles, les tiges et les fleurs ; réduction de la photosynthèse, chute des feuilles, et affaiblissement global.
Dégâts sur les fruits	Fruits présentant des perforations internes, rendant leur commercialisation impossible ; porte d'entrée à des pathogènes.
Rendement	Pertes de production importantes, allant jusqu'à 80 % dans certaines variétés sensibles (en conditions de plein champ).
Utilisation de pesticides	Recours fréquent à des mélanges d'insecticides chimiques, parfois inefficaces à cause du développement de résistances.
Impact écologique	Risque de déséquilibre écologique, réduction des auxiliaires naturels ; nécessité de recourir à des solutions plus durables.

Source : Ahmed *et al.*, 2023 ; Akat et Bayhan, 2024.

Figure 4. Dégâts de*Tuta absoluta* sur la tomate **(HortitecNews, 2016).**

I.1.4 Méthodes de lutte

I.1.4.1. Lutte physique

Les méthodes physiques visent à contrôler *Tuta absoluta* en modifiant les conditions environnementales **(Lecompte et Causse, 2014).** L'utilisation de filets anti-insectes sur les serres empêche l'entrée des adultes et limite la ponte **(Son et *al*., 2017).** De plus, la destruction mécanique des parties infestées est une pratique courante pour réduire la population larvaire **(Huang et *al*., 2024).** Le piégeage lumineux et les pièges à phéromones sont également employés pour surveiller et diminuer les populations **(N'Guessan et *al*., 2016).**

I.1.4.2. Lutte chimique

L'application d'insecticides synthétiques demeure l'une des méthodes les plus répandues contre *Tuta absoluta* **(Lecoq, 2018).** Ces traitements agissent rapidement mais doivent être utilisés avec précaution pour éviter la résistance des populations **(Arrab, 2016).** L'usage répété d'insecticides chimiques est problématique en raison de ses impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine **(Sanon et *al*., 2019**). Les fumigants et les pulvérisations foliaires sont couramment appliqués en conditions de serre et en plein champ **(Huang et *al*., 2024).**

I.1.4.3. Lutte biologique

La lutte biologique utilise des ennemis naturels de *Tuta absoluta* pour réguler sa population **(Camara, 2009).** Des parasitoïdes hyménoptères, comme *Trichogramma* spp., sont introduits pour parasiter les œufs de la mineuse **(Diome, 2014)**. Les prédateurs comme les coccinelles et certaines chrysopes contribuent aussi à réduire les larves **(Lecompte et Causse, 2014).** Par ailleurs, l'emploi d'huiles essentielles aux propriétés insecticides est une alternative écologique prometteuse **(Son et *al*., 2017).**

Partie 2 : Les biopesticides

I.2.1 Définition :

Les biopesticides sont des substances naturelles ou des micro-organismes employés pour combattre les ravageurs, issus de sources diverses telles que les bactéries, les champignons, les virus, les plantes, les animaux ou encore les minéraux **(Regnault-Roger et *al*., 2008)**. Également nommés pesticides biologiques, ils constituent une alternative encourageante aux pesticides de synthèse couramment employés dans les cultures agricoles et les systèmes de production végétale **(Copping et Menn, 2000)**. Leur emploi est accessible aussi bien aux producteurs agricoles professionnels qu'aux jardiniers amateurs, et comme les pesticides chimiques, leur commercialisation est soumise à une réglementation stricte, **(Chandler et *al*., 2011)**.

Comparés aux produits chimiques de synthèse, les biopesticides se distinguent par leur sélectivité et leur faible impact sur l'environnement et la santé humaine, ce qui en fait des outils favorisés pour une agriculture plus durable (**Mishra et *al*., 2015)**.

I.2.2. Les caractéristiques des biopesticides

Les biopesticides sont des produits phytosanitaires d'origine naturelle, issus de micro-organismes, d'extraits végétaux ou de substances biochimiques. Ils se caractérisent par une spécificité d'action ciblée, ce qui permet de préserver les organismes non ciblés et la biodiversité **(Singh et *al*., 2019).** Leur biodégradabilité rapide limite la contamination environnementale et la présence de résidus toxiques dans les cultures **(Kumar et *al*., 2020).** De plus, ils présentent une faible toxicité pour l'homme, les animaux et la faune sauvage **(Singh et *al*., 2019)**. L'usage des biopesticides réduit également le risque de développement de résistances chez les ravageurs, grâce à des modes d'action variés **(Kumar et *al*., 2020)**. Compatibles avec l'agriculture biologique, ils s'intègrent efficacement dans les stratégies de lutte intégrée pour une gestion durable des cultures **(FAO, 2021)**.

I.2.3. Le marché des biopesticides

Le marché mondial des biopesticides connaît une croissance soutenue, estimé à 8,12 milliards USD en 2023, et projeté à 13,01 milliards USD d'ici 2031, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 6,16 % **(InsightAce Analytic, 2024)**. Cette progression s'inscrit dans un contexte de transition vers une agriculture plus durable, où la demande pour des alternatives respectueuses de l'environnement se renforce. Les biopesticides, issus d'agents biologiques tels que les bactéries, champignons, virus ou extraits végétaux, permettent une action ciblée, réduisent les résidus chimiques et contribuent à la préservation de la santé des sols **(Spherical Insights et Consulting, 2024 ; Global Market Insights, 2024).**

Le développement du marché est stimulé par l'implication d'acteurs majeurs du secteur agrochimique, comme BASF, Bayer AG, Syngenta et Corteva. Ces entreprises investissent dans des solutions innovantes, intégrant les biopesticides dans les stratégies de lutte intégrée afin de mieux gérer la résistance des ravageurs, un enjeu central de la protection phytosanitaire moderne **(Data Bridge Market Research, 2024 ; The Insight Partners, 2024).**

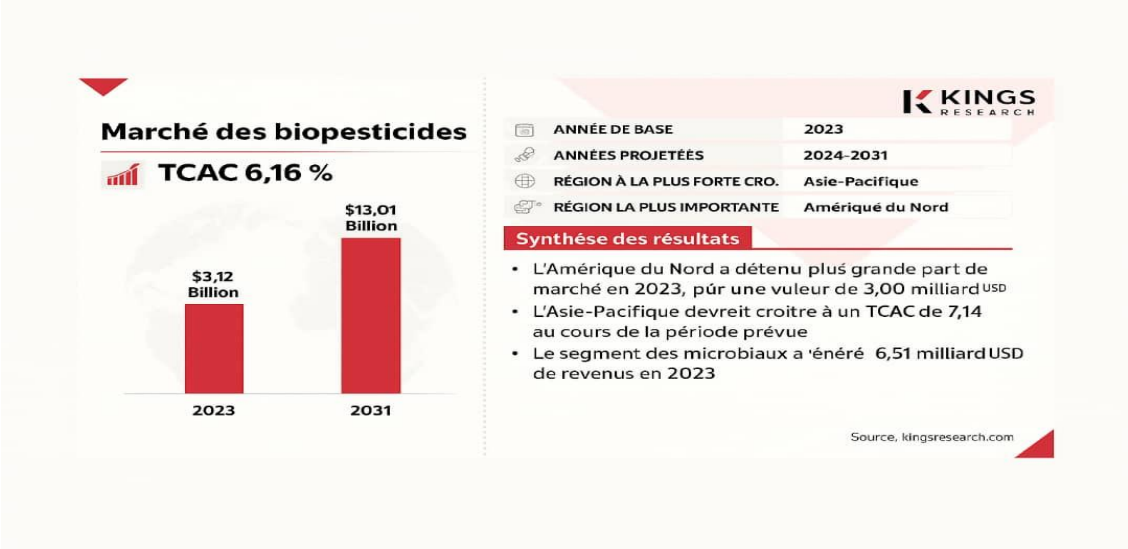


Figure 5. Perspectives de croissance du Marché des Biopesticides (2023-2031) **(Kings Research, 2023).**

I.2.4. Les huiles essentielles

I.2.4.1 Historique des huiles essentielles

L'histoire des huiles essentielles remonte à plusieurs millénaires et s'inscrit dans l'évolution des pratiques médicinales et rituelles des grandes civilisations. Dès l'Antiquité, les Égyptiens utilisaient des extraits de plantes aromatiques pour l'embaumement, les soins médicaux et la parfumerie, tandis que les civilisations chinoise et indienne recouraient à ces substances dans leurs pharmacopées traditionnelles, notamment dans la médecine ayurvédique **(Pénoël et Pieroni, 2019)**.

Les Grecs et les Romains poursuivirent cette tradition, intégrant les huiles essentielles dans les soins thérapeutiques et l'hygiène quotidienne. Au Moyen Âge, le perfectionnement des techniques de distillation dans le monde arabe permit d'extraire les essences végétales de manière plus efficace, posant les bases de la distillation moderne. Ce savoir fut transmis à l'Occident, où il s'intensifia à la Renaissance avec les travaux de médecins et apothicaires européens. L'ère contemporaine marque un tournant décisif avec les travaux de René-Maurice Gattefossé au début du XXe siècle, considéré comme le père de l'aromathérapie moderne après avoir démontré les propriétés cicatrisantes de l'huile essentielle de lavande **(Gattefossé, 1937)**. Depuis, les huiles essentielles ont connu un regain d'intérêt, soutenu par des recherches scientifiques sur leurs propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antioxydantes, les positionnant aujourd'hui comme des outils complémentaires dans les domaines médicaux, cosmétiques et agroalimentaires **(Verzera et *al*., 2004 ; Buchbauer, 2010 ; Tisserand et Young, 2014)**.

I.2.4.2 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent un ensemble de propriétés physico-chimiques caractéristiques qui influencent leur utilisation en pharmacologie, cosmétique, agroalimentaire et en biopesticides. Elles sont principalement constituées de molécules légères et volatiles, ce qui explique leur évaporation rapide à température ambiante **(Bakkali et *al*., 2008)**. Leur solubilité est limitée dans l'eau, mais elles se dissolvent facilement dans les solvants organiques tels que l'éthanol, l'hexane ou les huiles végétales **(Burt, 2004)**. Leur densité est généralement inférieure à celle de l'eau, oscillant entre 0,85 et 0,99 g/cm³, bien que certaines huiles riches en composés chlorés ou soufrés puissent avoir une densité supérieure **(Détrez, 2021)**.

De nombreuses huiles possèdent également un pouvoir rotatoire spécifique, lié à la présence d'énantiomères optiquement actifs. Enfin, en raison de leur faible point éclair (souvent inférieur à 70 °C), elles sont considérées comme inflammables, ce qui nécessite une manipulation et un stockage adaptés **(Miguel, 2010).**

I.2.4.3 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

L'extraction des huiles essentielles peut se faire par plusieurs techniques, chacune adaptée à la nature de la plante et à ses constituants volatils.

- **Distillation par entraînement à la vapeur**

C'est l'une des méthodes officielles les plus répandues. Le végétal est placé au-dessus de l'eau, sans contact direct, exposé à la vapeur d'eau saturée. Cette vapeur provoque l'éclatement des glandes contenant les composés aromatiques, qui sont entraînés et condensés. Les huiles sont ensuite séparées de l'eau par décantation. Cette méthode limite les réactions indésirables entre l'eau et les constituants volatils, mais est plus efficace pour les huiles situées à la surface des végétaux **(Bouras, 2018).**

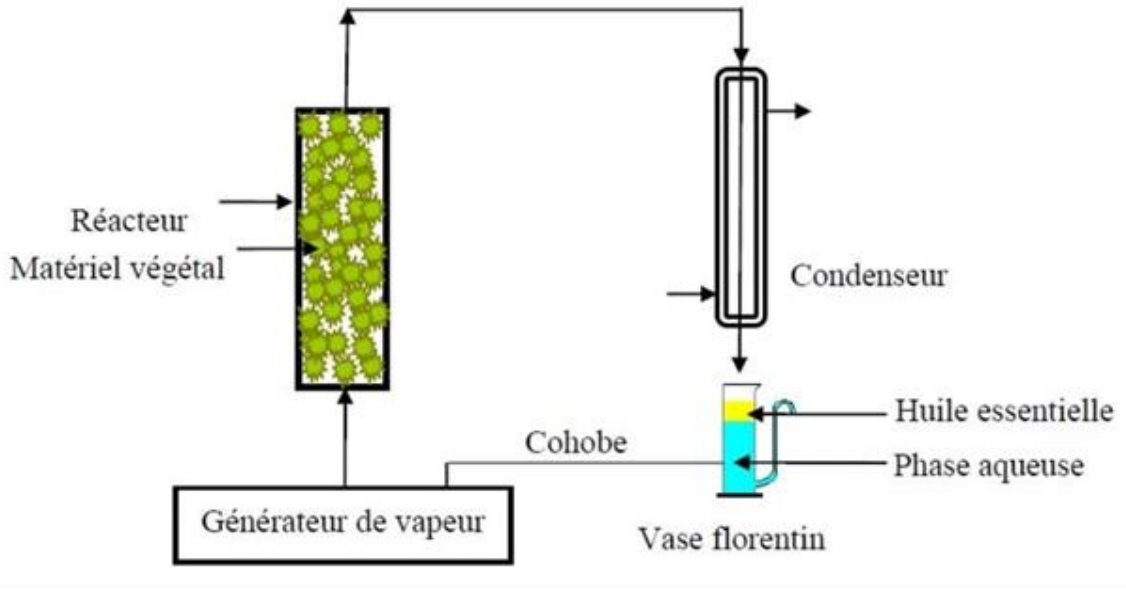


Figure 6. Extraction par entrainement à la vapeur **(Sahraoui, 2012)**

- **Hydrodistillation**

Dans l'hydrodistillation classique, la plante est immergée dans l'eau portée à ébullition. Deux variantes existent :

Vapo-hydrodistillation : l'eau est placée au fond de la cuve et traverse la matière première en s'évaporant.

Vapo-distillation : la vapeur est produite dans une chaudière extérieure avant d'atteindre la plante.

Les vapeurs aromatiques sont ensuite condensées et les huiles séparées dans un essencier **(Besombes, 2008).**

- **Hydrodistillation par micro-ondes**

Introduite dans les années 1990, cette méthode chauffe la plante par micro-ondes dans une enceinte sous vide. La vapeur générée par l'eau intrinsèque du végétal entraîne les composés volatils, qui sont ensuite condensés et décantés selon les techniques classiques **(Zenasni, 2014)**.

- **Expression à froid**

Cette technique est réservée aux agrumes. Elle consiste à extraire mécaniquement les essences volatiles contenues dans les péricarpes (mésocarpe) sans application de chaleur, ce qui permet de préserver la qualité des composés sensibles comme les aldéhydes. Les systèmes modernes, comme celui de la Food Machinery Corporation-in-line (FMC), permettent une extraction simultanée du jus et des huiles essentielles sans contact entre les deux. Cette méthode est préférée à la distillation pour les agrumes, qui y perdraient en qualité aromatique **(Belsito et *al*., 2007)**.

I.2.4.4 Le rôle des huiles essentielles

Les plantes produisent des huiles essentielles en tant que métabolites secondaires, jouant un rôle complexe dans leur physiologie et leur interaction avec l'environnement **(Bakkali et *al*., 2008)**. Longtemps considérées comme des sous-produits métaboliques, les recherches récentes montrent qu'elles participent activement à la régulation de divers processus physiologiques et écologiques **(Isman, 2020)**.

Outre leur fonction de défense contre les pathogènes grâce à leurs propriétés antimicrobiennes et antifongiques **(Kalemba et Kunicka, 2003)**, les huiles essentielles agissent comme répulsifs ou attractifs selon les espèces, influençant le comportement des insectes pollinisateurs ou ravageurs **(Picard et *al*., 2012).** Elles interviennent également dans la régulation de la croissance des plantes voisines par allélopathie, en inhibant la germination ou le développement des espèces concurrentes **(Singh et *al*., 2021).**

Certaines molécules volatiles des huiles essentielles sont aussi impliquées dans les mécanismes de résistance au stress abiotique, tels que la sécheresse, les variations thermiques ou l'irradiation UV (**Loreto et Schnitzler, 2010)**.

Enfin, leur émission peut être modulée en réponse à une attaque herbivore, jouant ainsi un rôle d'alerte chimique qui prépare les tissus non attaqués ou informe les plantes voisines d'un danger imminent **(Heil et Karban, 2010)**.

I.2.4.5 La formulation et son intérêt

D'après **Dauvrit et Cabanne (1993)**, les substances actives des produits phytosanitaires, responsables de l'effet biologique, sont rarement utilisées seules. Pour assurer leur efficacité et stabilité, elles doivent être associées à des formulant ou adjuvants, qui n'ont pas d'activité biologique propre mais jouent un rôle essentiel lors de l'application. Cette association, appelée formulation, est une étape industrielle clé qui améliore la stabilité, la facilité d'utilisation, la compatibilité avec les équipements, ainsi que la sécurité pour l'utilisateur et l'environnement. Parfois, des adjuvants sont ajoutés au moment de l'application pour renforcer l'efficacité ou l'adhérence du produit, soulignant ainsi l'importance capitale de la formulation dans la performance et la sécurité des produits phytosanitaires.

