



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID_TLEMCEM_
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Science de la Terre et de l'Univers
Département d'Ecologie et Environnement

Laboratoire de Recherche
Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels

MEMOIRE

Présenté par

Ouadfel Nour El houda

Pour l'obtention du Diplôme de

Master académique en Ecologie Animale

Thème

**Effacité insecticide de trois huiles essentielles et trois champignons
sur le puceron des agrumes *Aphis spiraecola* comme alternatives
aux pesticides**

Devant le jury composé de :

Présidente :	Mme TABTI NASSIMA	MCA	Université de Tlemcen
Encadrante :	Mme GAOUAR BENYELLES NASSIRA	Pr	Université de Tlemcen
Co-encadrante :	Mme BOUAYAD ALAM SAMIRA	MCB	Université de Tlemcen
Examinatrice:	Mme DANOUN MERIEM	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENTS

*Avant toute chose, je rends grâce à **Allah**, Le Tout-Puissant, qui m'a accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa volonté, rien de tout cela n'aurait été possible.*

*Je tiens ensuite à adresser mes sincères remerciements à mon encadrante, madame **Gaouar Benyelles Nassira**, pour sa confiance, son suivi rigoureux, ses conseils avisés, son aide et sa disponibilité tout au long de ce mémoire. Son encadrement a été essentiel dans la progression et la finalisation de ce travail.*

*Je remercie également **Mme Bouayad Alam Samira** et **Mme Kholkhal Wahiba**, deux enseignantes qui m'ont apportée leur aide et leurs orientations à des moments clés. Leurs remarques ont enrichi ma réflexion et ont contribué à améliorer la qualité de ce travail.*

*Je remercie aussi **Mme Tabti Nassima** et **Mme Danoun Meriem** d'avoir accepté de lire et d'évaluer mon mémoire.*

*Je tiens à remercier chaleureusement tout le personnel du laboratoire **Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels**, pour leur accueil, leur assistance technique et les moyens mis à ma disposition tout au long de la période de travail.*

*J'adresse aussi mes remerciements à **tous les enseignants du Département Ecologie et Environnement**, pour la formation de qualité qu'ils m'ont offerte durant mon parcours universitaire.*

*Mes pensées reconnaissantes vont également à **ma famille**, en particulier mes parents, pour leur soutien moral, leurs encouragements constants, leurs prières et leur patience durant toutes ces années d'études.*

*Je remercie enfin **mes camarades et amis**, pour leur entraide, leur bonne humeur et les échanges constructifs qui ont ponctué cette période.*

À toutes celles et ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réussite de ce mémoire, je vous dis merci du fond du cœur.

DÉDICACES

Je rends grâce à Allah, Le Tout-Puissant, source de tout savoir, qui m'a guidée pour terminer ce modeste travail que je dédie :

À ma chère maman : *Pour ton amour infini, ta patience sans limite et tes prières. Tu es ma force, mon refuge et ma plus belle bénédiction.*

À mon cher papa : *Pour ton courage, tes sacrifices, tes encouragements constants et ta foi en moi. Tu es un exemple de droiture et de persévérance.*

À ma chère grand-mère Rouba : *Pour ton amour inestimable. ta présence est un pilier et une source d'inspiration constante dans ma vie.*

À mon beau-frère Yassin : *Pour ton soutien, ta gentillesse et tes encouragements. Tu es un frère, je t'aime.*

À ma sœur Radjaa : *Pour ton affection, ton soutien constant et tes mots réconfortants dans les moments difficiles. Ta présence m'a toujours encouragée à aller de l'avant, tu es ma raison de vivre, je t'aime très fort.*

À ma sœur Nihel : *Pour ta tendresse, ta joie de vivre et ton innocence. Tu es une source de bonheur dans ma vie, je t'aime.*

À mon frère Tayeb : *Pour ton soutien silencieux, ta présence rassurante et ta confiance en moi. Merci d'avoir toujours été là, à ta façon, dans chaque étape de mon parcours, je t'aime.*

À ma belle-sœur Aya : *Pour ta douceur, ton attention et tes encouragements sincères. Merci d'avoir été une présence positive et motivante tout au long de ce parcours.*

À mes neveux et ma nièce : *Rayen, wassim, lyad, Ines, je vous aime.*

À mes cousines : *Imene, Hadjer, Rania, Soumia, Romaïssa, Amani, Manel, Sarra, khokha, je vous aime.*

À mes tantes : *Vous êtes les meilleures, je vous aime.*

À mon cher Abdelghani : *Merci pour ton soutien et tes encouragements. Tu es ce bonheur simple qui donne du sens à tout.*

À nazia : *Tu es une sœur je t'aime très fort.*

À mes copines : *Imene, Chaimaa, Ikram merci pour les moments de joie partagés.*

Houda

Liste des Figures

Figure 1: *Aphispiraecola* sur une feuille d'oranger.

Figure 2 : Puceron aptère et ailé (INRA, 2013).

Figure 3 : Cycle biologique complet de *A. spiraecola*(Fraval, 2006).

Figure 4 : Diversité des agrumes.

Figure 5 : Répartition géographique de la production mondiale des agrumes en 2016(FAO, 2016).

Figure 6 : Fleurs des agrumes

Figure 7:Huile essentielle de Lavande (*Lavandulaangustifolia*)

Figure 8:Huile essentielle de la Sauge (*Salviaofficinalis*)

Figure 9 : Huile essentielle de Romarin (*Rosmarinusofficinalis*)

Figure 10 : Aspect macroscopique de *Trichodermasp.* cultivée sur milieu PDA

Figure 11 : Aspect macroscopique de *Aspergillus niger* cultivé sur milieu PDA.

Figure 12 : Situation géographique de la station d'étude (El Fhoul) (DSA, 2011)

Figure 13 : Photographie de la Ferme Belaidouni Mohamed

Figure 14 : moyennes mensuelles et annuelles des précipitations à Zenata (2014-2024)

Figure 15 : moyennes mensuelles et annuelles des températures (2014-2024)

Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la Station de Zenata (2014-2024)

Figure 17 : Climagramme d'Emberger de Zenata (2014-2024)

Figure 18 : Puceron vert des agrumes *Aphispiraecola*

Figure 19 : Dispositif expérimental d'hydrodistillation de type Clevenger pour l'obtention des huiles essentielles

Figure 20 : Feuille d'oranger présentant des piqûres de *Aphispiraecola*

Figure 21 : Répartition du milieu PDA dans les boîtes de Pétri

Figure 22 : Incubation des colonies fongiques

Figure 23 : Les suspensions fongiques

Figure 24 : Activité entomopathogène des champignons sur *Aphispiraecola*

Figure 25 : Evolution de la mortalité de *A.spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE de la sauge *Salviaofficinalis*

Figure 26 : Evolution de la mortalité de *A.spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE de la lavande *Lavandulaangustifolia*.

Figure 27 : Evolution de la mortalité de *A. spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE du romarin

Figure 28 : Aspect macroscopique de *Aspergillus niger*

Figure 29 : Présentation macroscopique des souches de *Trichoderma*. **A :** *Trichodermaspp1* ; **B :** *Trichodermaspp2*

Figure 30: Préparation de la suspension de *Aspergillus niger*

Figure 31 : Résultats d'activité insecticide de *Aspergillus niger* contre *A. spiraecola*

Figure 32: Résultats d'activité insecticide de *Trichoderma spp1* contre *Aphispiraecola*.

Figure 33 : Résultats de l'activité insecticide de *Trichoderma spp2* contre *A.spiraecola*

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production des agrumes en Algérie en 2013 (FAO, 2016).

Tableau 2 : Données mensuelles et annuelles des précipitations enregistrées à **Zenata** de 2014 à 2024.

Tableau 3 : Données mensuelles et annuelles des températures enregistrées à **Zenata** de 2014-2024.

Tableau 4 : Synthèse des données climatiques de la station de Zenata.

Tableau 5 : Pourcentage de mortalité de *Aphis spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations d'HE de la Sauge.

Tableau 6 : Pourcentages de mortalité de *Aphis spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations de l'HE de la lavande *Lavandula angustifolia*.

Tableau 7 : Pourcentages de mortalité de *A. spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations de l'HE du romarin *Rosmarinus officinalis*.

Tableau 8 : Pourcentages de mortalité de *A. spiraecola* après le traitement par *Aspergillus niger*.

Tableau 9 : Taux de mortalité de *Aphis spiraecola* après le traitement par *Trichoderma spp.1*.

Tableau 10 : Pourcentages de mortalité de *Aphis spiraecola* après par *Trichoderma spp2*.

Liste des abréviations

HE : Huile essentielle

A. spiraeicola : *Aphis spiraeicola*

A. niger: *Aspergillus niger*

FAO: Food and Agriculture Organisation

ITAFV: Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne.

PDA La gélose dextrosée à la pomme de terre :

DSA : Direction des Services Agricoles

°C : Degrés Celsius

Q2 : Quotient pluviothermique d'Emberger

LECGEN : Laboratoire Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels

Table de Matières

Introduction

Chapitre I : Etude bibliographique

1. Le puceron vert *Aphis spiraecola*
 - 1.1. Historique et origine
 - 1.2. Morphologie
 - 1.3. Cycle de vie
 - 1.4. Systématique de *Aphis spiraecola*
 - 1.5. Dégâts causés par *Aphis spiraecola*
 - 1.5.1. Dégâts directs
 - 1.5.2. Dégâts indirects
 - 1.6. Lutte contre *Aphis spiraecola*
 - 1.6.1. Lutte chimique
 - 1.6.2. Lutte biologique
 - 1.6.3. Lutte botanique et microbiologique
2. Les agrumes
 - 2.1. Historique et origine
 - 2.2. Classification
 - 2.3. Production des agrumes
 - 2.3.1. Dans le monde
 - 2.3.2. En Algérie
 - 2.4. Importance économique
 - 2.5. Caractéristiques des agrumes