I.2.5. La plante étudiée

I.2.5.1. Historique et présentation de *Senecio angulatus*

Senecio angulatus L. est une espèce sud-africaine de la famille des Asteraceae, introduite comme plante ornementale dans de nombreuses régions du monde, notamment en Europe, en Australie, en Nouvelle-Zélande et en Amérique du Sud **(Csurhes et Edwards 1998 ; Groves et *al.* 2005 ; Dellucchi et *al*. 2016)**. Récemment, cette espèce a été observée pour la première fois en Algérie dans

plusieurs localités du nord du pays, telles que Sidi Aïch (Béjaïa), Chenoua (Tipaza), Ouled Fayet (Alger), Annaba et El Kala (El Tarf), où elle semble s'être naturalisée dans des biotopes anthropisés **(Miara et *al*., 2018)**. Cette espèce est caractérisée par une croissance rapide, une forte capacité de dispersion végétative, et une grande tolérance aux conditions édaphiques et climatiques **(Bergin, 2006 ; Andreani, 2014)**.

En tant qu'espèce envahissante, elle représente une menace pour la biodiversité locale et les écosystèmes naturels, en particulier dans les zones côtières, où elle peut dominer la végétation indigène et perturber la régénération des espèces locales **(Muyt, 2001 ; Weber, 2003 ; Miara et *al*., 2018)**. Par ailleurs, bien que toxique pour le bétail (Burrows & Tyrl, 2001), certaines études ont révélé un potentiel économique à travers ses huiles essentielles et leurs propriétés antioxydantes **(Andreani, 2014)**.

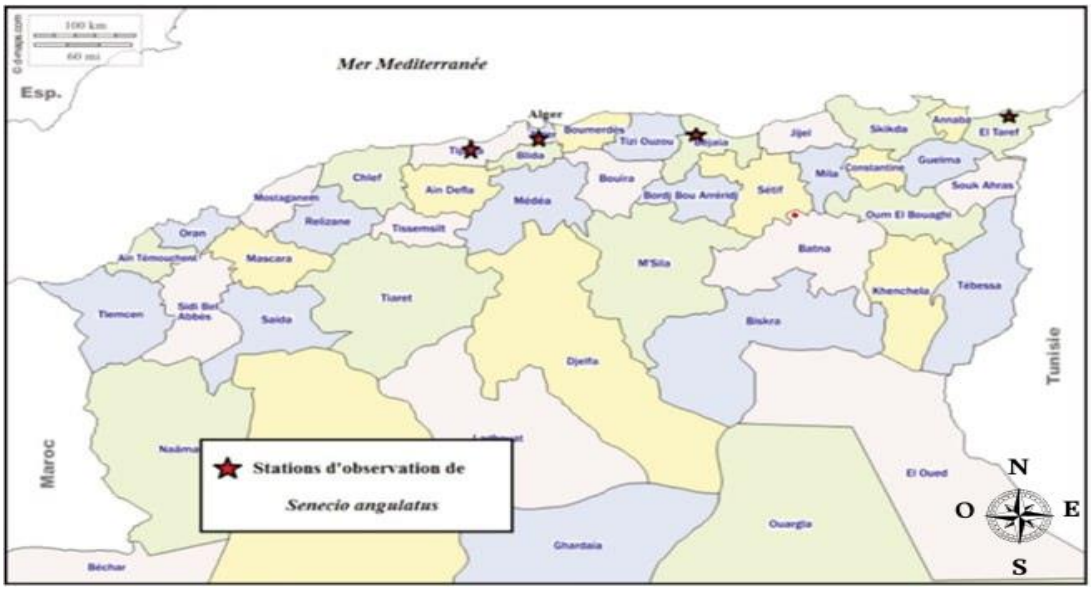


Figure 7. Les stations d'observation de *Senecio angulatus* en Algérie du Nord **(Miara et *al*., 2018).**

I.2.5.2. Description botanique de *Senecio angulatus*

Senecio angulatus est une espèce vivace, glabre, au port dressé ou grimpant, pouvant atteindre jusqu'à 3 mètres de hauteur. Elle se caractérise par des tiges cylindriques, striées longitudinalement, et une ramification abondante. Les feuilles, coriaces à charnues, sont alternes, portées par des pétioles mesurant de 1 à 3,5 cm de long. Le limbe, à nervation palmée, est de forme rhombique, ovale ou largement

deltoïde, mesurant de 3,5 à 5 cm de long sur 1,5 à 3,5 cm de large ; les marges sont dentées de façon espacée, parfois lobées à la base **(Jessop et Toelken, 1986).**

Selon le même auteur, l'inflorescence est constituée d'un corymbe cymeux terminal ou d'une panicule composée généralement de 8 à 12 capitules, avec des ramifications subdichotomes divergentes à un angle de 30 à 45°, de longueur à peu près équivalente. L'involucre est obconique, mesurant 5 à 7 mm de long pour 3 à 4 mm de large, formé de 7 à 8 bractées principales, accompagnées d'un calicule constitué de 3 à 4 bractéoles linéaires de 1 à 2 mm. Chaque capitule présente 4 à 6 fleurs ligulées (le plus souvent 5), dont les ligules mesurent environ 7 × 4 mm et sont marquées de 14 nervures ; le disque central contient 10 à 15 fleurs tubulées. Les fruits sont des akènes oblongs, de 2,2 × 0,5 mm, brun clair, portant des poils courts et dressés. Le pappus, de structure uniforme, est caduc.

Figure 8. Description botanique de *Senecio angulatus L*. **(Khamar et El Bakhouch, 2024)**

A) Aspect général de la plante ; B) Forme des feuilles ; C) Partie de l'inflorescence ; D) Capitule ; E) Fleur ligulée marginale ; F) Fleur tubulée du disque ; G) Style de fleur du disque

I.2.5.3. Classification botanique de *Senecio angulatus*

D'après **Hyde et *al.* (2024)**, *Senecio angulatus*, communément appelé séneçon anguleux ou lierre allemand, est une espèce grimpante vivace de la famille des Asteraceae, originaire d'Afrique du Sud. Cette plante ornementale, souvent cultivée pour couvrir murs et clôtures, se distingue par ses tiges volubiles, ses feuilles succulentes et ses fleurs jaunes en capitules qui apparaissent en automne et en hiver.

Toutefois, cette espèce est considérée comme potentiellement envahissante dans certaines régions méditerranéennes ou océaniques.

Selon **Quézel (1962) et Santa (1963)**, le genre *Senecio* est représenté dans la flore d'Algérie par 18 espèces, dont 5 sont endémiques. Toutefois, cette classification a été révisée par **Dobignard (2010) et Chatelain (2013)**, qui ont restreint les contours du genre, réduisant le nombre d'espèces reconnues à 13, parmi lesquelles seulement deux sont désormais considérées comme endémiques : *Senecio delphinifolius et Senecio gallerandianus.*

Tableau 4. Classification botanique de *Senecio angulatus*

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne :	*Plantae*
Classe :	*Equisetopsida*
Sous-classe :	*Magnolildae*
Super ordre :	*Asteranae*
Ordre :	*Asterales*
Famille :	*Asteaceae*
Sous-famille :	*Asteroideae*
Genre :	*Senecio*
Espèce :	*Senecio angulatus*

Source : Dobignard, 2010 ; Chatelain, 2013.

I.2.5.4. Constituants chimiques de *Senecio angulatus*

La composition chimique de *Senecio angulatus* n'a pas encore été explorée quantitativement. Des études préliminaires ont permis de déterminer la présence de plusieurs molécules bioactives, notamment des composés phénoliques tels que la cynarine, l'acide trans-férulique et l'acide chlorogénique, sans toutefois fournir de

valeurs précises pour leurs teneurs respectives **(Benabderrahmane, Bekhechi et Atik-Bekkara, 2021).**

Tableau 5. Teneurs estimées en principaux composés phytochimiques dans les feuilles de *Senecio angulatus*

Composés phytochimiques	**Teneur estimée (%)**
Alcaloïdes	0,200-0,300
Flavonoïdes	0,015-0,025
Composés phénoliques	0,040-0,060
Saponines	0,500-0,600
Tanins	0,020-0,030
Glycosides	0 ,050-0,070

Source : Egharevba *et al.*, 2015 ; Benabderrahmane *et al.*, 2021.

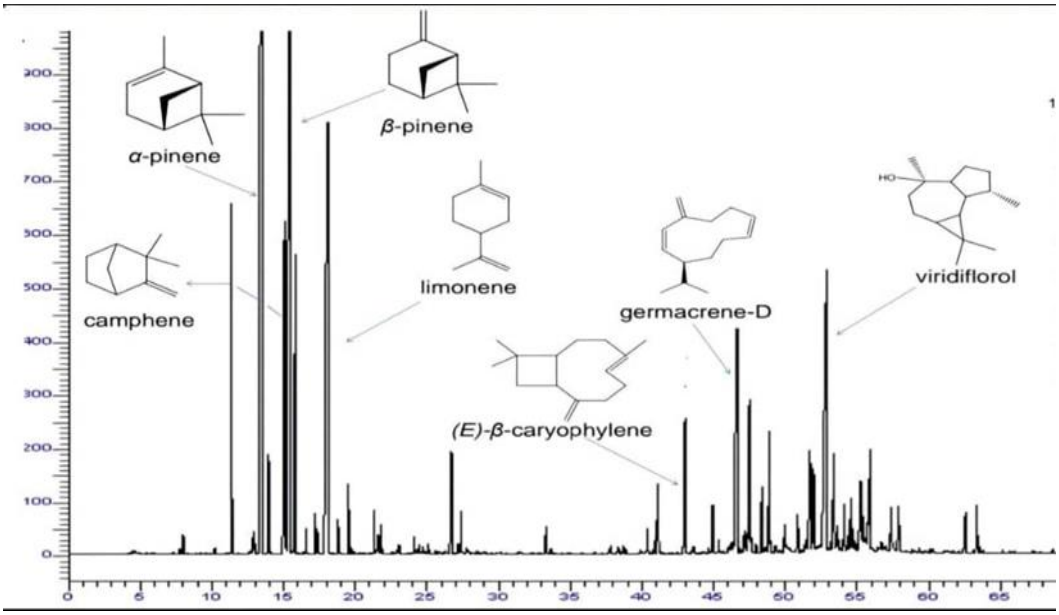


Figure 9. Chromatogramme et principaux composés de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* **(Anddreani et *al*., 2013).**

Chapitre II
Matériel et méthodes

L'objectif de cette étude est d'évaluer, dans les conditions de laboratoire, l'efficacité temporelle d'une bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* sur les larves de *Tuta Absoluta,* ravageur majeur des cultures de tomate en Algérie.

II.1. Présentation de la région d'étude

La wilaya de Boumerdès est située dans le nord de l'Algérie, au cœur de la région du Tell central, à environ 50 km à l'est d'Alger. Elle est délimitée géographiquement par la mer Méditerranée au nord, la wilaya de Tizi Ouzou à l'est, celle de Bouira au sud, Bordj Bou Arréridj au sud-est, et enfin la wilaya de Tipaza à l'ouest **(Ministère de l'Aménagement du Territoire, 2011)**. Elle couvre une superficie de 1 590 km², dont une grande partie est consacrée à l'agriculture, à la sylviculture et aux activités rurales **(Direction des Services Agricoles de Boumerdès, 2022).**

Notre zone d'étude est le Sahel de Bouberak, une localité située dans la région de Dellys, à environ 60 km à l'est d'Alger, dans la partie nord-est de la wilaya de Boumerdès, en bordure de la mer Méditerranée. Cette région dépend administrativement de la daïra de Dellys, qui regroupe les communes de Dellys, Afir et Ben Choud **(Institut National de Cartographie et de Télédétection, 2020 ; Belhadj et Bouazza, 2018).**

Figure 10. Carte de localisation régionale de Sahel Bouberak wilaya de Boumèrdes **(Google Earth ,2025).**

II.2. Synthèse climatique

D'après les données météorologiques relevées pour l'année climatologique 2024, il est possible de dresser le diagramme ombrothermique de la région de Sahel Bouberak, située dans la bande côtière orientale de la wilaya de Boumerdès.

Tableau 6. Tableau climatique de Sahel Bouberak.

Mois	Jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	Aoû	spt	oct	nov	dec
Température M(°C)	12,5	12,5	14,5	16,5	19,5	24	27,5	28	25,5	21,5	16,5	13,5
Précipitations M(mm)	89	45	75	51	33	17	0,7	2	23	36	128	84

Source : WeatherSpark, 2024.

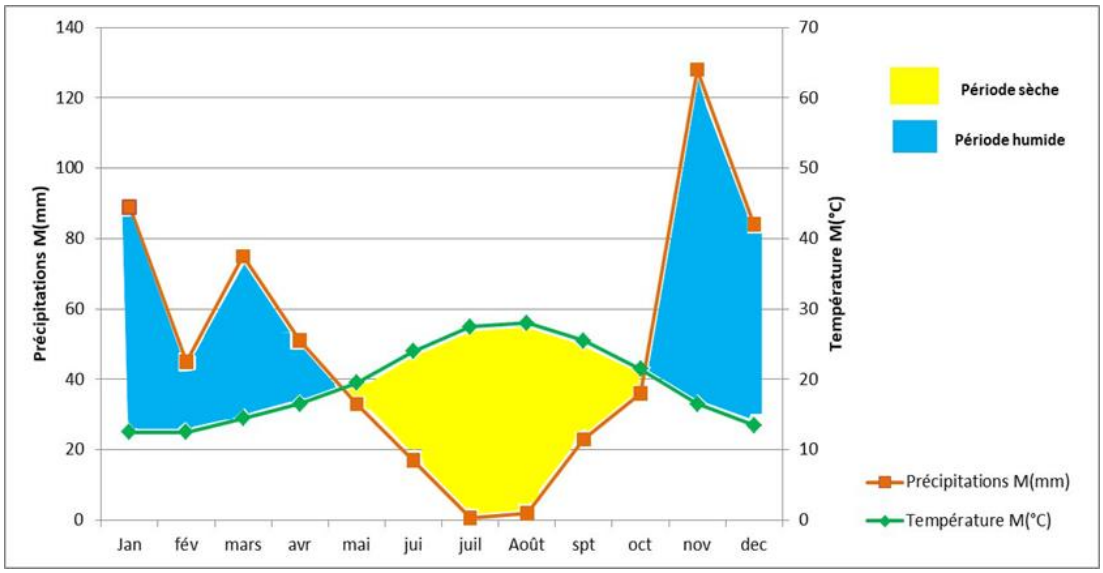


Figure 11. Diagramme ombrothermique de la région Sahel Bouberak (Boumerdès).

Selon le diagramme ci-dessus, on constate la présence d'une période sèche d'environ 6 mois, s'étendant de la mi-mai à la mi-octobre, durant laquelle les précipitations sont faibles et les températures restent relativement élevées et de deux périodes humides dont la première s'étale du mois de janvier à la mi-mai et la seconde de la mi-octobre au mois de décembre. Cette période se caractérise par des températures plus basses et une reprise des précipitations.

II.3. Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au sein du département de Biotechnologies et Agro-écologie (BAE) de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'Université de Blida 1.

II.4. Matériel utilisé

II.4.1. Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé lors de cette étude se résume principalement à Un appareil d'extraction (distillateur), micropipette graduée, Bouteilles en plastique, Flacons en plastique, Boites de pétri en plastique**,** Une loupe, Microscope**,** Bécher, Papier Waltman, papier parafilm, coton, pinceau, pince, seringue.

II.4.2. Matériel biologique

II.4.2.1. Matériel animal

Dans le cadre de cette étude, le matériel biologique utilisé pour l'évaluation de l'efficacité des préparations phytosanitaires est exclusivement constitué de larves de *Tuta absoluta*, prélevéés sur des plants de tomate infestés, cultivés. Sous serre à la Ferme Boufajar n°90, située à Fouka, dans la wilaya de Tipaza. Ce site s'étend sur deux hectares et compte une trentaine de serres.

Figure 12. Serre de la culture de tomate **(Originale ,2025).**

Après la collecte des feuilles infestées et leur mise dans des sacs en papier préalablement étiquetés, ces échantillons ont été transportés au laboratoire de zoologie du département de (BAE) où une extraction des larves a été réalisée en vue de leur utilisation dans les différentes expérimentations prévues.

Figure 13. Récolte des feuilles de tomate infestées **(Originale, 2025).**

II.4.2.2. Méthodologie de l'extraction des larves de *Tuta absoluta*

Les feuilles de tomate infestées ont été observées à l'aide d'une loupe binoculaire avec un grossissement (G x 0,8) afin de localiser les mines contenant les larves dans les galeries foliaires. Ces dernières ont été ouvertes avec précaution à l'aide d'une épingle entomologique stérile, permettant de faire ressortir les larves du tissu végétal. Celles-ci ont été extraites minutieusement à l'aide d'une pince fine, puis mises dans des boîtes en plastique perforées lesquelles contenaient un bout de coton humidifié pour maintenir une hygrométrie adéquate, ainsi que quelques feuilles de tomate fraîches et saines servant de nourriture, de manière à préserver les conditions de survie des larves jusqu'à leur utilisation dans les essais expérimentaux prévus.

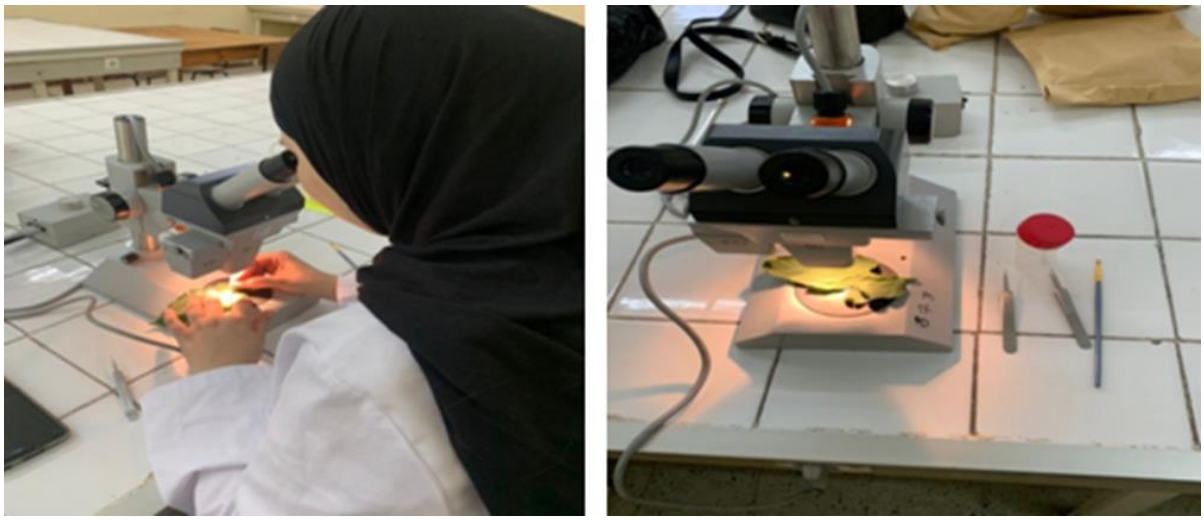


Figure 14. Extraction des larves de *Tuta absuluta* **(originale, 2025)**

Figure 15. Les larves de *Tuta absoluta* extraites **(Originale ,2025).**

II.4.3. Matériel végétal

II.4.3.1. Transplantation des plantules de tomate

Selon **Hartmann et *al.* (2011),** la transplantation est une étape cruciale pour favoriser le bon développement des jeunes plants.

Au stade cinq (3-4) feuilles, les plantules gracieusement fournies par un producteur de la tomate de la région de Fouka, sont repiquées à l'aide d'un transplantoir dans des boites en plastique remplies d'un substrat constitué d'un mélange de 2/3 de terre végétale plus 1/3 de tourbe. Chaque plantule a été retirée délicatement de son alvéole, puis placée dans un trou préformé au centre du pot. Une fois installée, le substrat a été légèrement tassé autour de la base, puis arrosé généreusement pour assurer un bon contact entre les racines et le sol, condition essentielle pour une reprise rapide.

Cette opération a été réalisée avec soin afin de limiter le stress aux plantules. Les pots sont alors placés sur une grande table dans la serre pédagogique du département de (BAE) où l'irrigation est faite par un arrosoir manuel. Dans le but de prévenir toute infestation, un tulle à maille fine a été utilisé comme insecte-proof pour recouvrir les plants. Ces derniers, ont bénéficié d'un suivi régulier afin de disposer de plants adaptés pour les différents tests prévus dans notre étude.

Figure 16. Transplantation des plantules de tomates **(Originale ,2025).**

Figure 17. Protection des plantes transplantées par un insecte-proof **(Originale ,2025).**

II.4.3.2. La récolte de *Sencio angulatus*

La partie aérienne de *Senecio angulatus* a été récoltée au cours de la saison printanière (avril 2025) dans la région de Sahel Bouberak, relevant de la commune de Dellys, wilaya de Boumerdès. Le matériel végétal fraîchement collecté a été soigneusement secoué pour la débarrasser des impuretés et étalée dans un endroit sec et bien aéré, avant d'être découpée en fragments en vue de l'extraction de l'huile essentielle.

Figure 18. Aspect de la plante étudiée : *Senecio angulatus* **(Originale, 2025).**

II.4.3.3. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée au niveau de l'unité Bio Extrapamal, située à Ouled Alleug, dans la wilaya de Blida. L'opération a été effectuée à l'aide d'un distillateur d'une capacité de 500 litres, couplé à une chaudière à vapeur fonctionnant au gasoil.

La méthode utilisée est celle de l'entraînement à la vapeur d'eau, qui ne met pas en contact direct le matériel végétal (*Senecio angulatus*) avec l'eau. Les parties aériennes de la plante, pesant 70 kg, sont disposées sur une grille perforée, placée à une hauteur adéquate au-dessus du niveau d'eau dans la cuve du distillateur. L'eau est ensuite portée à ébullition, générant une vapeur à environ 100 °C. Cette vapeur traverse la masse végétale et entraîne les composés aromatiques volatils.

La vapeur chargée en essence est dirigée vers un système de refroidissement, où elle subit une condensation, passant de l'état gazeux à l'état liquide. Le distillat est récupéré dans un essencier en verre, puis transféré dans une ampoule à décanter. Le mélange se sépare naturellement en deux phases non miscibles par différence de densité : une phase aqueuse inférieure, appelée hydrolat, et une phase huileuse supérieure, correspondant à l'huile essentielle.

L'huile essentielle ainsi obtenue est collectée avec précaution, puis conservée dans des flacons en verre opaque, à une température de 4 °C, afin de préserver ses propriétés physico-chimiques et biologiques.

Figure 19. Extraction de l'huile essentielle *Senecio angulatus* **(Originale ,2025).**

A : Remplissage de la cuve B : Dispositif d'extraction par entrainement à la vapeur C : Le rendement d'huile essentielle.

II.5. Méthodes

II.5.1. Estimation du rendement en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle correspond au rapport entre le volume d'huile essentielle obtenue et la masse sèche de la matière végétale utilisée lors de l'extraction **(Belyagoubi, 2006)**. Il s'exprime en pourcentage et se calcule selon la formule suivante :

Avec :

$$\text{Rd HE (\%)} = (V/M\ MV) \times 100$$

Rd HE (%) : rendement en huile essentielle exprimé en pourcentage.

V : volume d'huile essentielle en gramme.

M MV : La masse de la matière végétale utilisée (sèche).

II.5.2. Formulation de l'huile essentielle de *Senecio angulatus*

L'huile essentielle extraite de *Senecio angulatus* a été utilisée pour élaborer un bioproduit concentré à 9 % de matière active, sous forme liquide. La préparation a été réalisée au laboratoire de phytopharmacie du département des biotechnologies et agroécologie, en s'appuyant sur le protocole défini par **Moussaoui et *al*. (2014).** Le processus de formulation comprend l'ajout d'un tensioactif naturel pour assurer une bonne dispersion de l'huile dans l'eau, ainsi qu'un agent protecteur destiné à renforcer la stabilité et l'activité du produit. Ce mode de formulation vise à assurer la stabilité du

bioproduit et améliorer l'efficacité de l'huile essentielle sur les ravageurs cibles tout en facilitant son application en conditions expérimentales.

Parallèlement à cette préparation, un témoin positif a également été conçu en utilisant la même formulation mais sans matière active c'est-à-dire sans huile essentielle afin de servir de référence dans les tests biologiques.

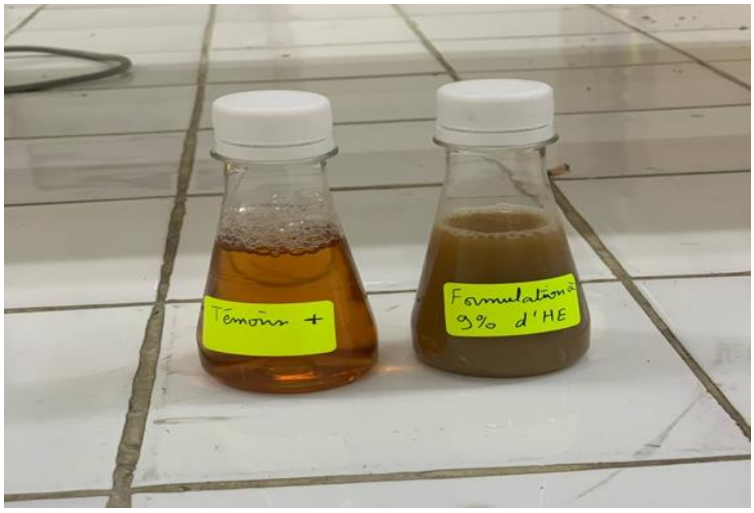


Figure 20. Bioformulations liquides à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* et solution témoin positif **(Originale, 2025).**

II.5.3. Préparation des traitements

II.5.3.1. Préparation des doses pour les tests de toxicité

À partir de la bioformulation mère concentrée à 9 % d'huile essentielle de *Senecio angulatus*, trois doses (D1, D2 et D3) ont été préparées pour les essais biologiques par contact résiduel et l'effet répulsif. Ces dilutions ont été réalisées en prélevant à l'aide d'une micropipette de l'eau distillée afin d'obtenir des concentrations finales respectives de 1 %, 1,5 % et 2 %.

- Dose 1 (D1) : 22 ml de la solution mère complétés par 178 ml d'eau distillée pour obtenir une solution finale de 100 % concentré à 1%
- Dose 2 (D2) : 33 ml de bioproduit ont été dilués dans 167 ml d'eau distillée, correspondant à une concentration de 1,5 %.
- Dose 3 (D3) : 44 ml de bioproduit ont été dilués dans 156 ml d'eau distillée pour atteindre une concentration de 2 %.

Cependant, les mêmes doses ont été reproduites pour le témoin positif.

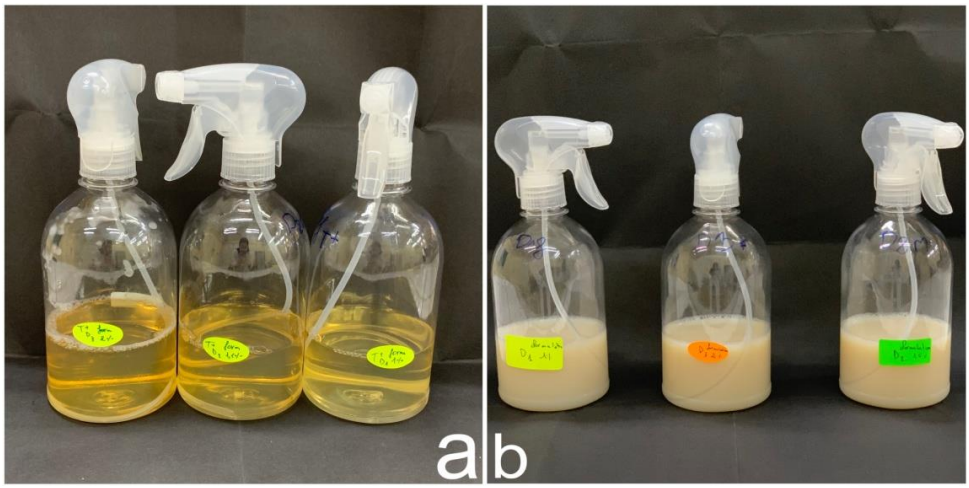


Figure 21. Préparation des différents traitements **(Originale, 2025).**

(a) : du témoin positif ; (b) : de la bioformulation d'huile essentielle de *Senecio angulatus*

II.5.3.2. Test d'évaluation de la toxicité par contact

Le test par contact a été réalisé en se basant sur une méthode inspirée de **Tapondjou et *al.* (2005)**.

Des disques de papier filtre Whatman ont été découpés à un diamètre de 9 cm pour correspondre à la taille des boîtes de Pétri. Chaque disque a été placé au fond d'une boîte. Des feuilles de tomate ont ensuite été plongées pendant 2 minutes dans les différentes doses à tester (D1 (1 %), D2 (1,5 %) D3 (2 %) ainsi que dans la solution témoin positive (T^+), puis laisser les feuilles traitées égoutter pendant 1h de temps sur un papier buvard.

Trois feuilles traitées ont été placées dans les boites de Pétri préalablement étiquetées et contenant du coton imbibé d'eau afin d'assurer leur humidification. Sept larves de *Tuta absoluta* ont été placées sur les feuilles. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque dose, chaque répétition étant composée de quatre boîtes de Pétri entourées chacune de para film. Au total une répétition de 12 boites pour chaque dose testée.

Le même test a été réalisé avec un témoin négatif (T^-) remplaçant les traitements précédents par de l'eau distillée.

Afin de suivre la mortalité larvaire et d'évaluer l'efficacité du bioproduit testé, des observations ont été réalisées à différents intervalles de temps à savoir 24h, 48h, 72h, 96 et enfin 120h.

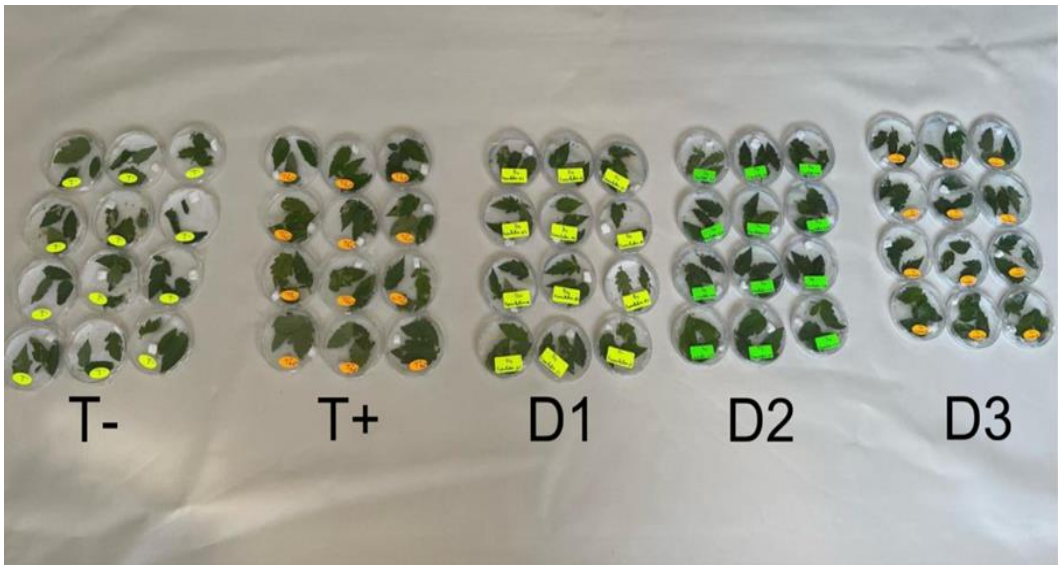


Figure 22. Feuilles traitées par contact **(originale ,2025).**

II.5.3.3. Test d'évaluation de l'effet répulsif

L'évaluation de l'effet répulsif de l'huile essentielle a été réalisée à l'aide d'un bioessai de choix alimentaire inspiré du protocole proposé par **McDonald et *al.* (1970)**. Un volume de 20 ml de chacune des doses de la bioformulation testée (D1, D2, D3) et du témoin positif (T+) a été prélevé et versé dans des boîtes de Pétri où des disques foliaires de tomate préalablement découpés à l'aide d'un emporte-pièce métallique de 3cm de diamètre ont ensuite été immergés dans chaque solution pendant 15 minutes. Après immersion, les disques ont été retirés des solutions et laissés sécher sur du papier buvard pendant une heure.

Les disques non traités du (T-) ont été immergés uniquement dans de l'eau distillée selon la même procédure.

Une fois secs, deux disques, l'un traité et l'autre non ont été placés simultanément dans une boîte de Pétri et une larve de *Tuta absoluta* a été déposée au centre de chaque boîte.