2.5.1. Fleurs

3. Oranger

3.1. Origine et classification botanique

.2. Morphologie

3.3. Floraison

3.4. Fruit

4. Huiles essentielles

4.1. Définition

4.2. Propriété physique

4.3. Huile essentielle de la lavande (*Lavandula angustifolia*)

4.3.1. Origine botanique

4.3.2. Composition chimique

4.3.3. Activité insecticide

4.3.4. Avantages écologiques

4.4. Huile essentielle de la sauge (*Salvia officinalis*)

4.4.1 Présentation botanique

4.4.2. Composition chimique

4.4.3. Propriétés insecticides

4.4.3.1. Effet répulsif

4.4.3.2. Effet sur la reproduction

4.5. Huile essentielle du Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

4.5.1. Présentation botanique

4.5.2. Composition chimique

5. Différents champignons utilisés

5.1. *Trichoderma spp*

5.1.1. Généralités

5.1.2. Effet de *Trichoderma* sur les pucerons

5.2. *Aspergillus niger*

5.2.1. Généralités

6.2. Effets de *Aspergillus niger*

Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

1.2. Etude climatique

1.2.1. Précipitations

1.2.2. Températures

1.2.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

1.2.4. Quotient pluviothermique d'Emberger

2. Matériel utilisé

2.1. Matériel végétal

2.2. Matériel animal

2.3. Matériel fongique

2.4. Huiles essentielles

3. Etude de l'efficacité insecticide des H.E. et des champignons

3.1. Prélèvement des pucerons *Aphis spiraeicola*

3.2. Efficacité insecticide des huiles essentielles

3.2.1. Préparation des huiles essentielles

3.2.2. Exposition des pucerons aux huiles essentielles

3.2.3. Conditions expérimentales et suivi

3.3. Efficacité insecticide des champignons

3.3.1. Culture des souches fongiques

3.3.2. Préparation des suspensions fongiques

3.3.3. Exposition des pucerons aux champignons

Chapitre III : Résultats et discussion

Résultats

1. Etude entomologique

2. Effet des huiles essentielles testées sur *A. spiraecola* selon les différentes concentrations

2.1. Efficacité insecticide de L'huile essentielle de la sauge *Salvia officinalis*

2.2. Efficacité insecticide de l'huile essentielle de la lavande *Lavandula angustifolia*

2.3. Efficacité insecticide de l'huile essentielle de Rosmarinus officinalis (Romarin)

3. Résultats d'activité insecticide des champignons sur *A. spiraecola*

3.1. Identification des souches fongiques

3.1.1. *Aspergillus niger*

3.2. Activité insecticide de *Aspergillus niger* sur *A. spiraecola*

3.3. Activité insecticide de *Trichoderma spp1* sur *A. spiraecola*

3.4. Activité insecticide de *Trichoderma spp2* sur *A. spiraecola*

Discussion

1. Etude entomologique

2. Effets insecticides des huiles essentielles

3. Activité entomopathogène des champignons

4. Intégration dans une stratégie de lutte biologique durable

Conclusion

Références bibliographiques

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'Algérie figure parmi les principaux producteurs des agrumes dans la zone méditerranéenne. En effet, l'industrie algérienne des agrumes joue un rôle majeur sur le plan économique (Schimmenti et al., 2013).

L'agriculture moderne est confrontée à de nombreux défis, notamment la gestion durable des ravageurs des cultures tout en réduisant l'impact environnemental des pesticides chimiques. Dans ce contexte la lutte biologique et l'emploi des extraits naturels, comme les huiles essentielles et les champignons entomopathogènes se présentent comme des options d'avenir.

Les agrumes, notamment l'oranger (*Citrus sinensis*), sont parmi les cultures fruitières les plus importantes en Algérie, particulièrement dans la région de Tlemcen. Toutefois, ces arbres sont souvent ciblés par des insectes suceurs de sève comme *Aphis spiraecola*, ce dernier est un puceron vert largement répandu dans le Bassin méditerranéen dans les régions tropicales et subtropicales, particulièrement délétères, porteurs de virus et cause de la dévaluation des récoltes.

Jusqu'à récemment, la lutte contre ces insectes reposait majoritairement sur l'usage d'insecticides chimiques de synthèse, ils sont efficaces à court terme mais provoquent plusieurs problèmes tels que : perturbation des équilibres écologiques et les risques pour la santé humaine et animale (Regnault-Roger et al., 2012).

Ce travail de recherche vise à évaluer l'efficacité insecticide de trois huiles essentielles de la sauge (*Salvia officinalis*), du romarin (*Rosmarinus officinalis*) et de la lavande (*Lavandula angustifolia*); ainsi que trois champignons entomopathogènes (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*) contre *Aphis spiraecola*.

L'intention est d'examiner leur potentiel en tant qu'alternatives écologiques à faible impact environnemental et sanitaire, dans le cadre d'une stratégie de lutte durable et intégrée.

L'expérimentation a été réalisé in vitro, au niveau du Laboratoire Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels, sur des pucerons prélevés dans la Ferme pilote Belaidouni Mohamed à El Fehoul, Tlemcen, un site où l'infestation par *Aphis spiraecola* est régulièrement constatée.

INTRODUCTION

Ce mémoire présente, dans le premier chapitre une revue bibliographique des principales notions liées aux agrumes, au puceron étudié, aux méthodes de lutte biologique ainsi qu'à l'activité insecticide des huiles essentielles et champignons. Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie expérimentale adoptée, suivie des analyses, des résultats et d'une discussion les confrontant aux données de la littérature.

Une conclusion générale clôture ce travail que nous espérons être intéressant.

Chapitre I

Etude bibliographique

Face aux enjeux croissants liés à la protection de l'environnement et des cultures, ainsi qu'à la réduction de l'utilisation des pesticides, notre travail aujourd'hui représente une alternative durable pour la lutte biologique. Parmi les nombreux ravageurs qui attaquent les champs fruitiers, les pucerons notamment *Aphis spiraecola* représente une menace majeure pour les agrumes, à cause de leur forte reproduction.

L'oranger, espèce d'intérêt économique mondial ainsi que dans la région de Tlemcen est particulièrement vulnérable à ce puceron vert des agrumes.

Notre travail consiste à trouver des solutions de lutte, respectueuses de l'environnement, dont l'utilisation des huiles essentielles, qui sont d'origine végétale ainsi que des champignons entomopathogènes.

Les pucerons ou aphides, constituent un groupe extrêmement répandu dans le monde, qui s'est diversifié parallèlement à celui des plantes à fleurs (Angiospermes) dont presque toutes les espèces sont hôtes d'aphides. Selon **Loussert (1989)**, il existe quatre espèces de pucerons qui se rencontrent fréquemment dans les orangeries méditerranéennes :

- Le puceron noir de l'oranger (*Toxoptera aurantii*)
- Le puceron vert de l'oranger (*Aphis spiraecola*)
- Le puceron vert de Pêche (*Myzus persicae*)
- Le puceron du Cotonnier (*Aphis gossypii*)

Le mode de nutrition des pucerons induit plusieurs types de dommages chez les plantes :

— Les conséquences directes, la perte de sève se traduit par une diminution de la croissance de la plante et une réduction de la taille des feuilles. Il en est de même sur les feuilles qui se crispent et se gaufrant.

— L'émission de la salive ou le simple fait d'enfoncer les stylets dans la plante peut-être une occasion de transmission de particules virales.

— Les pucerons rejettent une substance collante et épaisse (le miellat), la quantité de miellat produite peut représenter plus de 100 fois le poids du puceron.

→ La fumagine forme un dépôt noirâtre à la surface des feuilles de la plante-hôte, réduit la photosynthèse et provoque même une asphyxie de la plante attaquée.

→ Les pucerons peuvent favoriser la prolifération des maladies fongiques, soit en transportant des spores, soit en occasionnant une plus forte capture de spores, la plante devient gluante de miellat.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés au puceron vert des agrumes *Aphis spiraecola* en raison de sa forte présence durant cette année dans les orangeraias de notre région.

1. Le puceron vert *Aphis spiraecola*

Le puceron vert des agrumes est un insecte piqueur appartenant à la famille des Aphididae. Il est caractérisé par sa petite taille et sa couleur vert-claire à jaunâtre, ce qui lui permet de se confondre très facilement sur les feuilles. Il attaque généralement les agrumes notamment l'oranger (*Citrus sinensis*).

1.1. Historique et origine

Aphis spiraecola connu sous le nom de puceron vert des agrumes, est un insecte hémiptère qui appartient à la famille des Aphididae. Il est originaire d'extrême Orient, mais on peut le trouver à l'échelle mondiale, généralement dans les zones tempérées, subtropicales et tropicales.

Il a été introduit en Amérique du Nord en 1907, en Australie en 1926, en Nouvelle Zélande en 1931, dans la région méditerranéenne vers 1939 et en Afrique en 1961 (**Backman et Eastop, 1984**).

En Algérie, son introduction correspondrait avec le développement de la culture du clémentinier (*Citrus clementina*) au début du XXe siècle.

Selon **Mostefaoui et al. (2014)**, cette espèce aurait été constatée initialement dans la région de la Mitidja centrale autour de l'année 1902.

1.2. Morphologie

A. spiraecola appelée couramment puceron vert des agrumes, présente une forme aptère de taille environ 1.3 à 2.0 mm de long, de couleur vert vif à jaunâtre avec des cornicules longues légèrement évasées et de couleur sombre, et une forme ailée de taille similaire à la forme

aptère, mais corps plus effilé avec des ailles membraneuses, transparentes avec des nervures foncées (Figure 1).



Figure 1 : *Aphis spiraecola* sur une feuille d'oranger

Ces ailles permettent la dispersion vers des nouvelles plantes hôtes lorsque les conditions deviennent défavorables (Figure 2).

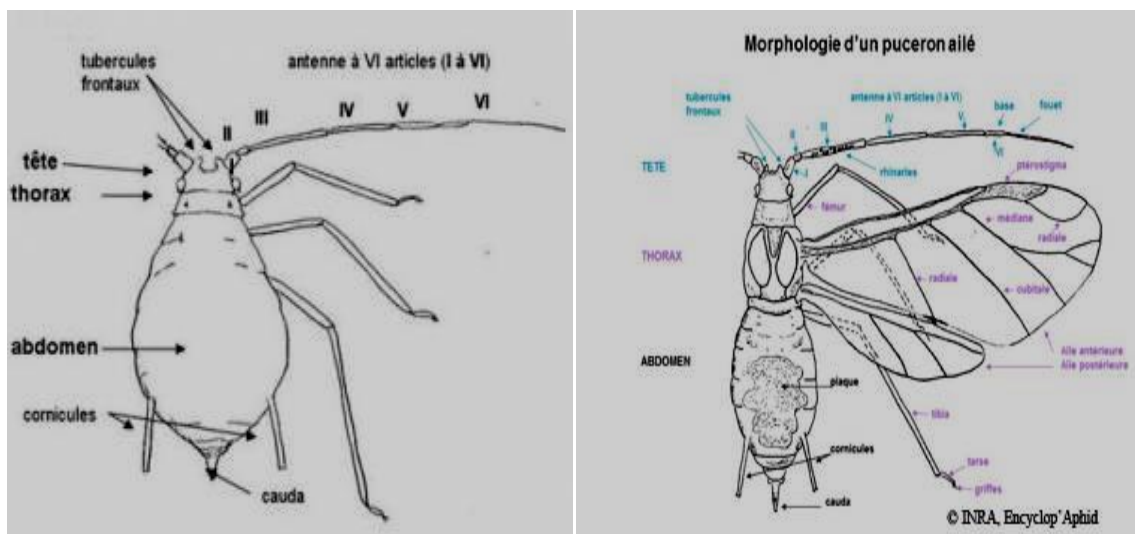


Figure 2 : Puceron aptère et ailé (INRA, 2013)

1.3. Cycle de vie

Aphis spiraecola a été considérée comme une espèce holocylique d'une part, elle alterne une reproduction asexuée pendant plusieurs générations, d'autre part anholocylique, cette dernière se reproduit dans plusieurs régions dans le monde (Deguine et Leclant, 1997).

Le cycle biologique de *A. spiraecolavarie* en fonction du climat. Elle se reproduit notamment par parthénogenèse, permettant de générer hâtivement de nombreuses générations en l'absence de mâles. Cette reproduction asexuée est favorisée par une température douce et une multiplicité des pousses végétales. Dans les régions où le climat est doux, par exemple le nord d'Algérie, la reproduction peut se dérouler toute l'année, notamment dans les vergers d'agrumes (Cortez-Madrigal et al., 2022).

Chaque femelle peut produire entre 30 et 80 œufs au cours de sa vie, cela montre la rapidité des infestations. Le cycle de développement de l'œuf jusqu'à l'adulte (Figure 3) peut être achevé en moins de 10 jours lorsque les conditions sont favorables (Capinera, 2008).