Des répétions de 10 boites ont été préconisées pour chaque traitement, soit un total de 60 boîtes expérimentales. La direction et le contact initial des larves ont été observés et notés juste après leur dépôt au centre des boites.

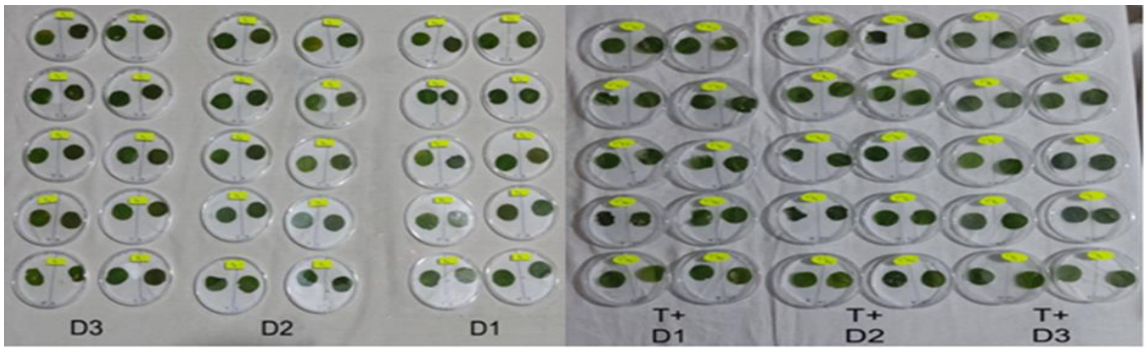


Figure 23. Application de l'essai répulsif **(Originale, 2025).**

Le pourcentage de répulsion (PR%) a été calculé selon la formule suivante :

Pourcentage de répulsion (PR%) = [(NC – NT) / (NC + NT)] × 100

Avec :

NC : nombre de l'individu présent sur la partie du disque non traitée.

NT : nombre de l'individu présent sur la partie du disque traitée avec la dose

Tableau 7. Pourcentage de répulsion (PR %) évalué et classé selon l'échelle de **McDonald et *al*. (1970)**

Classe	Intervalle de PR (%)	Propriété de la substance traitée
Classe 0	PR ≤ 0,1 %	Non répulsive
Classe I	0,1 < PR ≤ 20 %	Très faiblement répulsive
Classe II	20 < PR ≤ 40 %	Faiblement répulsive
Classe III	40 < PR ≤ 60 %	Modérément répulsive
Classe IV	60 < PR ≤ 80 %	Répulsive
Classe V	80 < PR ≤ 100 %	Très répulsive

Source : McDonald *et al.*, 1970.

II.5.3.4. Test de phytotoxicité

Le test de phytotoxicité est une méthode essentielle pour évaluer l'effet potentiel de substances naturelles ou synthétiques sur la physiologie et la santé des plantes **(Duke et *al.*, 2002 ; Singh et *al.*, 2003).** Il permet d'identifier d'éventuelles réactions négatives telles que des nécroses, des décolorations ou un ralentissement de la croissance.

Dans le cadre de cette étude, ce test a été réalisé six semaines après la transplantation des plants de tomates *Solanum lycopersicum L.*, afin d'évaluer la tolérance des plantes à une bioformulation d'origine naturelle. Deux doses ont été testées : la dose moyenne (D 2) et la forte dose (D 3), chacune appliquée sur 9 pots recevant une pulvérisation foliaire uniforme de 10 ml de bioformulation à l'aide d'un pulvérisateur manuel, jusqu'à léger ruissellement. Les observations ont été effectuées 24 heures après l'application, en recherchant d'éventuels signes de phytotoxicité tels que des brûlures foliaires, un affaissement, une chlorose ou d'autres manifestations de stress physiologique.

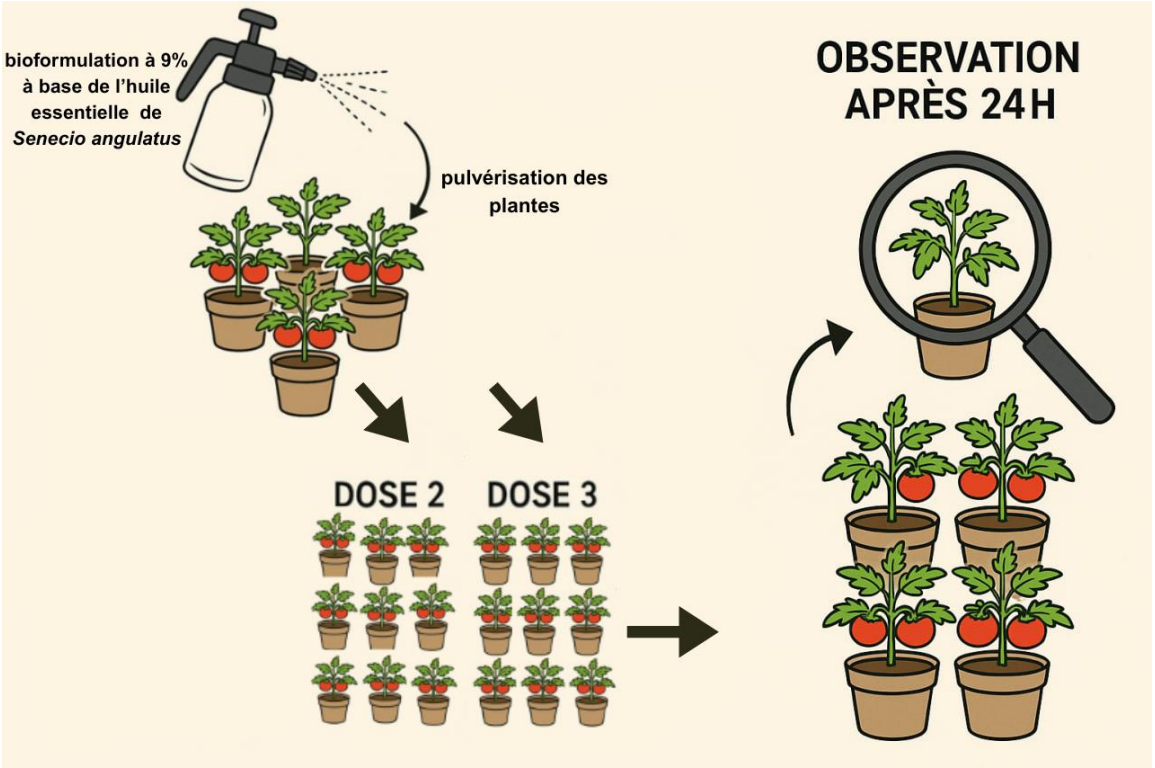


Figure 24. Schéma récapitulatif du test de phytotoxicité de la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus*.

II.6. Analyse des données

II.6.1. Dénombrement

Le dénombrement des larves mortes a été réalisé selon le temps d'exposition. À chaque temps de suivi, les larves de *Tuta absoluta* ont été examinées une par une à l'aide d'une pince et d'une épingle. Une stimulation légère a été appliquée pour distinguer les individus vivants des morts. Les insectes ne montrant aucune réaction ont été enregistrés comme morts.

II.6.2. Estimation de la mortalité observée

Le pourcentage de mortalité observée chez les insectes traités et non traités a été calculé en utilisant la formule suivante :

Mortalité observée=100× (Nombre des individus morts /Nombre total des individus)

II.6.3. Estimation de la mortalité corrigée

L'analyse de l'efficacité d'un produit insecticide nécessite de distinguer la mortalité causée par le traitement de celle survenue naturellement. Pour cela, la formule **d'Abbott (1925)** est utilisée afin de corriger les taux de mortalité observés. Cette méthode permet de soustraire la mortalité naturelle observée dans le témoin, offrant ainsi une estimation plus précise de l'effet réel du produit testé.

$$MC\% = [(M - Mt) / (100 - Mt)] \times 100$$

Avec :

MC (%) : le pourcentage de mortalité corrigée.

M (%) : le Pourcentage des morts dans la population traitée.

Mt (%) : le Pourcentage des morts dans la population témoin.

II.7. Calcul des doses létales 50

La dose létale 50 (DL_{50}) représente la quantité d'un produit toxique nécessaire pour entraîner la mort de 50 % des individus d'un même groupe biologique **(Cavelier, 1976)**. On la calcule en traçant une droite de régression avec, en ordonnée, les probits des mortalités corrigées, et en abscisse, les logarithmes décimaux des doses **(INRS, 2000)**. La table de Bliss **(in Cavelier, 1976)** sert à transformer les pourcentages de mortalité en probits. On représente ces probits sur un graphique en utilisant le logarithme des doses pour déterminer la DL_{50}. Cette dose est calculée à partir de l'équation de la droite de régression, qui a la forme Y = ax + b, où Y est le probit **(Tayeb et *al.*, 2007).**

II.8. Calcul des temps létaux 50

Le temps létal 50 (TL_{50}) correspond au temps nécessaire pour que 50 % des individus d'une population meurent après exposition à une substance toxique. Ce paramètre est estimé en traçant une droite de régression entre les probits des mortalités corrigées et les logarithmes des temps d'exposition **(Haouel et *al.*, 2010).**

La transformation des pourcentages de mortalité en probits utilise la table de Schneider **(Ramade, 2007)**. L'équation de la droite de régression, souvent calculée à l'aide d'un logiciel comme Excel, permet de déterminer précisément le TL50

$$MC = [(M2 - M1) / (100 - M1)] \times 100$$

Avec :

MC : % de mortalité corrigée

M2 : % de mortalité dans la population traitée

M1 : % de mortalité dans la population témoin

II.9. Analyse de la variance

L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec le logiciel Past **(Hammer et *al.*, 2001)**. Cette méthode, applicable lorsque la distribution des données est normale, permet de tester la signification des différences entre plusieurs groupes. Les variations entre traitements sont évaluées selon un seuil de 5 % : une valeur de P supérieure à 0,05 indique une différence non significative, tandis qu'une valeur inférieure à 0,05 montre une différence significative.

Chapitre III
Résultats

Dans cette partie sont présentés les résultats correspondant à l'étude de l'effet insecticide de l'huile essentielle formulée de *Senecio angulatus* sur les larves de *Tuta absoluta*.

Pour évaluer l'efficacité de l'huile essentielle, différents modes d'application ont été réalisés : le test par contact, le test de répulsion et un test de phytotoxicité. Ces essais ont permis d'observer à la fois le comportement des larves et leur réponse à l'exposition aux différentes doses des traitements dans le temps.

III.1. Le rendement en huile essentielle de *Senecio angulatus*

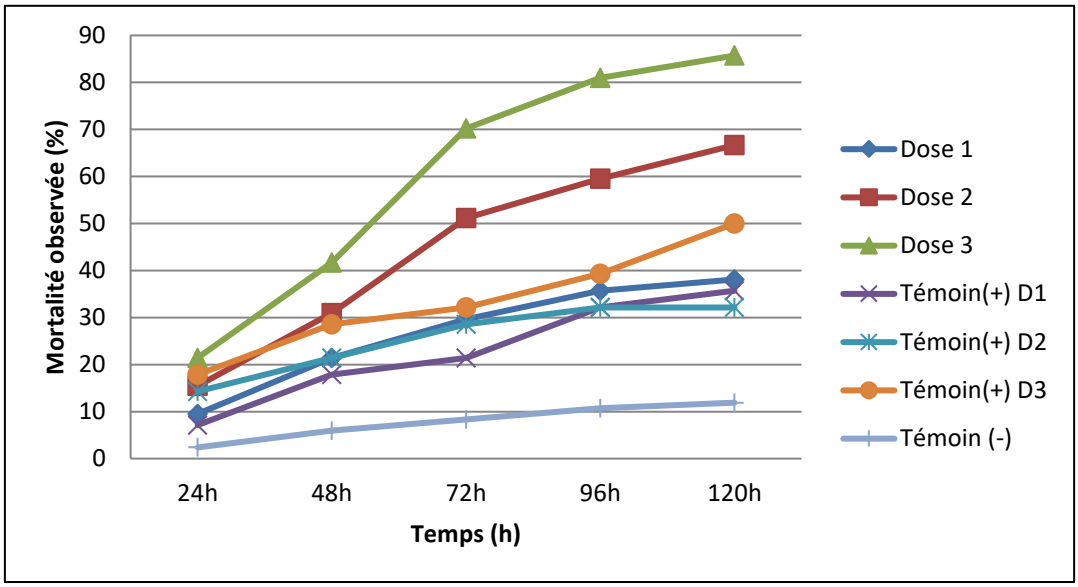
L'huile essentielle extraite par entraînement à la vapeur d'eau à partir de 70 kg de matière végétale de *Senecio angulatus* se présente sous forme d'un liquide avec une couleur jaune doré à ambrée, fluide, dégageant une odeur aromatique intense et pénétrante. Le rendement obtenu est de 0,019 %, correspondant à un volume total de 13 g d'huile essentielle.

III.1.1. Fluctuation des taux de mortalité du *Tuta absoluta* par mode contact

Les résultats graphiques de la figure 25 relatifs à l'application par contact de l'huile essentielle formulée de *Senecio angulatus* montrent une activité insecticide progressive selon le temps et la concentration. La dose la plus élevée (D3) se distingue par un effet rapide dès les premières 24 h, atteignant un taux de mortalité corrigée de 19,53 %, contre 13,43 % pour D2 et 7,32 % pour D1.

Une efficacité progressive est observée dans le temps. À 72 h, la mortalité corrigée atteint 67,5 % pour D3, contre 46,72 % pour D2 et 23,44 % pour D1. Après 120 h d'exposition, les valeurs les plus élevées sont observées avec un taux de 83,8 % pour D3, 62,29 % pour D2, et 29,7 % pour D1.

Les témoins positifs montrent une efficacité plus modérée, avec un taux maximal de 43,40 % à 120 h pour D3, tandis que les valeurs du témoin négatif restent très faibles, toujours en dessous de 12 %.



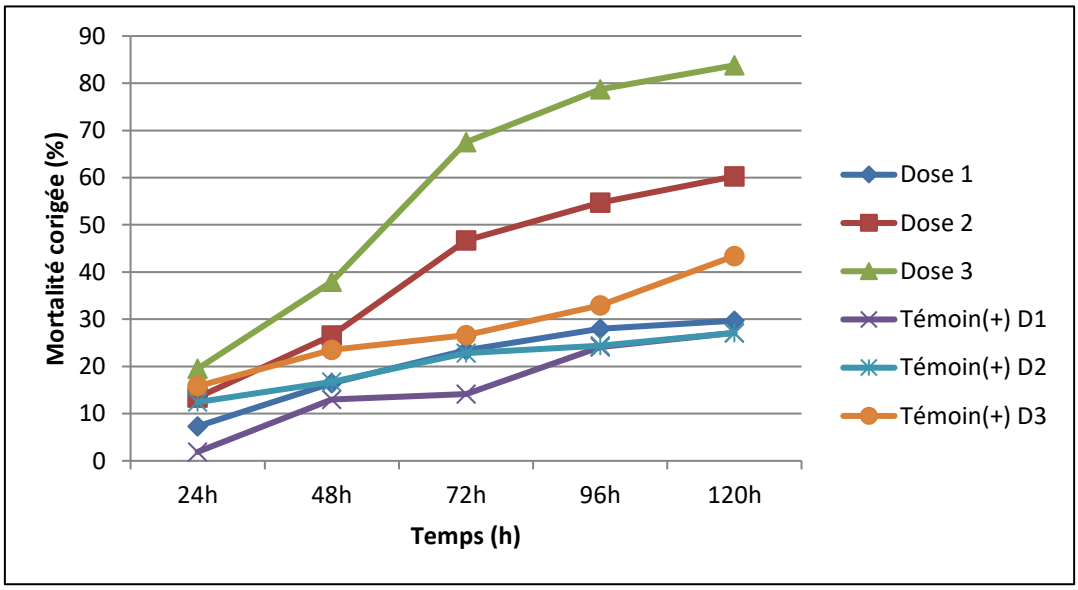


Figure 25. Taux de mortalité de *Tuta absoluta* par contact sous l'effet de l'huile essentielle de *Senecio angulatus*

III.1.2. Effet répulsif du bioproduit sur *Tuta absoluta*

Les doses D1, D2 et D3 de l'huile essentielle formulée de *Senecio angulatus* ont entraîné des taux moyens de répulsion respectifs de -50 %, -60 % et -20 % à l'égard des adultes de *Tuta absoluta*. Ces valeurs négatives indiquent une attirance des insectes vers la zone traitée, traduisant une absence d'effet répulsif. Cependant, les témoins ont montré des résultats plus variables, avec un maximum de 30 % pour le témoin positif D2. Les pourcentages de répulsion des différentes doses de l'huile essentielle formulée de *S. angulatus* sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8. Taux de répulsion des adultes de *Tuta absoluta* en fonction des doses du bioproduit à différents temps d'observation

Dose	Taux répulsion initial (%)	Taux répulsion après 24h (%)	Moyenne (%)
D1	-40	-60	-50
D2	-60	-60	-60
D3	-20	-20	-20
Témoin+ D1	-20	0	-10
Témoin+ D2	20	40	**30**
Témoin+ D3	-60	20	**-20**

Compte tenu de ces résultats, et selon le mode de calcul proposé par **McDonald et *al*. (1970)**, la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* a affiché un taux de répulsion global moyen de –21,67 %. Cette valeur étant négative (inférieure à 0,1 %), positionne alors le bioproduit testé dans la classe 0 selon l'échelle de McDonald, avec un effet non répulsif certain.