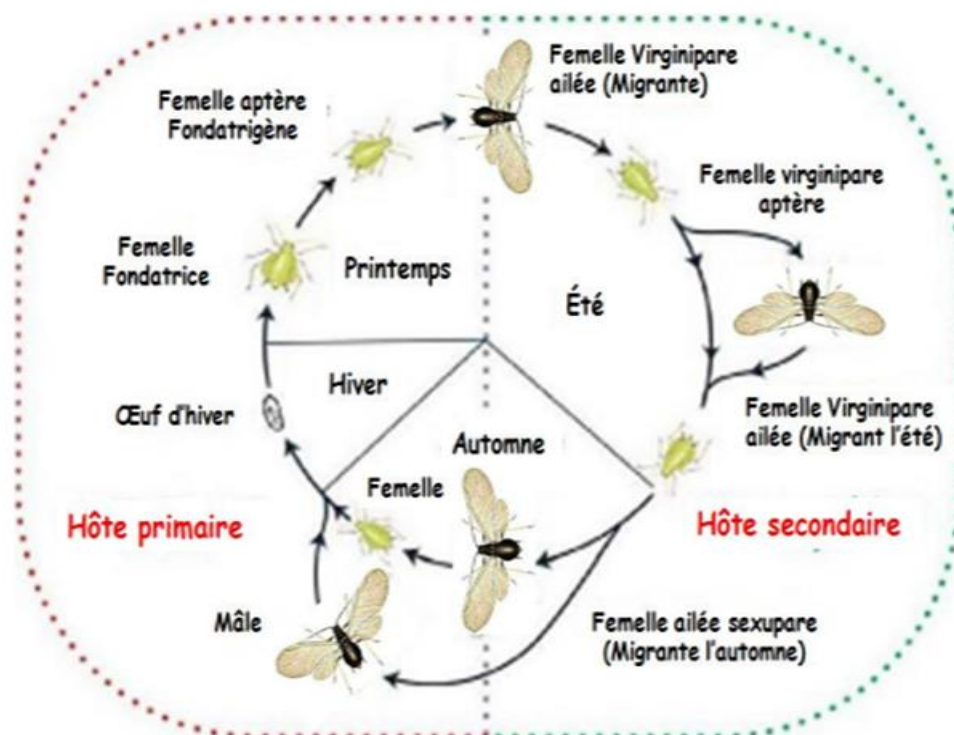


Figure 3 : Cycle biologique complet de *A. spiraecola* (Fraval, 2006)

1.4. Systématique de *Aphis spiraecola*

D'après Remaudiere et al, (1985), les pucerons sont classés comme suit :

Embranchement	Arthropoda
Sous embranchement	Hexapoda

Classe	Insecta
Sous classe	Pterygota
Ordre	Hemiptera
Famille	Aphididae
Genre	Aphis
Espèce	<i>Aphis spiraecola</i>

1.5. Dégâts causés par *A.spiraecola*

Les dégâts engendrés par *A.spiraecola*, sont à la fois directs et indirects sur des plantes hôtes, notamment les agrumes comme l'oranger.

1.5.1. Dégâts directs

L'attaque de ce puceron peut fortement compromettre la croissance et le développement normaux, il se nourrit en piquant les tissus végétaux pour aspirer la sève, ce qui entraîne généralement un affaiblissement de la plante, une déformation des pousses et parfois une chute prématurée des feuilles, des fleurs et même des fruits.

1.5.2. Dégâts indirects

On peut dire que *A.spiraecola* est un vecteur potentiel de virus, ce qui peut amener des pertes économiques majeures.

En outre, lors de leur alimentation, les pucerons excrètent une substance sucrée appelée miellat (liquide épais, dérivé de miel excrété par certaines espèces), ce dernier attire les fourmis et nuit à la qualité commerciale des fruits....

1.6. Lutte contre *A.spiraecola*

Plusieurs méthodes de lutte ont été appliquées contre ce ravageur (puceron vert), incluant différentes techniques de luttés chimique, biologique et naturelles alternatives, ce qui permet de constater qu'il n'y a pas des techniques miracles pour éliminer définitivement les pucerons, car chaque méthode présente des avantages et aussi des inconvénients (**Hulle et al., 1999**).

1.6.1. Luttechimique

L'utilisation des insecticides a été la méthode la plus répandue, pendant longtemps, comme lutte contre les pucerons. Dans plusieurs régions, une résistance croissante a été observée ; ces produits sont devenus moins tolérés en raison de leur toxicité envers les insectes et les pollinisateurs, ainsi que pour la santé humaine (**Bass et al., 2015 ; Jansen et al., 2016**).

1.6.2. Lutte biologique

Cette méthode repose sur l'utilisation d'autres espèces, des ennemis naturels, comme les coccinelles ou les parasitoïdes tels que *Aphidius colemani* qui peuvent jouer un rôle majeur dans la régulation des populations de puceron (**Van Emden et Harrington, 2007**).

1.6.3. Lutte botanique et microbiologique

La lutte botanique repose principalement sur les huiles essentielles de certaines plantes aromatiques, qui présentent une activité insecticide ou répulsive naturelle contre les pucerons. En effet, des études ont montré que les HE tels que celles de la sauge, du romarin et de la lavande agissent par contact ou par inhalation, provoquant ainsi la paralysie ou la mort des pucerons (**Regnault-Roger et al, 2012 ; Isman, 2000**). Leurs efficacités dépendent de leurs compositions chimiques.

Par ailleurs, la lutte microbiologique consiste à utiliser des champignons entomopathogènes tels que *Trichoderma* spp et *Aspergillus niger*, ces derniers ont montré un potentiel intéressant contre les pucerons. Ils agissent en pénétrant la cuticule de l'insecte, se développant à l'intérieur de son corps entraînant ainsi sa mort par les toxines fongiques (**Sharma et al, 2022**).

2. Les agrumes

Les agrumes (oranger, citronnier, pamplemoussier..., etc.), regroupant plusieurs espèces qui appartiennent au genre *Citrus* à la famille des Rutacées, originaires d'Asie du Sud-est, mais aujourd'hui, ils sont cultivés dans toutes les régions du climat méditerranéen et subtropical. Ce sont des plantes cultivées principalement pour leurs fruits riches en vitamine C et en acide organique.

2.1. Historique et origine

La culture des agrumes remonte au cours de l'antiquité, ils font partie des cultures fruitières les plus anciennes et les plus répandues à l'échelle mondiale.

D'après **Wu et al. (2018)** et **Nicolosi et al. (2000)**, des études phylogénétiques ont montré que les espèces primitives comme *Citrus medica* et *Citrus reticulata* seraient à l'origine de la majorité des agrumes cultivés actuels.

2.2. Classification

Règne Plantae

Sous/R Tracheobionta

Division Angiospermes

Classe Dicotylédones

Ordre Sapindales

Famille Rutaceae

Genre *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*

Les agrumes se répartissent en six genres botaniques essentiels (Figure 4), parmi eux, on trouve *Microcitrus*, plus connu sous le nom de Citron caviar, originaire d'Australie. Viennent ensuite *Clymenia*, *Fortunella*, *Poncirus* (souvent utilisé comme porte-greffe), *Citrus* qui regroupent les espèces les plus connues comme le citron et l'orange, ainsi que *Eremocitrus* (**Baha, 2009**).



Figure 4 : Diversité des agrumes

<https://fr.linkedin.com/pulse/les-agrumes-sont-avant-tout-des-fruits-dhiver-violette-rev>

2.3. Production des agrumes

Les oranges sont les principaux représentants de cette catégorie, avec environ 70% des agrumes produits, le groupe inclut également d'autres fruits tels que les mandarines, les clémentines, les citrons jaunes et verts ainsi que les pamplemousses. Ils aiment la chaleur des pays tropicaux et méditerranéens et ne supportent pas les températures en dessous de 0°.

La production mondiale des agrumes en 2009 était très diversifiée (**Figure5**), avec environ 68 millions de tonnes d'orange, 29 millions de tonnes des agrumes de petites tailles par exemple les clémentines et les mandarines, 14 millions de tonnes de citron et de limes et environ 5 millions de tonnes de pomelos (**Loeillet, 2010**).

Les agrumes sont les fruits les plus produits dans le monde, largement cultivés dans les cinq continents. Les principaux pays producteurs sont la Chine avec plus de 27 millions de tonnes suivie par le Brésil avec un chiffre de 18.47 millions de tonnes et les Etats Unis avec plus de 11 millions de tonnes en 2012-2013 (**FAO, 2016**).

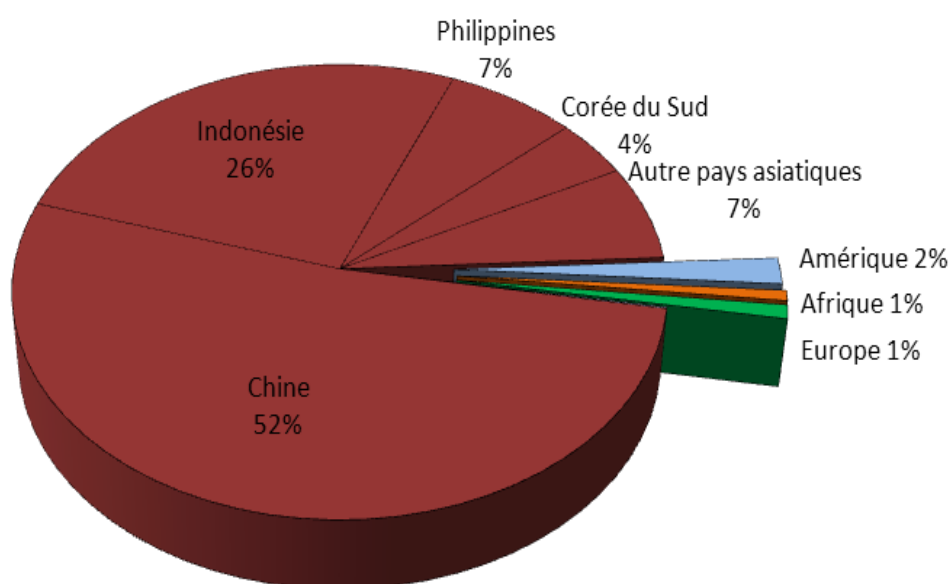


Figure 5 : Répartition géographique de la production mondiale des agrumes en 2016 (FAO, 2016)

2.3.1. Dans le monde

Actuellement, le nombre des pays producteurs d'agrumes dans le monde augmente progressivement, et l'agrumiculture s'observe presque dans toutes les zones du globe, essentiellement dans les régions méditerranéennes et tropicales où cette production est possible. Les agrumes sont économiquement importants. En valeur monétaire, ils représentent le groupe de fruits le plus important du commerce international.

La FAO distingue quatre groupes de productions d'agrumes. Il s'agit du groupe des oranges, du groupe des pamplemousses et pomélos, du groupe des limes et citrons et le dernier groupe des mandarines et clémentines.

La Chine est le premier producteur d'agrumes dans le monde avec une part de 34% et un volume de 29,5 millions de tonnes, elle est suivie par le Brésil avec une part de 2%. L'UE arrive au 3ème rang suivi par le Mexique (6,7 millions de tonnes) et les Etats unis (4,6 millions de tonnes). Le Maroc occupe le septième rang, suivi par la Turquie avec une part de 1,6%. Quant à l'Algérie, elle occupe la 18ème place dans le rang mondiale, avec une production de 1.2 millions de tonnes par an.

2.3.2. En Algérie

La culture des agrumes en Algérie est très ancienne, remontant à plusieurs siècles. Elle a connu un essor notable à partir du XIV^e siècle, suite à l'arrivée des musulmans andalous qui ont introduit diverses techniques agricoles. Dans les années 1960, l'Algérie exportait en moyenne 25 % de sa production. Cependant, au cours de la décennie 1970-1980, l'orientation de la filière a changé : l'accent a été mis sur la satisfaction de la demande nationale au détriment des exportations (**Tableau 1**).

A partir de la fin de 1980 et jusqu'en 1999 l'agrumiculture a connu une régression marquée par un ralentissement de développement, une perte de savoir-faire et un abandon progressif des vergers (ITAFV, 2013).

Tableau 1 : Production des agrumes en Algérie en 2013 (FAO, 2016)

Agrumes	Production (Tonnes)
Oranges	69000
Tangerines	111000
Citrons et limes	41000

La filière des agrumes en Algérie connaît un essor remarquable au cours de la saison agricole 2023-2024, avec une production qui dépasse les attentes, atteignant plus de 18 millions de quintaux, soit plus de 1,8 million de tonnes. Cette nouvelle a été annoncée par le président du Conseil interprofessionnel de la filière agrumes (CNIF/agrumes), lors de la journée d'étude préparatoire du salon régional des agrumes-région Centre, à Alger

Le dynamisme de cette filière est particulièrement prononcé dans les wilayas du sud, notamment El Oued, El Menia et Ouargla, qui ont joué un rôle clé dans l'augmentation de la production nationale. Cette performance représente une hausse significative par rapport à la saison précédente, où la production s'élevait à 16 millions de quintaux.

Le développement de cette activité s'explique en partie par l'expansion des superficies dédiées à la production d'agrumes, avec une augmentation de 5 000 hectares par an au cours des dernières années. Le président a souligné l'importance d'encourager les agriculteurs à

cultiver des variétés anciennes, tout en réduisant les importations de produits destinés à la transformation pendant la période de récolte en Algérie.

Les chiffres avancés par le responsable montrent que l'orange occupe la plus grande surface avec 54 227 hectares (67,77%), suivie par la clémentine avec 17 263 hectares (21,57%), le citron avec 5 833 hectares (7,28%), et la mandarine avec 2 577 hectares (3,22%). La wilaya de Blida se positionne en tête du classement de la production avec 4 millions de quintaux, suivie par Chlef (1,7 million) et Mostaganem à la troisième place avec 1,5 million de quintaux(<https://www.agrialgerie.com>).

2.4.Importance économique

Les agrumes représentent la première catégorie fruitière en termes de valeur en commerce international ; cette importance est justifiée par leur :

- Consommation comme des produit frais ou après leur transformation (jus ; sirop,...etc.);
- Grande qualité nutritive riche, en vitamine C, B6, et constituent une source de fibres d'acide ascorbique et folique, du potassium et du calcium ;
- Effet bénéfique sur la santé en contribuant dans la diminution des risques de maladies cardio-vasculaires et d'autres maladies.

2.5. Caractéristiques des agrumes

Les agrumes sont de petits arbres, ou des arbustes, d'une hauteur de 5 à 10 mètres, assez souvent épineux, avec un feuillage compact et persistant. Leur feuillage est généralement d'un vert foncé, tandis que les jeunes pousses et les jeunes plants affichent une teinte verte plus claire. Le fruit, quant à lui, est composé de segments renfermant les graines (**Praloran, 1971**).

Chez les agrumes, le système racinaire représente plus de 70% de la taille totale de l'arbre. Il est caractérisé par la présence d'une racine pivotante qui peut dépasser 20cm sous la surface du sol. Le réseau de racines fibreuses s'étend généralement bien au-delà de la zone couverte par la canopée(**Walter et Sam, 2002**).

2.5.1. Fleurs

Les fleurs des agrumes appelée aussi fleurs de citrus, jouent un rôle essentiel dans la reproduction, elles sont hermaphrodites bien que certaines variétés puissent présenter des fleurs unisexuées (c'est-à-dire mâles ou femelles séparées). Ces fleurs apparaissent généralement isolées ou en petites inflorescences à l'aisselle des feuilles (Figure 5), selon les espèces et les conditions environnementales (**Davies et Albrigo, 1994**).

Elles se caractérisent par :

- Cinq pétales blancs, parfois teintés de pourpre à l'extérieur ;
- un calice à cinq sépales ;
- un grand nombre d'étamines (15 à 60) ;
- un pistil central, formé d'un ovaire infère à plusieurs loges, surmonté d'un style unique et d'un stigmate.

La floraison principale se produit au printemps, mais certaines espèces, comme le citronnier ou le bigaradier, peuvent présenter plusieurs floraisons dans l'année, notamment en climat méditerranéen ou subtropical (**El-Otmani et al., 2011**).



Figure 6 : Fleurs des agrumes

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oranger>

Les fleurs d'agrumes sont fortement odorantes, ce qui favorise l'attraction des pollinisateurs, en particulier des abeilles (*Apis mellifera*), responsables de la pollinisation entomophile.

Les fleurs d'oranger (*Citrus aurantium*) sont réputées pour leur parfum, largement utilisé dans les domaines de la phytothérapie, de la parfumerie et de la gastronomie.

3. Oranger

3.1. Origine et classification botanique

L'oranger appartient à la famille des Rutaceae. Il provient d'une hybridation ancienne entre deux espèces *Citrus maxima* (le pamplemoussier) et *Citrus reticulata* (le mandariner) (Wu et al, 2018). Il est originaire de l'Asie du Sud-est, notamment entre le sud de la Chine et le nord-est de l'Inde, puis il a été introduit par les arabes dans le Bassin méditerranéen vers le IXe siècle.

3.2. Morphologie

L'oranger est un petit arbre à feuillage persistant, mesurant environ 5 à 12 mètres de hauteur. Il est caractérisé par un tronc court, souvent ramifié dès la base et un feuillage de couleur vert foncé et dense. Les feuilles sont simples, alternes à limbe elliptique avec un pétiole étroitement ailé.

3.3. Floraison

La floraison se produit généralement au printemps, mais d'autres variétés peuvent fleurir plusieurs fois par an lorsque le climat est favorable. Les fleurs sont blanches, parfumées, hermaphrodites et riches en nectar, elles jouent un rôle important dans la polonisation des vergers.

3.4. Fruit

Le fruit de L'oranger appelé hespéride, est de forme sphérique à légèrement aplatie. Il est composé de plusieurs quartiers remplis de pulpe juteuse et sucrée.

Le zeste est riche en huile essentielle d'orange. La couleur varie du vert à l'orange vif, tout dépend du climat, car le froid favorise la colorisation.

4. Huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des extraits naturels volatils, obtenus de différentes parties des plantes aromatiques, soit par distillation à la vapeur d'eau ou bien par expression (**Valnet, 1984**).

Traditionnellement utilisées en parfumerie, cosmétique, produits pharmaceutiques et aromathérapie, les HE présentent un intérêt croissant en agriculture pour leurs propriétés insecticides, fongicides et répulsives

Leur efficacité contre les ravageurs, notamment les pucerons, a été démontrée par plusieurs études (**Regnault-Roger et al., 2012**).

4.1. Définition

Les huiles essentielles sont les composés volatils formés par diverses substances organiques, qui peuvent être des alcools, des cétones, des éthers ou des aldéhydes. Elles sont généralement liquides à température ambiante, et grâce à leur volatilité, peuvent être extraites par distillation en courant de vapeur d'eau. En général, elles sont responsables de l'odeur des plantes (**Pengelly, 1996**).

4.2. Propriétés physiques

Les huiles essentielles ont des propriétés organoleptiques (caractéristiques d'une substance qui sont perceptibles par les organes des sens : saveur, odeur, aspect et consistance de l'objet) communes comme le fait d'être liquides à température ambiante, d'être volatiles et entraînaient à la vapeur d'eau, elles sont sensibles à l'oxydation et changent de couleur, elles ont une conservation limitée à la lumière et à la chaleur. Il convient de les conserver à l'abri de la lumière et de l'air (**Ammad, 2016**).

4.3. Huile essentielle de la lavande (*Lavandula angustifolia*)

4.3.1. Origine botanique

La lavande vraie ou lavande officinale, appartient à la famille des Lamiacées. Elle est originaire du Bassin méditerranéen, notamment les zones montagneuses du sud de la France, l'Italie et l'Espagne ainsi que le Maghreb. Elle est cultivée traditionnellement pour ses caractéristiques aromatiques, médicinales ou bien insecticides.

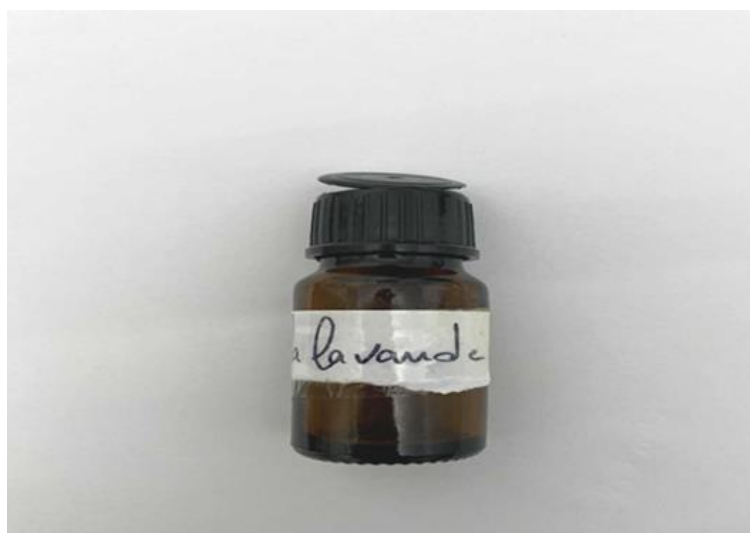


Figure 7: Huile essentielle de Lavande (*Lavandula angustifolia*)

4.3.2. Composition chimique

L'HE de lavande est obtenue par hydrodistillation, elle contient 49 composés terpéniques dont les principaux sont :

- ✓ L'acétate de linalyle (15.26 %)
- ✓ Le linalol (10.68 %)
- ✓ Le 1.8 – cinéole (10.25 %)
- ✓ L'γ-terpinène (11.2 %)
- ✓ Le camphre (11.25 %) (Laib et Barkat, 2011).

4.3.3. Activité insecticide

L'HE de lavande a démontré une activité insectifuge et insecticide contre plusieurs espèces de ravageurs, notamment :

- Des pucerons tels que *Aphis spiraeicola*.
- Des mouches (*Muscadomestica*)
- Des coléoptères et des larves de moustiques.

Elle agit principalement par une action neurotoxique, en perturbant le système nerveux des insectes via l'inhibition de l'acétylcholinestérase (Koul et al., 2008). Elle est également utilisée pour répulsion ou fumigation, notamment dans des traitements post-récolte ou en milieu confiné.

4.3.4. Avantages écologiques

- Biodégradable et à faible impact sur les organismes non cibles ;
- Alternative naturelle aux pesticides de synthèse ;
- Compatible avec l'agriculture biologique.