Cela suggère donc une absence d'effet répulsif ou même un comportement attractif léger de *Tuta absoluta* envers le produit testé (tab. 9).

Tableau 9. Classement du bioproduit de *Senecio angulatus* selon **Mc Donald et *al.* (1970).**

Formulation	*Senecio angulatus*
Taux de répulsion	**–21,67 %**
Classe de répulsion	Classe 0
Effet	Non répulsif

III.1.3. Évaluation de la phytotoxicité de la bioformulation d'huile essentielle de *Senecio angulatus*

Dans le but de vérifier si la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* peut provoquer des effets phytotoxiques, une observation visuelle a été réalisée sur des plants de tomate traités avec deux doses différentes : D2 et D3. Le protocole a été adapté selon les méthodes utilisées par **Regnault-Roger (2008)** avec quelques modifications pour l'ajuster au contexte de cette étude.

Les symptômes ont été notés selon une échelle de 0 à 3, où 0 correspond à l'absence de symptômes, 1 à un symptôme léger, 2 à un symptôme modéré et 3 à un symptôme prononcé. Les critères d'évaluation comprenaient la coloration des feuilles, la déformation, le flétrissement, l'affaissement de la tige, la turgescence, ainsi que l'apparition éventuelle de taches ou de lésions.

Le tableau suivant présente les moyennes des scores obtenus pour chaque symptôme sur les neuf pots traités par dose :

Tableau 10. Moyenne des scores phytotoxiques observés chez les plants de tomate traités avec les doses D2 et D3 de la bioformulation.

Symptôme observé	**Moyenne D2**	**Moyenne D3**
Couleur des feuilles	0,33	0,56
Déformation des feuilles	0,33	0,44
Flétrissement	0,44	0,56
Tige affaissée	0	0
Turgescence	0	0
Taches ou lésions	0	0
Note globale	**0,56**	**1,44**

Selon la figure 26, l'analyse des résultats montre que le traitement à la dose D2 a entraîné des symptômes très faibles et peu fréquents, avec une note globale moyenne de 0,56. En revanche, la dose D3 a provoqué une phytotoxicité légèrement plus marquée, en particulier une décoloration des feuilles (0,56), un flétrissement léger (0,56) et quelques déformations (0,44). Aucun des deux traitements n'a causé d'affaissement des tiges, ni de perte de turgescence, ni de lésions visibles.

Ces résultats indiquent que la formulation, à la dose D2, est globalement bien tolérée par les plants de tomate. À la dose D3, un effet phytotoxique léger est observé, mais il reste limité et non sévère dans les conditions de l'essai.

Figure 26. État des plants avant et après traitements à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus*.

III.2. Analyse de la variance

III.2.1. Analyse de la variance pour le test d'efficacité du bioproduit de *Senecio angulatus* et le témoin positif par mode contact sur les larves de *Tuta absuluta*

Tableau 11. Résultats de l'ANOVA des taux de mortalité selon le temps d'exposition et les doses par mode de contact.

One-way ANOVA

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	6125,43	5	1225,09	4,95	0,002967
Within groups:	5939,78	24	247,491		
Total:	12065,2	29			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 0,001021
Based on medians: p(same) = 0,1305

Welch F test in the case of unequal variances: F=2,629, df=10,9, p=0,08491

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

L'analyse de la variance (ANOVA) des taux de mortalité de *Tuta absoluta* en fonction des doses appliquées par contact au fil du temps révèle une différence hautement significative entre les deux facteurs étudiés (temps et dose), avec une valeur de P = 0,002967, soit inférieure au seuil de 0,05 (tab.11).

Les résultats présentés sous forme de box plot montrent une amélioration claire de l'efficacité du bioinsecticide par contact avec l'augmentation des doses à base de

Senecio angulatus. La D3 se distingue par un effet notable, avec une médiane de mortalité proche de 75 %, nettement supérieure aux taux enregistrés chez les témoins positifs (T^+ D1 à D3), dont la formulation ne contient pas de *S. angulatus*. Ces observations confirment le potentiel de cette plante comme principe actif dans la lutte biologique contre *Tuta absoluta* (fig. 27).

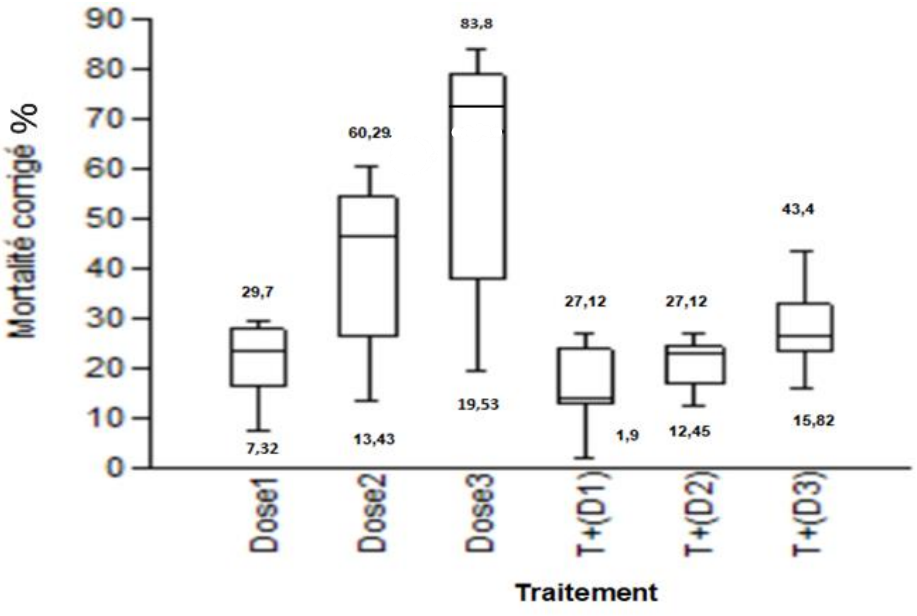


Figure 27. Analyse de la variance (ANOVA) des taux de mortalité de *Tuta absoluta* en fonction du temps et des doses par contact, illustrée par un box plot

III.2.2. Analyse de la variance pour le test d'efficacité du bioproduit de *Senecio angulatus* par mode répulsif sur les larves de *Tuta absuluta*

Tableau 12. Analyse de variance (ANOVA) du test de l'effet répulsif du bioproduit à base de Senecio angulatus sur *Tuta absoluta.*

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	533,333	1	533,333	1,25	0,2897
Within groups:	4266,67	10	426,667		
Total:	4800	11			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 1
Based on medians: p(same) = 1

Welch F test in the case of unequal variances: F=1,25, df=10, p=0,2897

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	Traiter	Non_traiter
Traiter		0,2898
Non_traiter	1,581	

L'analyse de la variance (ANOVA) des taux de répulsion de *Tuta absoluta* n'a pas révélé de différence significative en fonction du temps et des doses appliquées, avec une probabilité de (P = 0,2897 ; P> 0,05) (tab.12).

Les résultats du box plot suggèrent une absence d'effet répulsif de la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* sur les larves de *Tuta absoluta*. Après 24 heures, une présence marquée des larves sur la surface traitée, en comparaison avec la surface non traitée, a été observée. Cette distribution indique que la formulation testée n'a pas induit de fuite ou d'évitement de la part des larves, contrairement à ce qui est attendu d'un agent répulsif. Ce constat est soutenu par les valeurs négatives relevées dans les mesures, traduisant une attraction relative ou une simple inertie comportementale des larves face au traitement. Par conséquent, *Senecio angulatus*, dans la formulation et aux doses testées, ne manifeste pas d'activité répulsive significative à court terme (fig. 28)

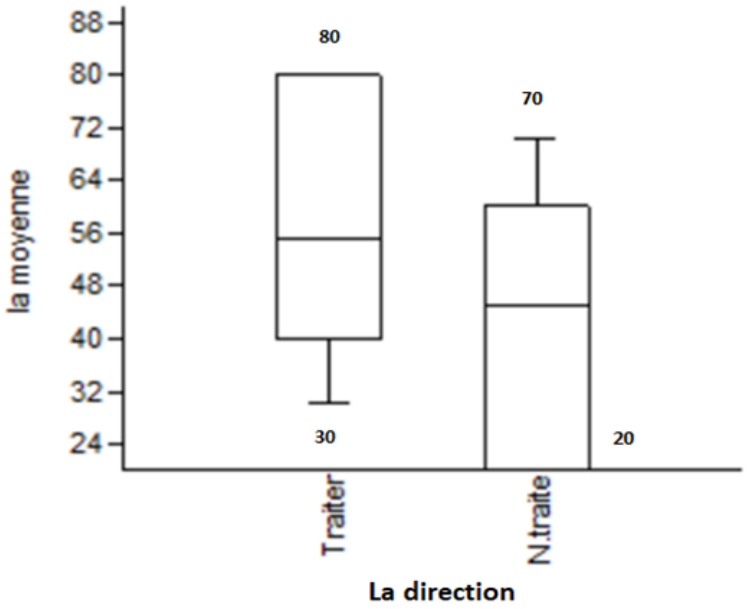


Figure 28. Box plot des taux de répulsion de *Tuta absoluta* en réponse au bioproduit à base de *Senecio angulatus*.

III.2.3. Analyse de la variance pour le test phytotoxicité du bioproduit de *Senecio angulatus* sur les plants de tomates

Tableau 13. Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) du test de phytotoxicité.

	Sum of sqrs	df	Mean square	F	p(same)
Between groups:	0,128257	1	0,128257	0,7933	0,3906
Within groups:	1,94003	12	0,161669		
Total:	2,06829	13			

Levene's test for homogeneity of variance, based on means: p(same) = 0,2298
Based on medians: p(same) = 0,2304

Welch F test in the case of unequal variances: F=0,7933, df=8,371, p=0,398

Tukey's pairwise comparisons:
Q \ p(same)

	Moyenne_D2	Moyenne_D3
Moyenne_D2		0,3908
Moyenne_D3	1,26	

L'analyse statistique de type (ANOVA) n'a révélé aucune différence significative entre les deux doses (P = 0,39 ; P > 0,05), ce qui s'explique par la faible intensité des symptômes. Ainsi, bien que des signes de phytotoxicité soient présents à forte dose, ils restent limités et non significatifs sur le plan statistique (tab.13).

III.3. Doses létales DL_{50} :

III.3.1. Doses létales DL_{50} de l'huile essentielle formulée

Les résultats obtenus à partir des tableaux d'analyse de probabilité ont permis de déterminer les valeurs de la DL_{50} dans différentes conditions d'exposition au bioproduit de *Senecio angulatus*. Ces résultats montrent que le bioproduit testé est toxique pour les populations larvaires de *Tuta absoluta*. Les valeurs de la DL_{50} ont été évaluées après 120 heures d'exposition.

L'analyse des données permet de conclure que le bioproduit appliqué présente une toxicité variable selon la dose administrée. Le taux de mortalité observé dépend directement de la concentration utilisée, atteignant 83,80 % à la dose la plus élevée après 120 heures. Le bioproduit de *Senecio angulatus* agit principalement par contact, provoquant la mort des larves.

Par ailleurs, il a démontré une activité bioinsecticide marquée avec une DL_{50} estimée à 1,31 g/ml par contact. En se basant sur ces valeurs, l'ordre de toxicité selon la voie d'exposition confirme que l'effet létal par contact est le plus significatif (tab.14).

Tableau 14. Toxicité (DL50) du bioproduit de *Senecio angulatus*

Les doses	**MC% Contact (120 h)**
D1 (1%)	29,70
D2 (1,5)	62,29
D3 (2%)	83,80
DL_{50}	1,31g/ml

III.3.2. Doses létales DL_{50} du Témoin positif :

La détermination de la DL_{50} a été réalisée sur la base des résultats obtenus à 120 heures après l'exposition des larves de *Tuta absoluta* aux différentes doses du témoin positif. Les taux de mortalité observés étaient de 27,12 % pour la dose D1 (1 %), de 27,13 % pour la D2 (1,5 %) et de 43,40 % pour la D3 (2 %). Étant donné que les doses D1 et D2 ont entraîné une mortalité similaire, l'estimation de la DL_{50} a été effectuée par interpolation linéaire entre D2 et D3. Le calcul a permis d'estimer que la DL_{50} se situe à environ 2,20 g/ml, indiquant que cette concentration du bioproduit est nécessaire pour atteindre une mortalité de 50 % chez les larves après 120 heures d'exposition. Cette estimation reste indicative, et l'ajout de doses supplémentaires permettrait une évaluation plus précise par analyse probit (tab.15).

Tableau 15. Toxicité (DL50) du témoin positif sur les larves de tuta absuluta

Les doses	**MC% Contact (120 h)**
Témoin $^{+}$D1	27,12%
Témoin $^{+}$ D2	27,12%
Témoin $^{+}$ D3	43,40%
DL_{50}	2,2 g/ml

III.4. Temps létal TL_{50}

III.4.1. Temps létal TL_{50} de l'huile essentielle formulée

Au vu des valeurs de la TL_{50} obtenues pour les différentes doses appliquées en mode contact chez les larves de *Tuta absoluta,* il apparaît que les doses D2 et D3 présentent les temps létaux 50 les plus faibles, estimés respectivement à 81,88 h et 57,80 h, traduisant une toxicité plus marquée par rapport à la dose D1 dont la TL_{50} dépasse 120 h (tab. 16).

Cette rapidité d'action observée aux doses élevées souligne une efficacité accrue du bioproduit de *Senecio angulatus* contre les larves, en particulier en application par contact. Ainsi, plus la dose augmente, plus le temps nécessaire pour atteindre 50 % de mortalité diminue, ce qui confirme l'effet dose-réponse du bioproduit dans ce mode d'exposition.

Tableau 16. Les valeurs de la TL50 évaluées pour les trois doses de la bio formulation du bioproduit de *Senecio angulatus.*

Dose (%)	**TL50(h)**
D1 (1%)	>120h (non atteint)
D2 (1,5%)	81,86
D3 (2%)	57,8

III.4.2. Temps létal TL_{50} du Témoin positif

L'évaluation de la TL_{50} vise à déterminer la durée nécessaire pour provoquer 50 % de mortalité chez les larves de *Tuta absoluta* exposées à différentes doses du témoin positif. Dans le cadre de cette étude, les pourcentages de mortalité observés pour les doses testées (D1 = 1 %, D2 = 1,5 %, D3 = 2 %) sur une période de 120 heures n'ont pas atteint le seuil requis de 50 %. La mortalité maximale enregistrée a été de 43,40 % pour la dose D3 à 120 h, ce qui indique que la TL_{50} n'a pas pu être déterminée par interpolation dans les limites de temps de l'expérimentation. Ces résultats suggèrent soit une efficacité limitée du bioproduit à ces concentrations, soit la nécessité d'un temps d'exposition plus prolongé pour atteindre un effet létal significatif. Par conséquent, il serait pertinent d'envisager l'extension de la durée

d'observation au-delà de 120 heures ou de tester des doses plus élevées afin de mieux cerner le profil toxique du bioproduit (tab. 17).

Tableau 17. Les valeurs de TL50 évaluées pour les trois doses du témoin positif.

Dose (%)	**TL_{50}(h)**
$T^{+}D1$ (1%)	>120h (non atteint)
$T^{+}D2$ (1,5%)	>120h (non atteint)
$T^{+}D3$ (2%)	>120h (non atteint)

Chapitre IV
Discussion

Actuellement, la méthode la plus couramment utilisée pour lutter contre les larves de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* repose sur l'utilisation d'insecticides chimiques. Toutefois, les extraits de plantes, notamment les huiles essentielles, représentent une alternative prometteuse.

Dans le cadre de cette étude, nous avons cherché à évaluer l'efficacité insecticide d'une bioformulation à base de l'huile essentielle de *Senecio angulatus*, également appelé *sénéçon grimpant* ou lierre de cap. Cette plante, originaire d'Afrique du Sud, est désormais présente dans plusieurs régions méditerranéennes, y compris en Algérie. Les résultats obtenus semblent prometteurs dans la lutte contre les larves de *Tuta absoluta*, ravageur majeur de la tomate.

IV.1. Rendement en huile essentielle de *Senecio angulatus*

Nous rappelons que le rendement d'extraction de l'huile essentielle de Senecio angulatus par entraînement à la vapeur d'eau, à partir de 70 kg de plante fraîche, a permis d'obtenir un rendement de 0,019 %. Ce taux, bien qu'assez faible, reste comparable à celui observé chez certaines autres espèces de la famille des *Asteraceae*. Selon **Williams et Lusunzi (1994),** le rendement en huile essentielle correspond au rapport entre la masse d'huile obtenue et la quantité de biomasse utilisée.

Selon **Mekati et *al.* (2024)**, *Senecio angulatus* présente un rendement particulièrement faible en extrait, estimé à seulement 0,006 %. Ce chiffre met en évidence une forte variabilité au sein du genre *Senecio*. En effet, des comparaisons avec d'autres espèces permettent de mieux situer cette donnée. Par exemple, en Algérie, *Senecio giganteus* a montré un rendement de l'ordre de 0,02 % **(Bensalem et *al*., 2022)**. , tandis que *Senecio filaginoides*, en Argentine, peut atteindre jusqu'à 0,9 % **(Crespo et *al*., 2015).** Ces différences témoignent d'une grande variabilité chimique selon les espèces et les contextes géographiques.

Cette variabilité peut s'expliquer par plusieurs facteurs. En effet, le rendement en huile essentielle dépend non seulement des conditions climatiques et géographiques **(Zaouali et *al*., 2010 ; Jordan et *al*., 2013),** mais aussi de la génétique de la plante, du type de sol, du stade de croissance au moment de la récolte, et des paramètres techniques liés à l'extraction **(Pereira et *al*., 2000 ; Boutekedjiret et *al.*, 2003 ; Figueiredo et *al.*, 2008)**. L'utilisation de plantes fraîches pour l'extraction de

l'huile essentielle de *Senecio angulatus,* sans étape préalable de séchage, pourrait avoir permis de préserver certains composés volatils thermosensibles, notamment les monoterpènes, qui sont susceptibles de se dégrader ou de s'évaporer lors du séchage **(Turek et Stintzing, 2013)**. Toutefois, le rendement obtenu est resté relativement faible. Cette limitation pourrait s'expliquer par une faible concentration en métabolites secondaires volatils dans les tissus végétaux au moment de la récolte **(Raut et Karuppayil, 2014)**. De même, l'utilisation de matière végétale fraîche, riche en eau, peut diluer la phase huileuse pendant l'hydrodistillation, réduisant ainsi l'extraction et la récupération des composés actifs **(Boutekedjiret et *al*., 2003).** Il est également probable que des facteurs tels que le stade phénologique de la plante, les conditions écologiques, ou encore la nature du chémotype aient influencé la composition et la quantité d'huile extraite **(Burt, 2004).**

IV.2. Activité insecticide par contact sur *Tuta absoluta*

L'application par contact de la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* a démontré une activité insecticide marquée, évoluant à la fois selon la dose appliquée et la durée d'exposition. Les résultats montrent une relation dose-dépendante nette : plus la concentration en huile essentielle est élevée, plus la mortalité larvaire est importante.

Dès les 24 premières heures, une mortalité corrigée de 19,53 % est observée pour la dose D3, contre 13,43 % pour D2 et 7,32 % pour D1. Cette efficacité rapide suggère une action toxique aiguë, probablement liée à la capacité de certains monoterpènes présents dans l'huile essentielle à pénétrer rapidement à travers la cuticule des larves **(Isman, 2000 ; Regnault-Roger et *al.,* 2012).**

L'efficacité s'intensifie progressivement au fil du temps. En effet, à 72 heures, les taux de mortalité corrigée s'élèvent respectivement à 67,5 % pour D3 ; 46,72 % pour D2 et 23,44 % pour D1. Cette dynamique temporelle indique une toxicité cumulative, en accord avec les observations de **Pavela (2011)**, qui rapporte une mortalité de 90 % chez *Tuta absoluta* après exposition à l'huile essentielle de *Tagetes minuta*, particulièrement à fortes doses. Ces résultats renforcent l'hypothèse d'un effet synergique entre la dose et la durée d'exposition.

À 120 heures, l'activité insecticide atteint un maximum avec des taux de 83,8 % pour D3 ; 62,29 % pour D2 et 29,7 % pour D1, confirmant une relation claire dose-effet.

Des résultats similaires ont été rapportés par **Moretti et *al*. (2013)** concernant l'huile essentielle *d'Ocimum gratissimum*, qui a démontré une mortalité larvaire significative en fonction de la concentration, soulignant l'importance d'une application maîtrisée dans une stratégie de lutte biologique.

En comparaison, la bioformulation témoin positif (T^+) dépourvue d'huile essentielle montre une efficacité moindre, atteignant un maximum de 43,40 % à 120 h pour D3, tandis que le témoin négatif (T^-) (eau distillée) ne dépasse jamais 12 % de mortalité. Ces données confirment que l'effet insecticide observé est spécifiquement lié à la présence de composés actifs dans l'huile essentielle. Des conclusions similaires ont été tirées par **Plata-Rueda et *al*. (2020)**, qui ont souligné le rôle de certains monoterpènes dans la perturbation du système nerveux des lépidoptères, conduisant à une mortalité différée et significative.

L'activité insecticide observée pourrait être attribuée à des composés majoritaires tels que les monoterpènes oxydés (1,8-cinéole, thuyone) ou certains sesquiterpènes, connus pour leurs effets neurotoxiques. Leurs modes d'action incluent l'inhibition de l'acétylcholinestérase ou l'obstruction des spiracles, perturbant ainsi la respiration et l'homéostasie ionique. Ces mécanismes ont été bien documentés par **Enan (2001)** et **Priestley et *al*. (2003)**, qui ont mis en évidence la capacité de ces composés à induire la paralysie ou la mort chez les insectes ciblés.

IV.3. Effet combiné dose testée, la durée d'exposition et le mode d'application

L'analyse de l'effet combiné de la dose, de la durée d'exposition et du mode d'application (contact ou inhalation) sur les larves de *Tuta absoluta* met en évidence une interaction significative entre ces trois facteurs. Les résultats obtenus révèlent que l'efficacité de la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* dépend fortement de leur synergie.

D'une part, l'effet insecticide s'intensifie avec la dose, mais également avec le temps. Les doses élevées (notamment D3) montrent une action rapide dès 24 h, particulièrement en mode contact, avec un taux de mortalité atteignant près de 20 %, contre moins de 8 % pour D1. Cette mortalité évolue jusqu'à 83,8 % à 120 h pour D3, ce qui souligne l'importance de la durée d'exposition pour optimiser l'efficacité.

Ces résultats rejoignent les observations de **Pavela (2011),** qui a démontré que l'efficacité des huiles essentielles augmente avec la concentration et la durée d'exposition, tout en dépendant du mode d'application. **Nerio et *al.* (2009)** ont également mis en évidence que les composés volatils peuvent agir par voie aérienne, mais que cette pénétration indirecte requiert généralement un temps plus long pour provoquer des effets létaux équivalents à ceux observés par contact direct. De leur côté, **Plata-Rueda et *al*. (2020)** ont précisé que l'activité insecticide varie selon la voie d'absorption, la concentration et le temps d'exposition, en lien avec la capacité des composés lipophiles à traverser les barrières physiologiques et à perturber le système nerveux des lépidoptères.

L'observation de ces interactions complexes s'explique par plusieurs mécanismes physiologiques : la bioaccumulation des substances lipophiles dans les tissus, la désorganisation du système nerveux central, ou encore la perturbation du métabolisme respiratoire chez les larves **(Enan, 2001 ; Regnault-Roger et *al.*, 2012).** Ainsi, les combinaisons les plus efficaces restent celles associant forte dose, exposition prolongée et mode contact, confirmant l'intérêt d'une stratégie intégrée pour la lutte biologique contre *Tuta absoluta.*

La composition chimique de *Senecio angulatus* n'a pas encore été quantifiée de façon précise, mais des études préliminaires ont révélé la présence de plusieurs composés bioactifs dans ses feuilles, notamment des alcaloïdes (0,20–0,30 %), des flavonoïdes (0,015–0,025 %), des composés phénoliques comme la cynarine, l'acide trans-férulique et l'acide chlorogénique (0,04–0,06 %), ainsi que des saponines (0,50–0,60 %), des tanins (0,02–0,03 %) et des glycosides (0,05–0,07 %) **(Egharevba et *al.*, 2015 ; Benabderrahmane et *al.*, 2021)**. Plusieurs études soulignent que l'action toxique des huiles essentielles repose essentiellement sur des mécanismes neurotoxiques : par exemple, **Pavela (2011)** a montré que l'huile essentielle de *Tagetes minuta* provoque jusqu'à 90 % de mortalité larvaire de Tuta absoluta en 72 heures, et **Moretti et *al.* (2013)** ont observé une relation dose-dépendante entre la concentration d'huile essentielle *d'Ocimum gratissimum* et la mortalité des insectes. Il est donc essentiel de mieux caractériser la composition chimique de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* pour évaluer son potentiel insecticide

IV.4. Effet répulsif de la bioformulation sur *Tuta absoluta*

Dans la présente étude, la bioformulation à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* a montré un taux moyen global de répulsion de –21,67 % à l'égard des de *Tuta absoluta*. Cette valeur négative indique non seulement l'absence d'effet répulsif, mais suggère également une possible attractivité du produit testé. Selon les critères établis par **McDonald et *al*. (1970)**.

À titre comparatif, **Mekati et *al.* (2024)** ont rapporté un taux moyen de répulsion de 36,95 % de la même huile essentielle contre *Tribolium castaneum*, ce qui lui vaut une classification en Classe II, indiquant un effet faiblement répulsif. Cette différence met en évidence l'importance de la sensibilité spécifique de l'insecte ciblé. Dans une recherche parallèle de **Benchouikh et *al.* (2016)** qui a démontré que l'huile essentielle issue des clous de *Syzygium aromaticum* (girofle) présentait un effet nettement plus fort, avec un classement en Classe IV selon l'échelle de **McDonald et *al*. (1970)**, ce qui reflète une répulsion importante des larves.

Ces écarts entre les résultats peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la diversité de composition chimique des huiles essentielles, la variabilité du comportement olfactif entre espèces d'insectes, ainsi que les conditions expérimentales utilisées. Il est donc probable que *Tuta absoluta*, en tant que Lépidoptère, perçoive différemment les composés volatils présents dans *S. angulatus* par rapport à d'autres espèces comme *Tribolium castaneum*, ce qui pourrait justifier l'absence d'effet observée dans notre cas.

IV.5. Test de phytotoxicité de la bioformulation sur les feuilles de tomate

Dans une étude réalisée par **Ben-Jabeur et *al*. (2015)**, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* appliquée sur des plants de tomate en culture hydroponique a provoqué des symptômes phytotoxiques à forte concentration, tels que des altérations visibles sur les feuilles. Cependant, une dilution dix fois plus faible a permis d'éliminer ces effets indésirables, soulignant que la phytotoxicité des huiles essentielles dépend largement de la dose appliquée.

De manière concordante, **Martín-Ramos et *al.* (2023)** ont rapporté qu'aucun symptôme de phytotoxicité n'a été observé chez les plants de tomate traités avec différentes huiles essentielles, même à la concentration élevée. Dans notre étude, aucun symptôme de phytotoxicité notable n'a été observé à la dose D2, hormis

quelques signes très légers. À la dose D3, des effets modérés comme une légère décoloration, un faible flétrissement et quelques déformations ont été relevés, sans atteinte grave aux plants.

Cette légère phytotoxicité observée pourrait s'expliquer, d'une part, par une composition chimique modérée de l'huile testée, et d'autre part, par la tolérance physiologique naturelle de la tomate, qui dispose d'une cuticule cireuse protectrice et de mécanismes antioxydants capables de neutraliser certains stress chimiques **(Werrie et Fauconnier, 2020).**

Enfin, le stade de développement des plants pourrait également jouer un rôle : le test ayant été réalisé six semaines après la transplantation, sur des feuilles bien développées, ces dernières sont probablement plus résistantes aux effets des composés volatils que celles de jeunes plantules en phase de croissance initiale **(De Martino et *al*., 2010)**.

IV.6. Doses létales (DL_{50}) et temps létaux (TL_{50})

Les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence l'efficacité insecticide du bioproduit formulé à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus* contre *Tuta absoluta*, notamment en application par contact. La toxicité mesurée, à travers les valeurs de DL_{50} et TL_{50}, révèle une relation dose-dépendante marquée, avec une DL_{50} de 1,31 g/L et une TL_{50} de 57,8 heures à la dose de 2 %. Cette efficacité, bien qu'élevée, apparaît modérée en comparaison avec d'autres huiles essentielles issues de plantes plus riches en monoterpènes actifs, comme *Origanum vulgare* ou *Citrus spp*.

Selon **Silva et *al*. (2023)**, les huiles essentielles extraites de *Citrus spp*., appliquées par contact, ont provoqué une mortalité rapide des larves de *Tuta absoluta*, avec une TL_{50} de 12 heures à forte dose, illustrant une toxicité aiguë. De même, **Chegini et Abbasipour (2018)** ont rapporté une mortalité de 93 % en 48 heures après exposition à l'huile essentielle de *Zataria multiflora*, soulignant une réponse hautement dose-dépendante. Ces résultats concordent avec ceux de la présente étude, où la bioformulation à base de *S. angulatus* a provoqué une mortalité de 83,8 % après 120 heures à la dose D3, avec une efficacité nettement supérieure à celle du témoin positif (formulé sans huile essentielle), dont la DL_{50} a été estimée à 2,20 g/L et la mortalité maximale à 43,4 %. Ces différences

soulignent l'effet déterminant des composés volatils bioactifs dans l'efficacité insecticide des formulations.

La comparaison avec les travaux de **Mekati et *al*. (2024)**, menés sur *Tribolium castaneum*, permet de mieux situer le potentiel de l'huile essentielle de *S. angulatus*. Ces auteurs ont rapporté une DL_{50} de 1,42 g/L par contact après seulement 24 heures et une mortalité de 100 % à la dose la plus élevée, soulignant une action plus rapide et plus marquée chez cette espèce. En revanche, le mode d'exposition par inhalation s'est révélé moins efficace, avec une DL_{50} de 2,14 g/L, ce qui corrobore les observations de notre étude, où le contact direct apparaît comme la voie la plus performante.

L'écart entre les valeurs de TL_{50} est également significatif, **Mekati et *al*. (2024)** ont enregistré des TL_{50} très courts, de 14 h et 0,15 h aux doses D2 et D3 respectivement, tandis que pour *Tuta absoluta*, les TL_{50} obtenues sont de 81,86 h pour D2 et 57,8 h pour D3. Ces différences peuvent s'expliquer par des facteurs physiologiques propres à chaque espèce, tels que la perméabilité cuticulaire, la capacité de détoxification enzymatique ou encore la sensibilité aux mécanismes neurotoxiques induits par les huiles essentielles.

Par ailleurs, les travaux de **Khalfi-Habes et *al*. (2010)** ont montré que les huiles essentielles d'*Origanum vulgare,* de *Rosmarinus officinalis et* de *Thymus vulgaris* présentent une DL_{50} respectivement de 0,23 g/L, 0,42 g/L et 0,52 g/L, indiquant une toxicité plus marquée à des concentrations plus faibles. Ces résultats confirment que les huiles riches en monoterpènes et sesquiterpènes possèdent un fort pouvoir insecticide, souvent supérieur à celui observé avec *S. angulatus*, ce qui reflète des différences importantes en termes de composition chimique et de mécanisme d'action.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans un contexte où les limites des insecticides chimiques deviennent de plus en plus évidentes, notamment en raison de leurs effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement, cette étude s'est inscrite dans une démarche de valorisation d'alternatives naturelles pour la protection des cultures. L'huile essentielle extraite de *Senecio angulatus*, plante envahissante récemment identifiée en Algérie, a montré une activité biologique prometteuse contre les populations larvaires de *Tuta absoluta*, l'un des ravageurs les plus redoutés de la tomate.

Les bioessais réalisés ont révélé une efficacité insecticide marquée sur les larves de *Tuta absoluta*, notamment par voie de contact. Le taux de mortalité le plus élevé enregistré a atteint 83,80 % à la dose la plus concentrée (D3) après 120 heures d'exposition. Les valeurs des DL_{50} et TL_{50}, estimées respectivement à 1,31 g/ml et 57,80 h, confirment la toxicité notable du bioproduit. À l'inverse, l'effet répulsif s'est avéré non significatif, avec un taux de répulsion négatif (–21,67 %), et les tests de phytotoxicité ont mis en évidence une bonne tolérance des plants de tomate, avec des effets secondaires faibles et limités.