4.4. Huile essentielle de la sauge (*Salvia officinalis*)

4.4.1. Présentation botanique

La sauge (*Salvia officinalis*) est une plante vivace qui appartient à la famille des Lamiacées, originaire du Bassin méditerranéen, elle est utilisée pour ses propriétés médicinales, culinaires mais aussi pour ses effets insecticides naturels.

Cette plante produit une huile essentielle très riche en composants bioactifs qui agissent comme répulsifs ou toxique pour divers insectes ravageurs.

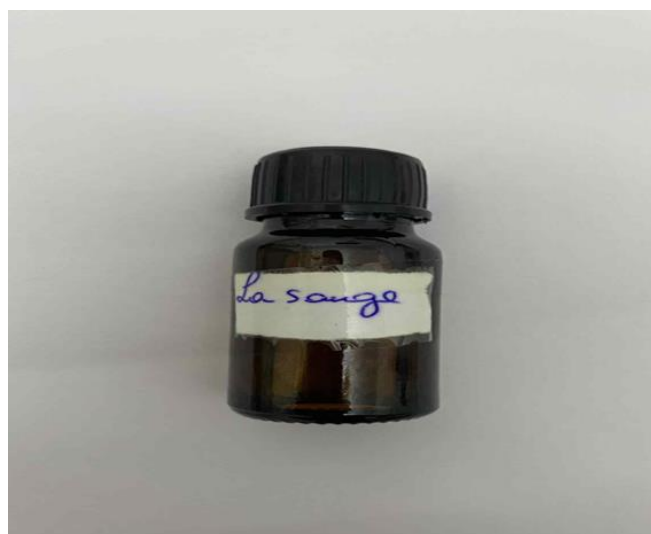


Figure 8: Huile essentielle de la Sauge (*Salvia officinalis*)

4.4.2. Composition chimique

L'HE de la sauge contient plusieurs composés monoterpènes et sesquiterpènes, qui sont reconnus pour leurs effets neurotoxiques sur les insectes en inhibant par exemple l'acétylcholinestérase, ce qui perturbe la transmission nerveuse. Parmi les composants les plus fréquents : le 1.8-cinéole, le camphre, l' α -thuyone et le β -caryophyllène (Isman, 2000 ; Abdelghaleil et al, 2009).

4.4.3. Propriétés insecticides

4.4.3.1. Effet répulsif

Des études ont montré que l'huile essentielle de sauge a également un fort pouvoir répulsif, elle a provoqué un taux de répulsion supérieure à 90 % avec un LC50 de 0.027 μ L/cm² en 24 heures (Harizia et al, 2021).

4.4.3.2. Effets sur la reproduction

Des effets sublétaux ont aussi été observés, ils sont intéressants dans une perspective de la lutte intégrée, car ils permettent de limiter les populations sur le long terme, parmi ces effets : une réduction de la fécondité et une perturbation du développement des insectes.

4.5. Huile essentielle du Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

4.5.1. Présentation botanique

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) est un arbrisseau méditerranéen appartenant aussi à la famille des Lamiacées, largement cultivé pour ses propriétés. Depuis des années, il suscite un intérêt croissant en protection des cultures en raison des propriétés insecticides de son huile essentielle.

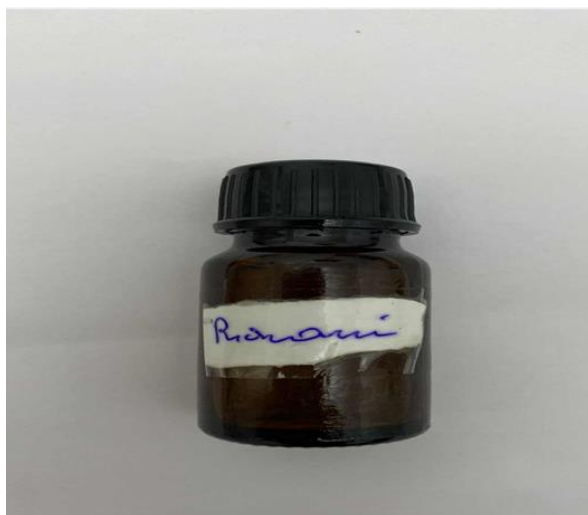


Figure 9 : Huile essentielle de Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

4.5.2. Composition chimique

L'huile essentielle est très riche en composés bioactifs responsable de ses effets insecticides. Ces molécules ont démontré une activité neurotoxique chez les insectes, par perturbation de la transmission synaptique, ou bien action sur les canaux ioniques (Enan, 2001 ; Pavela, 2015).

5. Différents champignons testés

Les moisissures représentent un groupe hétérogène de champignons microscopiques saprophytes et, parfois parasites, des organismes eucaryotes, thallophytes (filaments mycéliens à croissance apical).

La majorité des champignons se distinguent par un corps immobile (thalle), constitué d'extensions apicales de filaments cloisonnés (hyphes). Ils présentent un cycle de vie caractérisé par une reproduction sexuée et/ou asexuée, et forment fréquemment un thalle commun qui s'étend sur des débris organiques. Selon Waghunde et al. (2016), la dégradation des macromolécules doit débiter dans l'environnement externe.

En général, les champignons sont aérobies, tendent vers l'acidité (pH variant de 3 à 7) et sont mésophiles (température idéale de 20 à 30 °C). Toutefois, quelques espèces sont psychrophiles, prospérant à des températures basses ($T^{\circ} < 15^{\circ}\text{C}$ ou parfois même $< 0^{\circ}\text{C}$, comme *Cladosporium herbarium* et *Thamnidium elegans*) Waghunde et al. (2016). Ces dernières possèdent fréquemment des caractéristiques lytiques significatives (cellulolytique, pectinolytique, amylolytique, protéolytique, lipolytique, etc.) qui les transforment en agents de décomposition nuisibles tout en étant parfois des alliés précieux (raffinement des fromages, génération d'enzymes ...).

5.1. *Trichoderma* spp

5.1.1. Généralités

Le genre *Trichoderma* regroupe des champignons filamenteux, répandus largement dans les sols, les organismes en décompositions et la rhizosphère (Figure 10).

En général, les caractéristiques morphologiques ont été utilisées pour classer les espèces de *Trichoderma*. Waghunde et al. (2016) ont déclaré que les espèces appartenant au genre *Trichoderma* comptent environ 10000 espèces, dont la croissance est la plus rapide.

Au début, les souches de *Trichoderma* apparaissent blanches et cotonneuses, puis se transforment en touffes compactes vert jaunâtre à vert foncé, en particulier au centre d'un point de croissance ou en zones concentriques en forme d'anneaux sur la surface de gélose.

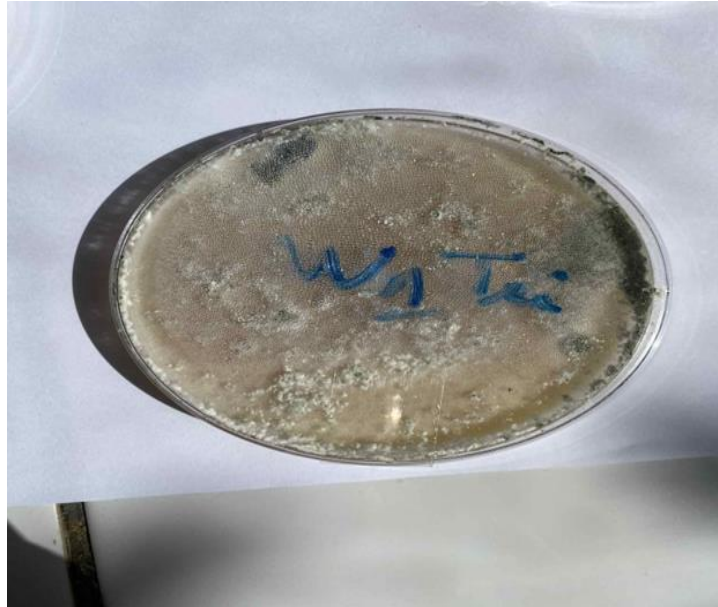


Figure 10 : Aspect macroscopique de *Trichoderma* cultivée sur milieu PDA

5.1.2. Effet de *Trichoderma* sur les pucerons

Des recherches ont montré que la présence de *Trichoderma* dans la rhizosphère diminuait l'attractivité des plantes pour les pucerons et cela se fait par la modification du profil chimique des exsudats foliaires (Pieterse et al., 2014).

5.2. *Aspergillus niger*

5.2.1. Généralités

Aspergillus niger est un champignon filamenteux ascomycète, largement répandu dans les sols, les débris organiques et les environnements qui sont riches en matière organique (Figure 11). Il est généralement utilisé dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques pour la production d'enzymes telles que : (amylases, pectinases) et l'acide citrique.

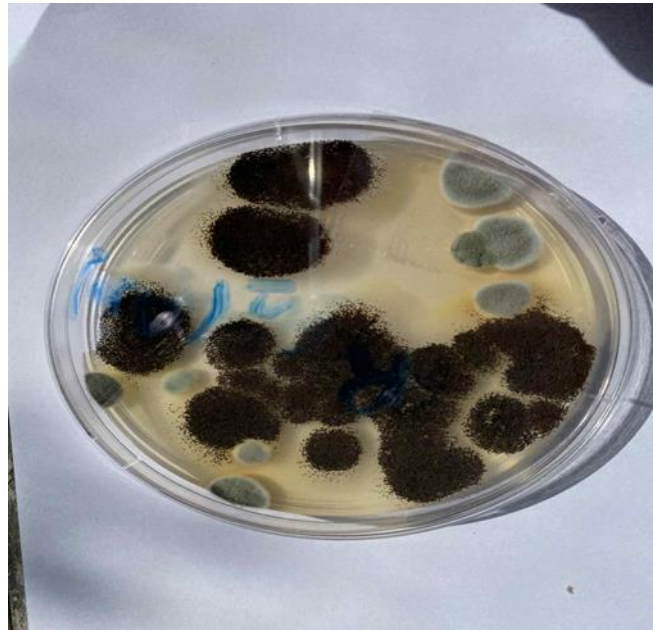


Figure 11 : Aspect macroscopique d'*Aspergillus niger* cultivé sur milieu PDA

6.2. Effets de *Aspergillus niger*

La majorité des travaux portent sur l'activité de ce champignon sur d'autres insectes par exemple : les coléoptères, les moustiques..., mais certaines études suggèrent que *A.niger est* généralement efficace contre les hémiptères ; une étude de **Mahmoud et al. (2017)** a montré un taux de mortalité de plus de 70 % chez *Aphisgossypii* après un traitement fait par des extraits fongiques.

Chapitre II

Matériel & Méthodes

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'efficacité insecticide de trois huiles essentielles (Lavande, Sauge et Romarin) ainsi que trois champignons dont deux du genre *Trichoderma* spp et un du genre *Aspergillus niger*, sur le puceron vert des agrumes *Aphis spiraecola*, dans le but d'identifier des alternatives biologiques aux insecticides chimiques dans la lutte contre les ravageurs.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

La wilaya de Tlemcen s'étend sur une superficie de 902 000 ha, elle est située dans le nord-ouest de l'Algérie, entre 34° et 35°30 de latitude nord et entre 1°12 et 2°30 de longitude ouest.

Notre travail s'est déroulé au niveau de la Ferme Belaidouni Mohamed, située à El Fehoul, commune de la wilaya de Tlemcen, à une altitude moyenne de 170 m. Le verger couvre une superficie de 10 ha et comprend notamment des orangers, des clémentiniers, citronniers etc....