En somme, les résultats obtenus mettent en lumière le potentiel insecticide du bioproduit à base d'huile essentielle de *Senecio angulatus*, dont l'efficacité, bien que variable selon l'espèce cible, le mode d'exposition et la concentration appliquée, reste significative. Cette variabilité souligne l'importance de poursuivre les investigations sur d'autres ravageurs agricoles afin d'optimiser les stratégies d'utilisation. Par ailleurs, cette étude constitue une première étape vers la valorisation agronomique de *Senecio angulatus*, une plante invasive encore peu exploitée, dont l'intégration dans des formulations naturelles pourrait représenter une alternative durable aux insecticides conventionnels dans une perspective de lutte biologique respectueuse de l'environnement.

Dans cette optique, il serait pertinent d'approfondir les recherches sur :

- L'identification des composés actifs majeurs de l'huile essentielle.
- L'évaluation de son efficacité sur d'autres stades de développement de *Tuta absoluta*, ainsi que sur d'autres espèces nuisibles.

- L’étude de son comportement en conditions de plein champ.

En définitive, cette recherche ouvre des perspectives intéressantes pour le développement de biopesticides locaux, respectueux de l’environnement, à partir de ressources végétales disponibles, tout en contribuant à la réduction de la dépendance aux produits de synthèse.

Références bibliographiques

A

- **Abbas, S. (2014).** *Tomato leaf miner Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae): The old and new challenge* (PhD thesis, Università degli Studi di Palermo, Italie). Cycle XXIV – Année académique 2010/2011 ; soutenue le 18 février 2014
- **Abbott, W. S. (1925).** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2), 265–267.
- **Ahmed, S. S., Abdel Kader, M. H., Fahmy, M. A. M., & Abdelgawad, K. F. (2024*).*** Control of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) by the new trend of photosensitizer and nanocomposites and their effects on productivity and storability of tomato. *International Journal of Tropical Insect Science*, 44(1), 273–296.
- **Akat, O., & Ölmez Bayhan, S. (2024).** Determination of the damage rate of *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera: Gelechiidae) in different tomato varieties grown in the open field in Diyarbakır Province. *Çukurova Journal of Agricultural and Food Sciences*, 38(2), 227–234.
- **Allache, F., Daoudi, A., Toumi, S., Ghezali, M., & Hadad, A. (2012).** Approche intégrée pour une agriculture durable en milieu saharien algérien : cas de la filière tomate à Biskra. *Revue « Nature & Technologie ». B – Sciences Agronomiques et Biologiques*, **7**, 59–68.
- **Andreani, S. (2014).** *Étude de la composition chimique et des propriétés biologiques d'huiles essentielles de plantes de Corse : applications aux industries agroalimentaire et cosmétique* (Thèse de doctorat, Université de Corse Pascal Paoli).
- **APS (Algérie Presse Service). (2021, 16 novembre).** Tomate industrielle : La production nationale en hausse, passant de 19 à 23 millions de quintaux en une année.
- **Arrab, A. (2016).** *La défense des cultures.* Éditions Quae, Versailles. pp. 90-92.
- **Asadi, M., Rafiee-Dastjerdi, H., Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2023).** Insecticidal activity of isolated essential oils from three aromatic plants against *Tuta absoluta* (Meyrick). *Agricultura Tropica et Subtropica*, 56(2), 122–128.

- **AtlasBig. (2023).** Production mondiale de tomates par pays. Consulté le 18 mai 2025, depuis : https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-de-tomates

B

- **Bado, S., Kaboré, A., Ilboudo, F., Dabiré-Binso, C., & Sanon, A. (2020).** Suitability of the Pest-Plant System *Tuta absoluta* and Tomato for Pest Population Development.
- **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- **Belhadj, S. and Bouazza, M. (2018).** Étude écologique et floristique de la région de Dellys (Wilaya de Boumerdès). Mémoire de Master, Université M'hamed Bougara de Boumerdès.
- **Belsito, M., Baccelloni, S., and Di Bartolomeo, A. (2007)**. Citrus oils: Composition, properties and uses. *Journal of Essential Oil Research*, 19(3), 231–239.
- **Belyagoubi, M. (2006).** Les huiles essentielles. In : Les huiles essentielles, pp. 727-730.
- **Benabderrahmane, L., Bekhechi, C., and Atik-Bekkara, F. (2021).** Chemical characterization of *Senecio angulatus* extracts. PubMed.
- **Benchouikh, A., Allam, T., Kribii, A., & Ounine, K.** (2016). The study of the insecticide effect of the essential oil of Syzygium aromaticum L. against larvae of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 20(1), 188–194.
- **Ben-Husin, T. O. A. (2017).** *Evaluation of insecticide resistance in Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) populations from the UK and Syria* (Master's dissertation, Newcastle University, UK). Newcastle University eTheses.
- **Ben-Jabeur, M., Ghabri, E., Myriam, H., & Hammami, M. (2015).** Thyme essential oil as a defense inducer of tomato against gray mold and Fusarium wilt. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94, 35–40.
- **Bennour, C., ben Belgacem, A., Hammadi, H., & Ben Nasr, H. (2021).** A review of the management of Tuta absoluta (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) with special reference to biological control using plant extracts.

- **Bensalem, S., Kenoufi, M., and Lograda, T. (2022).** Essential oil composition and yield of Senecio giganteus from Algeria. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 14(2), 120–125.
- **Bergin, D. O. (2006).** *Senecio angulatus* – climbing groundsel. In: Ecological weeds in New Zealand. NZ Forest Research Institute.
- **Besombes, C. (2008).** Procédés d'extraction des huiles essentielles : techniques, rendements et qualité. Revue Française des Corps Gras, 55(6), 369–377.
- **Besombes, C. (2008).** Procédés d'extraction des huiles essentielles : techniques, rendements et qualité. *Revue Française des Corps Gras*, 55(6), 369–377.
- **Bouchelta, A., Hafsi, C., & Chahma, A. (2020).** Étude des extraits végétaux utilisés comme bioinsecticides : cas du *Peganum harmala* et de *Calotropis procera*. *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 11(2), 27–34.
- **Bouras, M. (2018*). Étude des méthodes d'extraction et évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de plantes aromatiques d'Algérie*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar–Annaba.
- **Boutekedjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., and Bessiere, J. M. (2003).** Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481–484.
- **Bouzouina, M., Bensalah, M. K., & Djamel, B. (2023).** Host-pathogen and pest interactions: Virus, nematode, viroid and insect affecting tomato crop. *Journal of Horticulture and Plant Research*, 12, 193–208.
- **Buchbauer, G. (2010).** Biological activities of essential oils. In K. H. C. Baser and G. Buchbauer (Eds.), *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (pp. 235–280). CRC Press.
- **Bulatova, N. (2023).** Ovoshchevodstvo v mire : Proizvodstvo osnovnykh ovoshchnykh kultur. *Ovoshi Rossii*, 6, 3–12.
- **Burrows, G. E., and Tyrl, R. J. (2001**). *Toxic plants of North America*. Ames, IA: Iowa State University Press.
- **Burt, S. (2004).** Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.

C

- **Camara, M. (2009)**. La lutte biologique intégrée contre les ravageurs. *Cahiers Agricultures*, 18(1), 15-21.
- **Campos, M. R., Biondi, A., & Desneux, N. (2017)**. *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), an invasive pest from Neotropics: biology, distribution and damage. *Journal of Integrated Pest Management*, 8(1), 1–6.
- **Campos, M. R., Rodrigues, A. R. S., Silva, W. M., Silva, T. B. M., Guedes, R. N. C., Siqueira, H. A. A., & Oliveira, E. E. (2017).** Diving into the genome of Tuta absoluta: host plant interactions, insecticide resistance, and insecticide targets. *Journal of Pest Science*, 90(3), 947–960.
- **Cavelier, A. (1976).** *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*. Masson, Paris, p. 92.
- **Chabrol, D. (2009).** *Transitions vers l'agriculture biologique : méthodes et outils pour une conversion réussie*. Versailles : Éditions Quae, 208 p.
- **Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., et Grant, W. P. (2011).** The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 366(1573), 1987–1998.
- **Chatelain, C. (2013).** *Caractéristiques des plantes de la flore d'Afrique du Nord.* Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- **Chegini, S. G., and Abbasipour, H. (2018).** Toxicity of Shirazi thyme (Zataria multiflora) essential oil to the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 38(3), 340–347.
- **CIRAD. (2010).** *Lutte intégrée contre les bio-agresseurs des cultures maraîchères dans les pays du Sud*. Montpellier : CIRAD, 139 p.
- **Copping, L. G., et Menn, J. J. (2000).** Biopesticides: A review of their action, applications and efficacy. *Pest Management Science*, 56(8), 651–676.
- **Crespo, L. I., Aguirre, M. A., and Cabrera, R. A. (2015).** Variación en el rendimiento del aceite esencial de Senecio filaginoides en Argentina. *Revista Argentina de Asteraceae*, 8(3), 45–50.
- **Csurhes, S., and Edwards, R. (1998).** *Potential environmental weeds in Australia: candidate species for preventative control*. Queensland Department of Natural Resources.

D

- **Data Bridge Market Research. (2024).** *Global biopesticides market trends*.
- **Dauvrit, M., and Cabanne, G. (1993).** *Formulation des produits phytosanitaires : principes et applications.*
- **De Martino, L., Mancini, E., Almeida, L. F. R., & De Feo, V. (2010).** The antigerminative activity of twenty-seven monoterpenes. *Molecules*, 15(9), 6630–6637.
- **Dellucchi, C., Schempp, B., Lazzaro, L., & Brundu, G. (2016).** *Senecio angulatus* L.f. (Asteraceae): a review on its biology, ecology and management. *NeoBiota*, 30, 49–63.
- **Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K. A. G., Burgio, G., Arpaia, S., Narváez-Vasquez, C. A., González-Cabrera, J., Ruescas, D. C., Tabone, E., Frandon, J., Pizzol, J., Poncet, C., Cabello, T., & Urbaneja, A. (2010).** *Tuta absoluta*, the South American tomato leafminer: ecology, geographic expansion and prospects for biological control. *Journal of Pest Science*, 83, 197–215
- **Détrez, G. (2021).** *Huiles essentielles : Extraction, analyse et utilisat*ion. Éditions Lavoisier – Tec et Doc. ISBN 9782743023226
- **Diome, F. (2014).** *Contribution à la lutte biologique contre Tuta absoluta au Sénéga*l. Thèse, Université Cheikh Anta Diop, Dakar. 72 p
- **Direction des Services Agricoles de Boumerdès (DSA). (2022).** *Rapport annuel sur les activités agricoles de la wilaya*. Boumerdès, Algérie.
- **Dobignard, A. (2010).** *Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord*, Volume 3 : Dicotyledoneae. Éditions des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- **Duke, S. O., Dayan, F. E., Romagni, J. G., and Rimando, A. M. (2002).** Natural products as sources of herbicides: current status and future trends. *Weed Research*, 40(1), 99–111.

E

- **eBourse.dz. (2024).** Une production record de 2,7 millions de tonnes de tomate en 2024. Consulté le 1 juin 2025, à partir de https://ebourse.dz/une-production-record-de-27-millions-de-tonnes-de-tomate-en-2024
- **Egharevba, H. O., Kunle, O. F., and Okhale, S. E. (2015)**. *Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals in Senecio biafrae leaf*. Academia.edu.
- **Enan, E. (2001).** Insecticidal activity of essential oils: Octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 130(3), 325–337.

F

- **FAO & World Processing Tomato Council (WPTC). (2023).** *World tomato processing forecast – 2023*. FAO/FAOSTAT and WPTC.
- **FAO (2023).** FAOSTAT – *Production: Tomatoes, fresh, 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- **Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., and Scheffer, J. J. C. (2008)**. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213–226.

G

- **Gattefossé, R.-M. (1937).** *Aromathérapie : Les huiles essentielles, hormones végétales*. Paris: Maloine.
- **Global Market Insights. (2024).** Biopesticides market size, share, growth analysis report – 2034.
- **Groves, R. H., Boden, R., and Lonsdale, W. M. (2005)**. *Jumping the garden fence: invasive garden plants in Australia and their environmental and agricultural impacts*. CSIRO report for WWF-Australia.
- **Guéna, G., & Frérot, B. (2011).** *La lutte contre Tuta absoluta, une urgence pour la sécurité alimentaire en Afrique*. CIRAD – Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
- **Guimapi, R. A., Srinivasan, R., Pham, T. T., Mohamed, S. A. A., Ekesi, S., & Fiaboe, K. K. M. (2016).** Host–pathogen and pest interactions: Virus,

nematode, viroid, bacterial, fungal diseases and insect pests affecting tomato production in sub-Saharan Africa. *CAB Reviews*, 11, 1–15.

H

- **Hammer, Ø., Harper, D.A.T., & Ryan, P.D. (2001).** PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis*. Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9 pages.
- **Haouel, S., Khennouf, S., & Bouguedoura, N. (2010).** *Évaluation technico-économique des procédés d'application des produits phytopharmaceutiques*. Presses Universitaires de Blida, Algérie.
- **Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., and Geneve, R. L. (2011**). *Plant Propagation: Principles and Practices* (8th ed.). Boston, MA: Prentice Hall.
- **Heil, M., and Karban, R. (2010).** Explaining evolution of plant communication by airborne signals. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(3), 137–144.
- **HortitecNews. (2016, 30 novembre).** Bien connaître *Tuta absoluta* pour mieux la combattre. HortitecNews.
- **Huang, J., Qiao, K., Wang, D., Song, Y., & Desneux, N. (2024).** Mating disruption of the tomato leafminer Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae) on greenhouse tomatoes*. Crop Health*, 2, 15.
- **Hyde, M. A., Wursten, B. T., Ballings, P., and Coates Palgrave, M. (2024).** Flora of Zimbabwe: Species information: *Senecio angulatus*. Retrieved from

I

- **INRAE. (2009).** *La défense des cultures*. Versailles : Éditions Quae, 643 p. Chapitre 6 : Insectes et acariens ravageurs, pp. 90-95.
- **INRS (2000)**. *Évaluation technico-économique des produits chimiques*. Éditions Techniques de l'INRS, p. 176.
- **InsightAce Analytic. (2024).** *Biopesticides market size, share & trends analysis report*. InsightAce Analytic.
- **Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). (2020).** *Atlas topographique de la wilaya de Boumerdès*. Alger, Algérie.
- **Isman, M. B. (2000).** Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8), 603–608.

- **Isman, M. B. (2020).** Botanical insecticides in the twenty-first century – fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233–249.

J

- **Javal, S., Trdan, S., & Guillemaud, T.** (2021). *Tuta absoluta's* population genetic structure across Africa: Two well-delineated but weakly differentiated groups suggesting few introductions and significant gene flow. *Agricultural and Forest Entomology*, 23(2), 197–215.
- **Jessop, J. P., and Toelken, H. R. (1986*).* ***Flora of South Australia (Part 3).*** South Australian Government Printing Division.
- **Jordan, M. J., Lax, V., Rota, M. C., and Lorán, S. (2013).** Climatic effects on essential oil yield and composition in Mediterranean species. *Journal of Mediterranean Botany*, 21(2), 98–105.

K

- **Kalemba, D., and Kunicka, A. (2003).** Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10(10), 813–829.
- **Karadjova, O., Ilieva, Z., & Voynikov, Y. (2021).** Taxonomic composition and harmfulness of *Gelechiidae* species on vegetable crops. *Insects*, 12(4), 321.
- **Karsholt, O., & Riedl, T. (2020).** *The Gelechiidae of Europe: A Taxonomic Guide*. Brill. [Google Books] https://books.google.dz/books?id=XOX7EAAAQBAJ
- **Khalfi-Habes, B., Doumandji-Mitiche, B., and Soltani, N. (2010).** Toxicity of essential oils from three aromatic plants (*Origanum vulgare, Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*) against Rhyzopertha dominica (Coleoptera: Bostrychidae). *Biologia*, 65(3), 470–476.
- **Kumar, S., Kumar, D., et Singh, H. (2020)**. Biopesticides: Present status and the future prospects. *Journal of Plant Pathology*, 102 (4), 789–798.

L

- **Lecompte, F., & Causse, R. (2014).** *Méthodes de lutte contre les insectes ravageurs. Revue Agriculture & Environnement*, 4(2), 33–40.
- **Lecoq, H. (2018)**. *Fruits et légumes : techniques culturales et protection phytosanitaire*. Dunod, Paris. pp. 38-45.

- **Loreto, F., and Schnitzler, J. P. (2010).** Abiotic stresses and induced BVOCs. *Trends in Plant Science*, 15(3), 154–166.

M

- **Martín-Ramos, P., Gonzalez Garcia, V., & Martín-Gil, J. (2023).** The dual benefit of plant essential oils against *Tuta absoluta*: Insecticidal action and absence of phytotoxic effects on tomato plants. *Mathematics*, 11(3), 694.
- **Martins, B. L., & Silva, C. V. (2020).** *Tomaticultura para processamento industrial: Características e exigências. Horticultura Brasileira*, 38, 112–118.
- **McDonald, L. L., Guy, R. H., & Speirs, R. D. (1970).** *Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents, and attractants against stored-product insects.* Marketing Research Report No. 882. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 8 p.
- **Mekati, A., Haddouchi, F., and Belkacem, A. (2024).** Faible rendement de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* et variabilité intra-genre. *Journal Algérien de Phytothérapie*, 12(1), 15–20.
- **Mekati, A., Haddouchi, F., and Belkacem, A. (2024).** Toxicity and lethal doses of *Senecio angulatus* essential oil against *Tribolium castaneum* in contact and fumigation assays. *Journal of Stored Products Research*, 103, 10456.
- **Miara, M. D., Boutabia, L., Telaïlia, S., and Véla, E. (2018).** Première mention de *Senecio angulatus* (Asteraceae) en Algérie. *Flora Mediterranea*, 28, 111–118.
- **Miguel, M. G. (2010).** Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287.
- **Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme (MATE). (2011).** *Monographie de la wilaya de Boumerdès*. Alger, Algérie.
- **Mishra, S., Singh, H. B., et Arora, N. K. (2015).** Plant growth-promoting microbes: Diverse roles in agriculture and environmental sustainability. In N. K. Arora (Ed.), *Plant-microbe interaction: An approach to sustainable agriculture* (pp. 1–17). Springer.
- **Moretti, M. D. L., Sanna-Passino, G., Demontis, S., and Bazzoni, E. (2002).** Essential oils for the control of Tuta absoluta on tomato: effectiveness and chemical characterization. *IOBC-WPRS Bulletin*, 99, 107–112.

- **Moussaoui, A., Hadef, Y., & Chaib, M. (2014).** Formulation et évaluation biologique d'un bioproduit à base d'huiles essentielles à usage phytosanitaire. *Revue des Bioressources*, 8(2), 55–64.
- **Muyt, A. (2001).** *Bush invaders of south-east Australia: a guide to the identification and control of environmental weeds in south-east Australia*. R.G. and F.J. Richardson.

N

- **N'Guessan, K., Koné, M., & Kouamé, K. (2016).** Piégeage et lutte physique contre les insectes ravageurs en culture maraîchère. *Journal International de* Biologie Appliquée, 8(3), 112-118.
- **Nerio, L. S., Olivero-Verbel, J., and Stashenko, E. E. (2009).** Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, 101(1), 372–378.
- **Nicot, P., Manceau, C., & Moury, B. (2003).** *Les maladies des plantes*. INRA éditions, Paris. 584 pages.

O

- **Oerke, E.-C. (2006).** Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43.

P

- **Pavela, R. (2011).** Insecticidal activity of some essential oils against larvae of Spodoptera littoralis. *Fitoterapia*, 82(5), 511–518.
- **Pénoël, D., and Pieroni, A. (2019).** History and development of essential oils: From ancient times to the present. In K. H. C. Baser and G. Buchbauer (Eds.), *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (pp. 3–18). CRC Press.
- **Pereira, R. S., Rodrigues, V. M., and Lima, E. O. (2000).** Influence of plant age and harvest season on essential oil yield of Ocimum gratissimum L. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 7(4), 51–56.
- **Picard, C., Boivin, G., and Gagnon, D. (2012).** Influence of floral scents on pollinator behavior: a review. *Journal of Chemical Ecology*, 38(2), 198–205.

- **Pistocchi, A., Dorati, C., Galimberti, F., Udias, A., D'Andrimont, R., Catarino, R., & Schaefer, R. B. (2023).** A screening study of the spatial distribution and cumulative toxicity of agricultural pesticides in the European Union's waters. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1101316.
- **Plata-Rueda, A., Martínez, L. C., dos Santos, M. H., and Zanuncio, J. C. (2020).** Mode of action of essential oils on insects: Recent advances*. Industrial Crops and Products*, 145, 112090.
- **Priestley, C. M., Williamson, E. M., Wafford, K. A., and Sattelle, D. B. (2003).** Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of GABA A receptors. *British Journal of Pharmacology*, 140(8), 1363–1372.

Q

- **Quézel, P. (1962).** *La végétation de l'Afrique du Nord*. CNRS, Paris.

R

- **Ramade, F. (2007).** *Introduction à l'écotoxicologie – Fondements et applications* (2e éd.). Paris : Éditions Tec & Doc – Lavoisier. 618 p.
- **Rasheed, R., Khan, R. R., Iqbal, J., & Ghramh, H. A. (2018).** Resistance of Tuta absoluta (Meyrick) against conventional insecticides and insect growth regulators: A global concern. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, **6**(3), 312–317.
- **Raut, J. S., and Karuppayil, S. M. (2014).** A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62, 250–264.
- **Regnault-Roger, C.** (2008). Les huiles essentielles : des substances d'origine végétale aux propriétés insecticides*. Phytothérapie*, **6**, 16–21.
- **Regnault-Roger, C., Vincent, C., and Arnason, J. T. (2012).** Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology,* 57, 405–424.
- **Rodríguez, J. E., Ligarreto, G. A., & Marín, P. J. (2023).** The tomato (*Solanum lycopersicum L.)* in community development: a bibliometric analysis. *Agronomía Colombiana,* 41(1), 5–17.

S

- **Sahraoui, N. (2012)** Mise au ponit d'un nouveau procédé d'extraction d'huiles essentielles
- **Sanon, A., Diarra, M., & Traoré, S. (2019).** Impact environnemental des insecticides dans les cultures maraîchères. *Bulletin Phytosanitaire*, 12(1), 50-55.
- **Santa, S. (1963).** Catalogue des plantes vasculaires d'Algérie. *Service de la Carte Phytogéographique.*
- **Silva, G. T. P., Figueiredo, K. G., Alves, D. S. S., de Oliveira, D. F., Silva, G. H., Silva, G. T. S., de Oliveira, M. S., Biondi, A., and Carvalho, G. A. (2023).** Survival and demography of the tomato borer (*Tuta absoluta*) exposed to Citrus essential oils and major compounds. *Agriculture*, 13(3), 538.
- **Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2003).** Allelopathic interactions and allelochemicals: New possibilities for sustainable weed management. *Critical Reviews in Plant Sciences,* 22(3–4), 239–311.
- **Singh, H. P., Batish, D. R., Kaur, S., and Kohli, R. K. (2021)**. Allelopathic interactions and their significance in crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 40(2), 131–160.
- **Singh, H. P., Batish, D. R., Kohli, R. K., and Arora, V. (2003).** Phytotoxic effects of parthenin on some agro-ecosystem weeds. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(4), 341–346.
- **Singh, P., Singh, R., et Singh, A. (2019).** Biopesticides: An ecofriendly approach for pest management. *Journal of Applied and Natural Science*, 11 (2), 494–504.
- **Son, T. T., Sophatox, K., & Vannavy, N. (2017).** Étude intégrée du contrôle de *Tuta absoluta* au Cambodge. *Rapport présenté au Congrès International de Protection des Cultures*, Ouagadougou, 28 p.
- **Spherical Insights and Consulting. (2024)**. Discover 5 top biopesticides market solutions in 2024: Key statistics.

T

- **Tapondjou, L.A., Adler, C., Bouda, H., & Fontem, D.A. (2005).** Efficacy of powder and essential oil from Chenopodium ambrosioides leaves as post-harvest grain protectants against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research*, 41(3), 363–371.
- **Tayeb, M., Ghaout, S., et al. (2007).** Méthodes biologiques pour l'évaluation de l'efficacité des insecticides. *HAL*
- **The Insight Partners. (2024).** Biopesticides market key findings by 2031.
- **Tisserand, R., and Young, R. (2014).** Essential oil safety: A guide for health care professionals (2nd ed.). *Churchill Livingstone*.
- **Trdan, S., Laznik, Ž., & Bohinc, T. (2021).** Iuzhnoamerikanskaia tomatnaia mol Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae): Rasprostranenie, biologija i mogućnosti suzbijanja. *Zbornik predavanj in referatov 13. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin z mednarodno udeležbo*, pp. 205–211.
- **Turek, C., and Stintzing, F. C. (2013).** Stability of essential oils: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40–53.

U

- **Urbaneja, A., González-Cabrera, J., Arnó, J., & Gabarra, R. (2009).** Prospects for the biological control of *Tuta absoluta* in tomatoes of the Mediterranean basin*. Pest Management Science,* 65(9), 936–945.

V

- **Verzera, A., Trozzi, A., and Zaccardelli, M. (2004).** Essential oils and their chemical constituents in aromatic plants: History, extraction, and applications. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(5), 380–386.

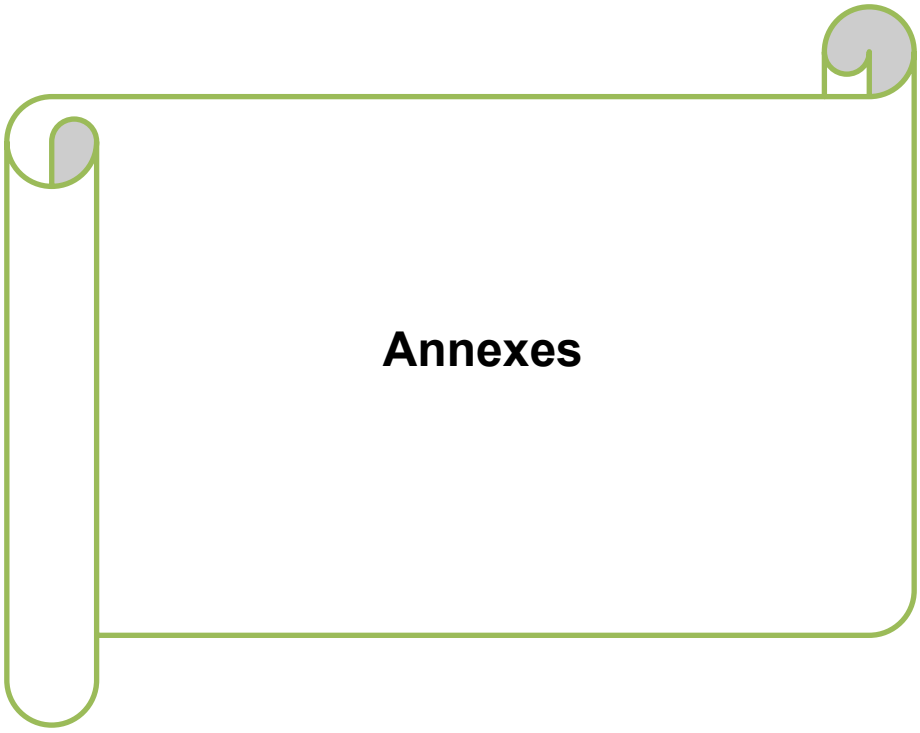
W

- **WeatherSpark. (2024).** Climat moyen à Boumerdès, Algérie, tout au long de l'année.
- **Weber, E. (2003).** Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. *CABI Publishing.*

- **Werrie, P. Y., & Fauconnier, M. L. (2020).** Biopesticides based on essential oils: From formulation to field application. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 24(4), 333–345.
- **Williams, J., and Lusunzi, G. (1994).** Yield calculation in essential oil extraction: a review. *Journal of Essential Oil Research*, 6(5), 455–458.

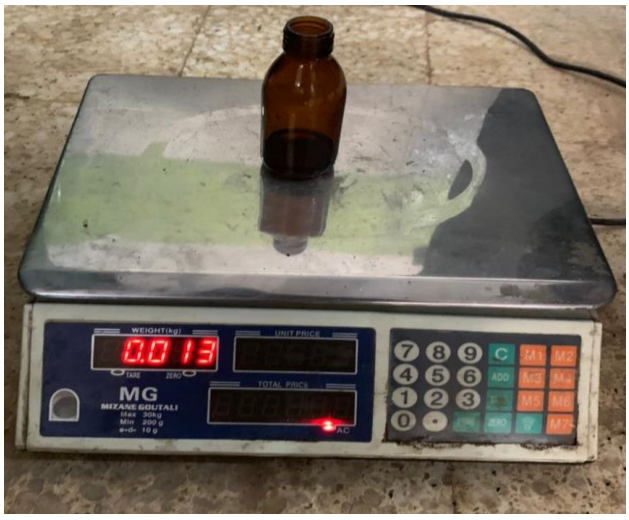
Z

- **Zaid, R., Gauthier, N., & Djazouli, Z. E. (2019).** Dynamique des populations et des infestations de la mineuse sud-américaine de la tomate *Tuta absoluta* sur trois cultures maraîchères en Algérie : influence de la plante-hôte et des variations de température. *Agrobiologia*, 9(2), 1715–1730.
- **Zaouali, Y., Messaoud, C., Ben Salah, A., and Boussaïd, M. (2005).** Oil composition variability among populations in relation to ecological areas in Tunisian Rosmarinus officinalis L. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(5), 512–520.
- **Zenasni, M. (2014).** Extraction des huiles essentielles par micro-ondes sous vide : Application à des plantes aromatiques algériennes. Mémoire de Master, Université d'Alger.


Annexes

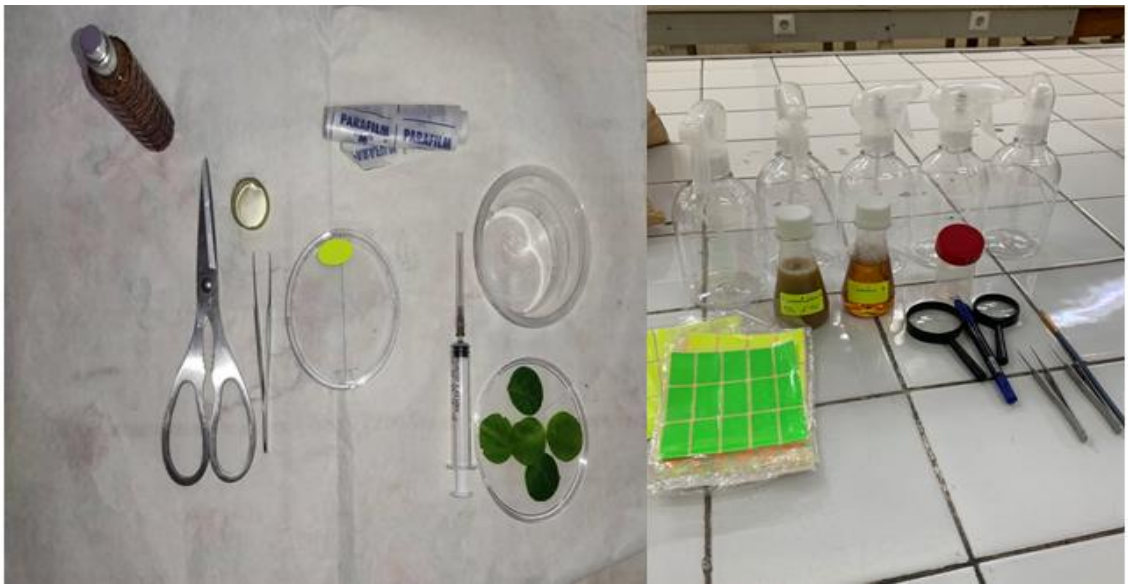
Annexes des figures

Annexe 1. La plante avant et après l'extraction



Annexe 2. Le rendement de l'huile de *Senecio angulatus*

Annexe 3. Les feuilles infestées par *Tuta absoluta* conditionné au laboratoire dans des sachets en papier.



Annexe 4. Matériel utilisé pour les tests

Annexes des tableaux

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,5	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,8	4,82	4,85	4,87	4,9	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,05	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
	0,0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,75	7,75	7,88	8,09

Annexe 5. Tableau de transformation du pourcentage en probit **(Cavelier, 1976)**

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIE ET AGRO-ÉCOLOGIE

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Mastère Académique en Science de la Nature et de la Vie

Spécialité Phytopharmacie et Protection des Végétaux

Thème

Contribution à l'étude de l'activité biologique de l'huile essentielle de *Senecio angulatus* (Asteraceae)

Présenté par : Amira Chaimaa Racha **et** Amrouche Manel

Devant le jury composé de :

Mme REMINI L.	M.C.B	Présidente	USDB1
Mme ALLAL L.	Professeur	Examinatrice	USDB1
Mme BABA-AISSA K.	M.A.A	Promotrice	USDB1
Mr MOUSSAOUI K.	M.A.A	Co-promoteur	USDB1

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2024/2025