1.2. Etude climatique

Notre station bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance semi-aride. Ce dernier est caractérisé par des étés chauds et très secs et des hivers doux à largement froids et humides (Daget, 1980).

L'objectif de cette étude est de caractériser les principales variables météorologiques (températures, précipitations...).

Dans le cadre de cette étude, les données climatiques ont été obtenues de la station météorologique de Zenata, la plus proche et la plus représentative des conditions climatiques de notre station d'étude.

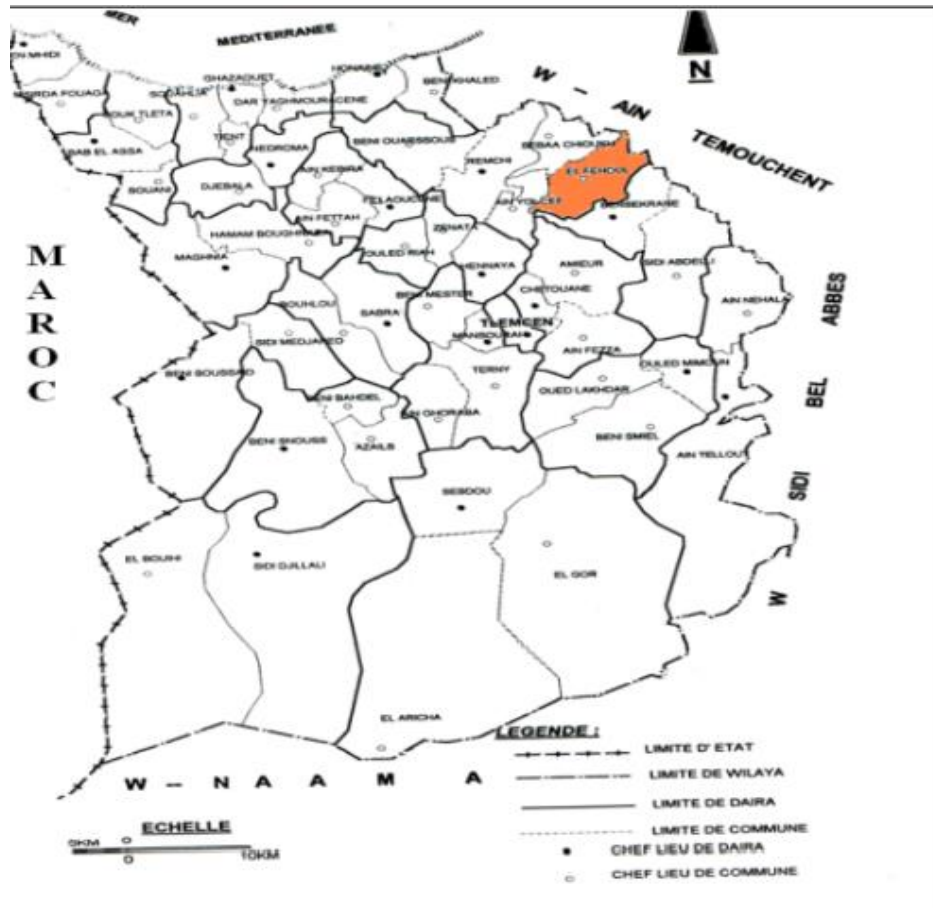


Figure 12 : Situation géographique de la station d'étude (El Foul) (DSA, 2011)

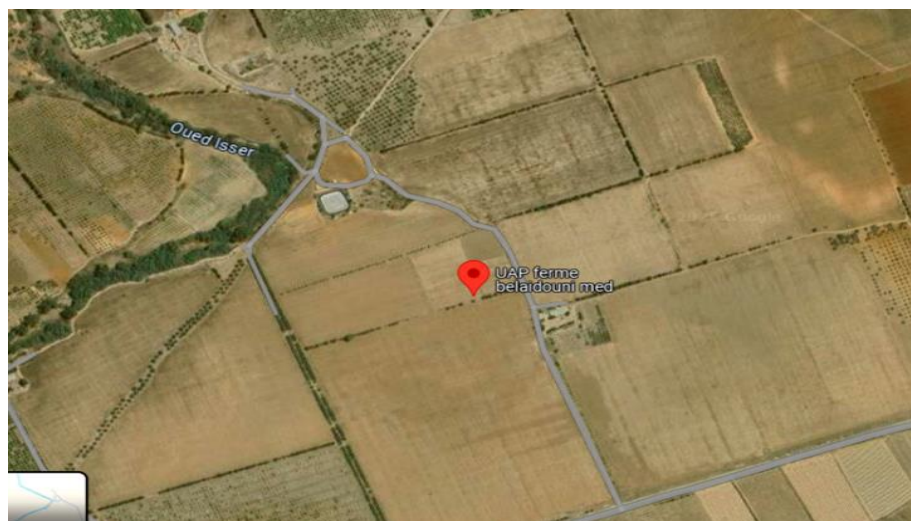


Figure 13 : Photographie de la Ferme Belaidouni Mohamed (Google Maps)

1.2.1. Précipitations

Les précipitations sont l'ensemble des formes d'eau qui tombent de l'atmosphère vers la surface terrestre, liquides ou bien solides. Elles comprennent les pluies, bruine, neige, grêle et parfois le brouillard dense ou la rosée, malgré le fait qu'il ne soit pas considéré toujours comme des précipitations.

Les précipitations varient fortement d'une région à une autre, suivant plusieurs facteurs climatiques, géographiques ou atmosphériques, et cela en fonction du relief, de la latitude et des courants marins.

Tableau 1 : Données mensuelles et annuelles de précipitations enregistrées à **Zenata** de 2014 à 2024.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitations	43.23	27.01	28.05	31.03	17.43	5.13	0.85	1.61	8.22	19.25	22.97	26.82

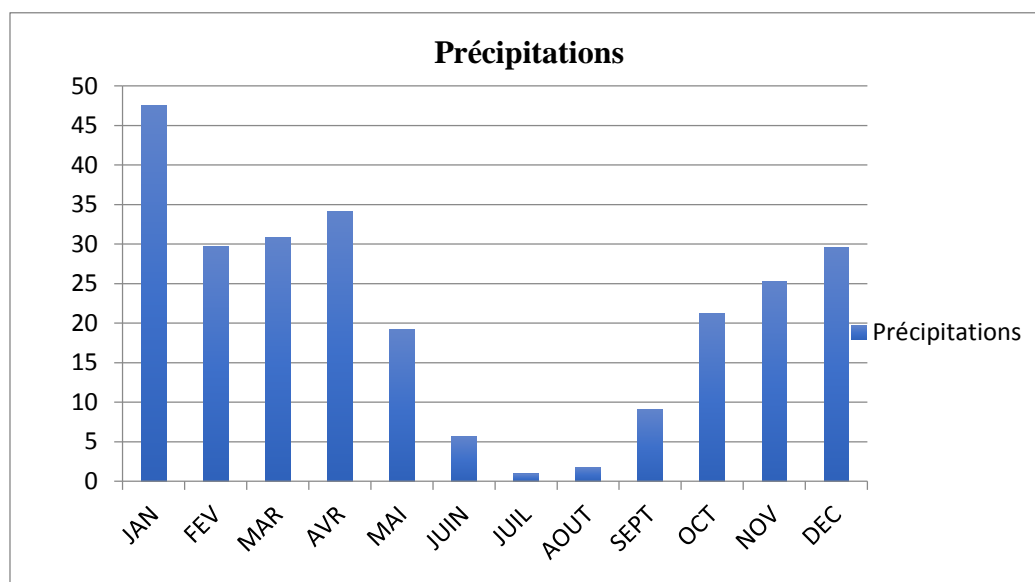


Figure 14 : moyennes mensuelles et annuelles des précipitations à Zenata(2014-2024)

L'analyse des précipitations pendant la période 2014-2024 montre que janvier présente le cumul de précipitations le plus élevé, juillet étant le mois le plus sec.

1.2.2. Températures

La température est une grandeur physique qui mesure le degré d'agitation thermique. En météorologie, elle est généralement exprimée en **degrés Celsius (°C)**. C'est un facteur abiotique majeur qui influence : la répartition des espèces, la croissance des végétations et le développement des insectes et des ravageurs...

Les températures moyennes mensuelles et annuelles calculées sur la période allant de 2014 à 2024 se présentent comme suit :

Tableau 2 : Données mensuelles et annuelles de températures enregistrées à **Zenata** de 2014-2024

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Jun	Juill	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Températures	11.88	13.45	15.49	18.08	22.02	25.3	28.44	29.82	26.13	22.23	16.83	13.41

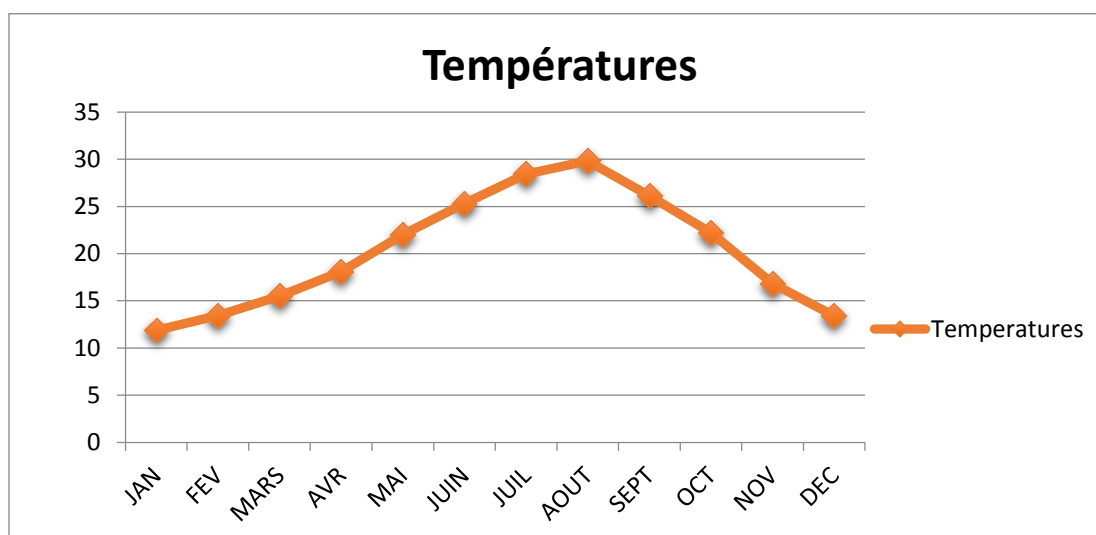


Figure 15 : moyennes mensuelles et annuelles des températures (2014-2024)

- Les températures moyennes mensuelles :

Le mois de janvier présente la moyenne de températures la plus basse 5.39°C, alors que le mois d'aoutcomporte la moyenne de températures la plus élevée à 34.35°C.

- Les températures maximales :

L'analyse des données climatiques montre que les températures les plus élevées sont enregistrées au mois d'aout.

- Les températures minimales

Les températures présentées dans la **Figure 15** montrent que le mois le plus froid est celui de janvier.

1.2.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Bagnouls et Gausсен(1953) ont établi un outil graphique très utilisé en bioclimatologie et en écologie dans le but de visualiser le climat d'une région donnée. Ce diagramme est une représentation des variations de températures et précipitations dans la région étudiée. Un mois est considéré sec lorsque la courbe des précipitations est au-dessous de la courbe des températures, c'est-à-dire P est inférieur ou égal à 2T.

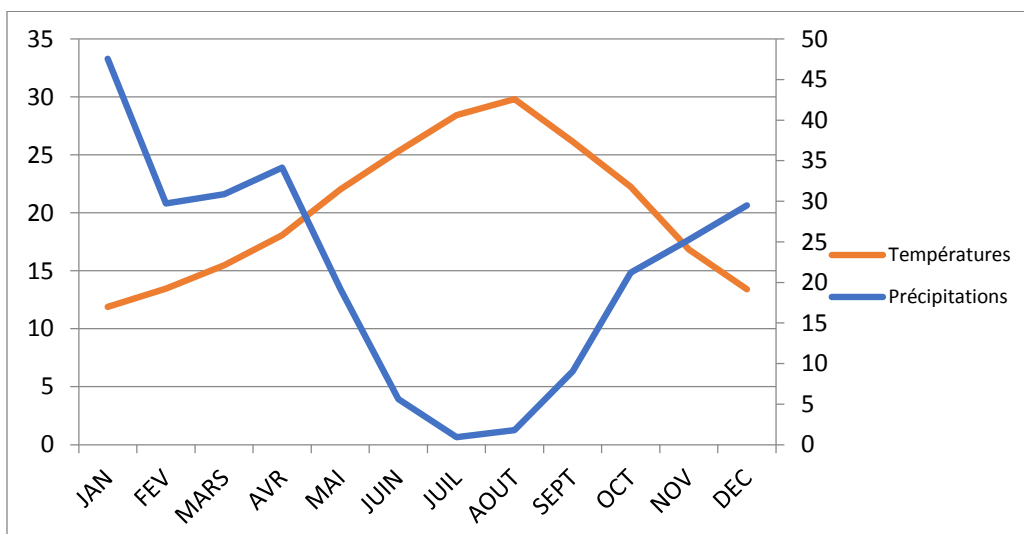


Figure 16 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la Station de Zenata (2014-2024)

Le diagramme (**Figure 16**) montre que la période sèche est de six mois, de mai à octobre, elle correspond à la saison estivale.

Concernant la période pluvieuse, elle s'étale sur le reste de l'année, se distinguant par l'occurrence de deux pics de précipitations en février et avril.

1.2.4. Quotient pluviothermique d'Emberger

En 1955, **Emberger** a proposé une classification des sous-types du bioclimat méditerranéen, qui se base sur deux critères : la rigueur des hivers et l'humidité du climat en général. Cette classification repose principalement sur le calcul du quotient pluviothermique Q_2 (**Emberger, 1955 ;Emberger, 1971 ;Dajoz, 1976**) :

$$Q_2 = 2000p/M^2 - m^2$$

P : précipitations moyenne.

M : Moyenne des maximums du mois le plus chaud (°C).

m : Moyenne des minimums du mois le plus froid (°C).

Tableau 3 : Synthèse des données climatiques de la station de Zenata

Station	Période	P (mm)	M (K)	m (K)	Q^2
Zenata	2014-2024	231.64	307.5	278.54	27.29

Le Q_2 calculé (**Tableau 3**) place notre zone d'étude dans le semi-aride à hiver tempéré (**Figure 17**).

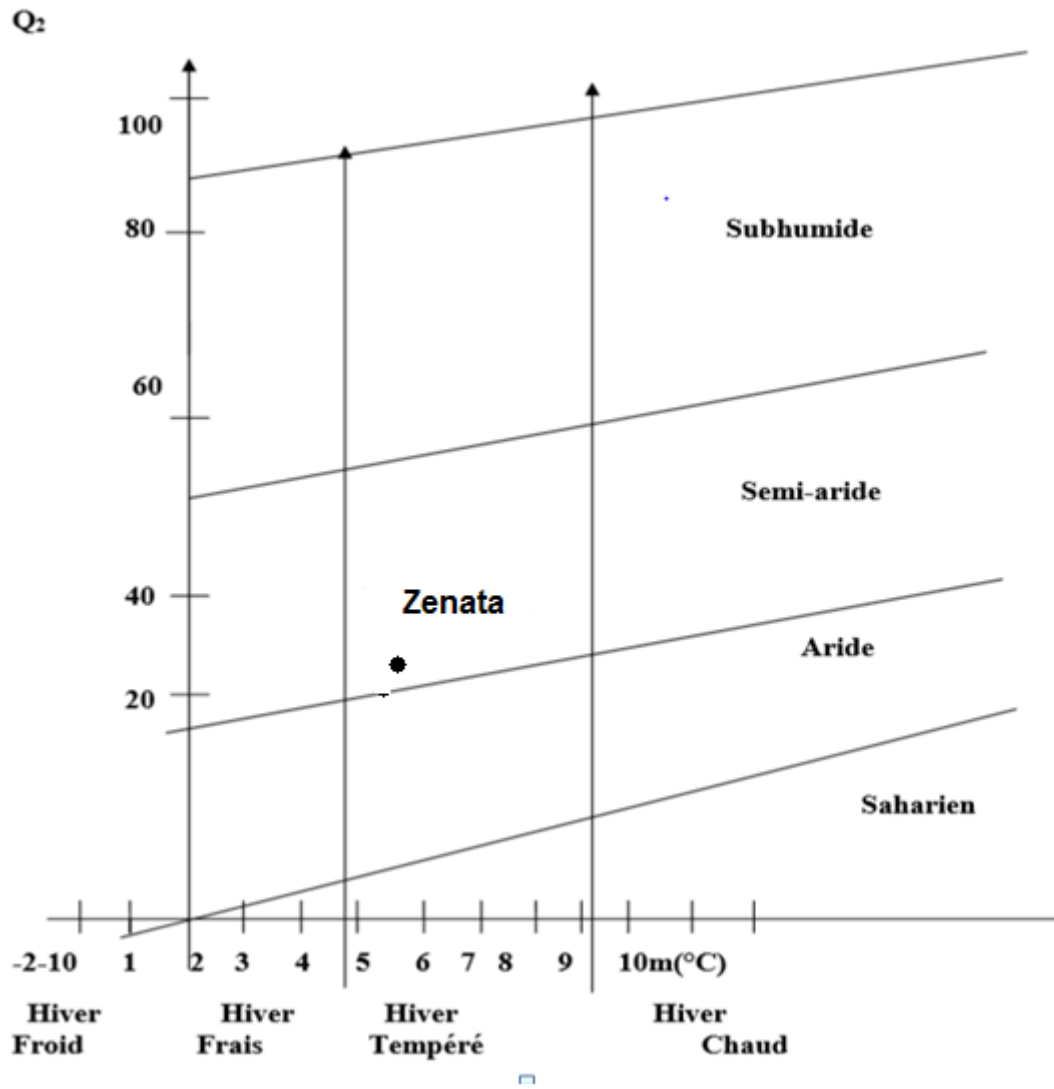


Figure 17 :Climagramme d'Emberger de Zenata (2014-2024)

2. Matériel utilisé

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est constitué des feuilles d'orangers (*Citrus sinensis*) cultivés au niveau de la ferme Belaidouni Mohamed située à El Fehoul.

2.2. Matériel animal

Le puceron vert *Aphis spiraecola* a été récolté sur les feuilles infestées des agrumes (orangers) dans la ferme Belaidouni Mohamed.



Figure 18 : Puceron vert des agrumes *Aphis spiraecola*

2.3. Matériel fongique

Le matériel fongique utilisé dans notre étude est constitué de trois champignons entomopathogènes : *Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*.

Ces souches fongiques nous ont été fournies par nos collègues de Master 2 Toxicologie ayant réalisé ces isolats précédemment.

2.4. Huiles essentielles

Les extractions des huiles essentielles de lavande (*Lavandula angustifolia*), de romarin (*Rosmarinus officinalis*) et de la sauge (*Salvia officinalis*) utilisées dans cette étude ont été réalisées au laboratoire LASNABIO (Laboratoire des Substances Naturelles et Bioactives) après avoir obtenu l'autorisation du Directeur de laboratoire, Mr Ghalem S. que nous remercions.

Les huiles essentielles ont été extraites à l'aide d'un dispositif d'hydrodistillation de type **Clevenger**. L'hydrodistillation est une technique classique utilisée pour l'extraction des huiles

essentielles à partir des plantes aromatiques. Elle se base sur la Co-distillation à la vapeur d'eau des substances volatiles dans les tissus végétaux.

Le système consiste à porter l'eau à ébullition en présence de la plante, ce qui permet la libération des huiles essentielles. Ces derniers, non miscibles à l'eau, se séparent naturellement. Ces vapeurs contenant de l'eau et les composés aromatiques, sont par la suite condensées par le refroidissement.



Figure 19 : Dispositif expérimental d'hydrodistillation de type Clevenger pour l'obtention des huiles essentielles

À l'aide d'une pipette Pasteur, l'huile essentielle est récupérée à la surface de l'essencier, puis stockée à 4°C dans de petits flacons en verre opaque, hermétiquement fermés, pour éviter toute détérioration due à la lumière, à l'air et aux variations de température.

3. Etude de l'efficacité insecticide des H.E. et des champignons

3.1. Prélèvement des pucerons *Aphis spiraecola*

Dans nos prélèvements des feuilles d'orangers infestées, nous avons choisi des champs dans lesquels nous nous sommes basés sur les critères spécifiques suivants :

- Un champ non traité ;
- Un nombre d'orangers important.

Les feuilles ont été récoltées au hasard des arbres, avec un nombre non précis. Les prélèvements ont été effectués au niveau du verger, selon un échantillonnage aléatoire.

Le choix des feuilles à prélever s'est fondé sur l'observation des piqures et des feuilles infestées par les pucerons *A. spiraecola*.



Figure 20 :Feuille d'oranger présentant des piqures de *Aphis spiraecola*

Les échantillons ainsi obtenus ont été placés dans des sachets, puis transportés au laboratoire, pour servir aux différentes expérimentations.

Les différents tests ont été menés au niveau du **Laboratoire Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels**, sous des conditions contrôlées et selon un protocole adapté à l'échelle in vitro.

3.2. Efficacité insecticide des huiles essentielles

3.2.1. Préparation des huiles essentielles

Les HE de la sauge, du romarin et de la lavande ont été utilisées telles quelles pour les tests.

Différentes concentrations ont été effectuées (0.1ml, 0.5ml et 1ml).

3.2.2. Exposition des pucerons aux huiles essentielles

Dans des boîtes de Pétri, des feuilles d'orangers, lavées et bien séchées ont été placées et chaque feuille a été infestée avec un nombre de 5 pucerons vivants chacune, puis ont été pulvérisées avec des concentrations différentes (0.1ml, 0.5ml, 1ml) de chaque HE à l'aide

d'un pulvérisateur manuel fin. Pour chaque concentration trois répétitions ont été effectuées. Des témoins ont été traités avec l'eau distillée.

3.2.3. Conditions expérimentales et suivi

Les boîtes de Pétri ont été conservées à une température ambiante de 25°C en moyenne, loin de l'exposition solaire.

La mortalité des pucerons a été observée et notée à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h après le traitement.

3.3. Efficacité insecticide des champignons

3.3.1. Culture des souches fongiques

Les isolats de *Trichoderma* spp et *Aspergillus niger*, obtenus par nos collègues de Master 2 Toxicologie et Master 2 Microbiologie et Contrôle de Qualité que nous remercions, nous ont servi pour nos expérimentations.

Nous avons mis en culture ces isolats sur gélose PDA, coulé dans des boîtes de Pétri, en milieu stérile.

Le milieu dextrose de pomme de terre (PDA) a été préparé en utilisant un milieu déshydraté fournis par le laboratoire par la méthode suivante :

34 g du milieu en poudre a été solubilisé par 1L d'eau distillée sous chauffage et agitation continue jusqu'à l'ébullition. Après la répartition en flacon de 200 ml, la stérilisation a été effectuée en autoclave à 120°C pendant 15 min. dans le but d'éviter toute contamination bactérienne on a ajouté 1.5 ml d'acide lactique à 25% par flacon de 200 ml.



Figure 21 :Répartition du milieu PDA dans les boîtes de Pétri

Après une incubation à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ (**Figure 22**) pendant une semaine, les colonies fongiques ont produit un mycélium dense et sporulé (phase de développement des champignons).



22 :Incubation des colonies fongiques

3.3.2. Préparation des suspensions fongiques

Les suspensions fongiques ont été préparées en grattant les conidies à l'aide d'une spatule stérile, et ont été mis dans 9 ml d'eau distillée stérile dans un tube. Ensuite, ils ont été ajustés à 106 UFC/ml en mesurant la densité optique à 600 nm par spectrophotomètre. Elle doit être comprise entre 0.1 et 0.2.



Figure 23 : Les suspensions fongiques

3.3.3. Exposition des pucerons aux champignons

L'évaluation de l'activité entomopathogène des deux souches de *Trichoderma* spp et la souche de *Aspergillus niger* contre *Aphis spiraecola* au niveau du Laboratoire Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Naturels LECGEN a été réalisée in vitro, dans des conditions contrôlées.

Des feuilles d'orangers prélevées, lavées et séchées à l'air libre ont été disposées sur des boîtes de Pétri stériles, d'un diamètre de 9 cm, afin de maintenir un taux d'humidité favorable.

Chaque boîte a été infestée avec 5 individus vivants de *Aphis spiraecola*, et transférés à l'aide d'un pinceau fin pour ne pas les blesser.

Ensuite, chaque échantillon a été pulvérisé 1 ml de la suspension fongique des champignons *Trichoderma* spp1, *Trichoderma* spp2 et *Aspergillus niger*. Trois répétitions accompagnées par un témoin ont été effectuées.

Par la suite, les boîtes ont été fermées et conservées à la température ambiante de 25°C en moyenne. La mortalité a été observée à 24 h, 48 h, 72 h, 96 h après exposition.

Figure 23 : Activité entomopathogène des champignons sur *Aphis spiraecola*

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes étapes suivies pour mener notre étude ainsi que le matériel utilisé, pour évaluer l'efficacité insecticide des huiles essentielles et des champignons entomopathogènes contre le puceron *Aphis spiraecola* prélevé sur l'oranger.

De manière détaillée, le choix du site d'étude, les conditions de prélèvements, l'identification du matériel biologique, ainsi que les procédures expérimentales telles que : tests in vitro et préparations fongiques et végétales, ont été décrits.

Les résultats obtenus seront présentés et analysés dans le chapitre suivant.

Chapitre III

Résultats et Discussion

RESULTATS

Les attaques de *Aphis spiraecola* ont été étudiées en 2025 dans la ferme de Belaidouni Mohamed à El Fehoul, les feuilles piquées ont été prélevées selon un échantillonnage aléatoire.

L'infestation des agrumes par *A.spiraecola* varie selon la date de prélèvement qui est étroitement liée à la période où l'organe ciblé, les feuilles en l'occurrence, sont en plein développement.

Ce chapitre présente les résultats obtenus au cours de notre étude sur l'efficacité insecticide de trois huiles essentielles de la sauge *Salvia officinalis*, du romarin *Rosmarinus officinalis* et de la lavande *Lavandula angustifolia* ; ainsi que de trois champignons entomopathogènes (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*) contre le puceron vert *Aphis spiraecola*.

1. Etude entomologique

Comme tous les êtres vivants, dont principalement les pucerons, *Aphis spiraecola* a une biologie qui dépend des facteurs biologiques.

Au niveau de cette étude, les prélèvements ont été effectués au printemps, car la période correspondant à la reprise végétative, le moment où les infestations par ce ravageur sont les plus fréquentes.

Les populations de pucerons étudiés ont atteint leur pic d'abondance notamment en avril, la période où les températures sont douces et les conditions de leur développement sont favorables.

2. Effet des huiles essentielles testées sur *A.spiraecola* selon les différentes concentrations

L'effet insecticide des HE de la sauge, du romarin et de la lavande à trois concentrations (0.1 ml, 0.5 ml et 1 ml) contre *Aphis spiraecolaa* été évalué par des tests in vitro.

Pour chaque traitement, trois répétitions ont été réalisées en présence d'un témoin.

La mortalité des pucerons a été observée et enregistrée après 24h, 48h, 72 h et 96 h d'exposition.

2.1.Efficacité insecticide de L'huile essentielle de la sauge *Salvia officinalis*

La sauge *Salvia officinalis* est une plante aromatique qui appartient à la famille des Lamiaceae, elle est originaire du Bassin méditerranéen.

L'huile essentielle est obtenue par hydrodistillation des feuilles à la vapeur d'eau. Plusieurs études ont montré que l'HE de la sauge est très efficace contre les ravageurs, notamment ceux des agrumes (effet répulsif, effet de mortalité directe et action neurotoxique...).

Après les tests effectués sur les pucerons verts prélevés, nous avons obtenu les résultats suivants (**Tableau 4**) :

Tableau 4 : Pourcentage de mortalité de *Aphis spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations d'HE de la Sauge

Concentrations/ Temps	24 h	48 h	72 h
0.1 ml	60%	86	100%
Témoin	60%	80%	100%
0.5 ml	86%	100%	
Témoin	40%	60%	100%
1 ml	93%	100%	
Témoin	80%	100%	

Le Tableau 4 et la Figure 24 indiquent que la mortalité du puceron *A. spiraecola* augmente au fur et à mesure avec la concentration de l'huile essentielle. Nous remarquons que l'HE de la sauge *Salvia officinalis* à 1 ml a induit une mortalité totale après 48 heures seulement.

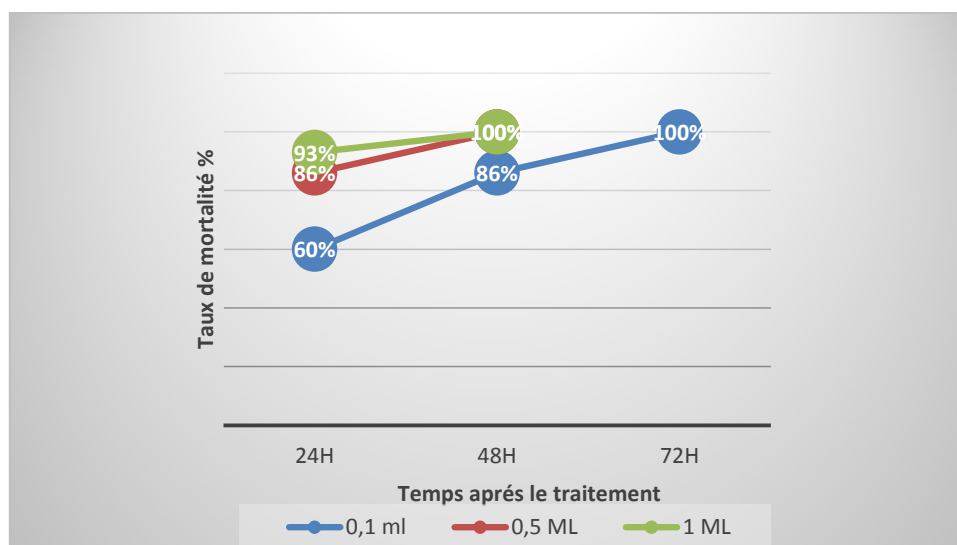


Figure 24 : Evolution de la mortalité de *A. spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE de la sauge *Salvia officinalis*

2.2. Efficacité insecticide de l'huile essentielle de lavande *Lavandula angustifolia*

La lavande (*Lavandula angustifolia*) est une plante aromatique de la famille des Lamiaceae, cultivée généralement dans le Bassin méditerranéen ;largement utilisée en cosmétique et en agriculture biologique.

Elle est connue pour ses effets répulsifs et toxiques contre plusieurs insectes notamment les ravageurs de fruits et légumes.

Des études ont montré que l'efficacité de l'HE de la lavande est non seulement importante contre les pucerons mais aussi non toxique pour l'être humain car c'est un produit naturel.

Pour évaluer l'efficacité de l'HE de la lavande, nous avons réalisé des tests sur *Aphis spiraecola*, les résultats sont présentés dans le **tableau 5** suivant :

Tableau 5 : Pourcentages de mortalité de *Aphis spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations de l'HE de la lavande *Lavandula angustifolia*

Concentrations/ Temps	24 h	48 h	72 h	96 h
--------------------------	------	------	------	------

0.1 ml	86%	93%	93%	100%
Témoin	60%	80%	100%	
0.5 ml	100%			
Témoin	40%	90%	100%	
1 ml	100%			
Témoin	40%	90%	100%	

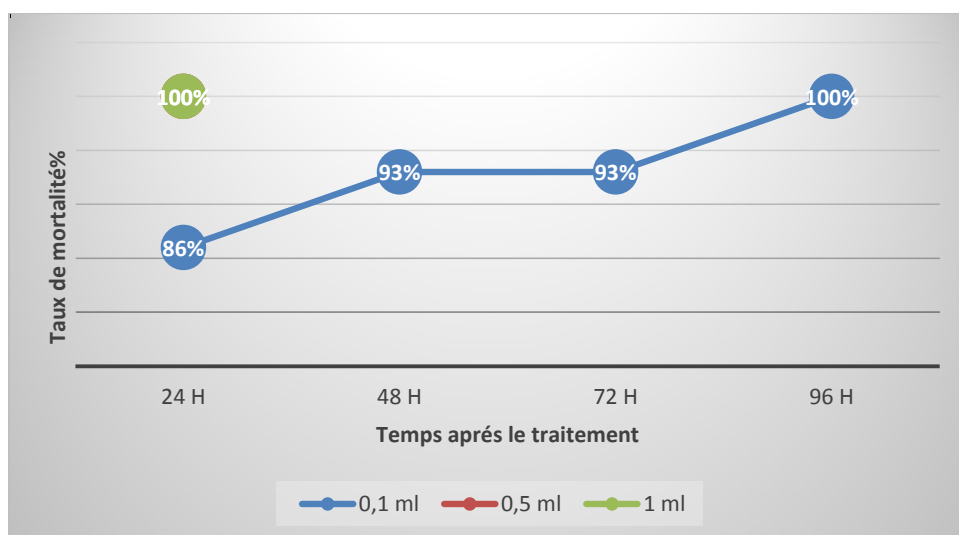


Figure 25 : Evolution de la mortalité de *A. spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE de la lavande *Lavandula angustifolia*

Les résultats obtenus montrent une efficacité majeure de l'HE de la lavande, une mortalité totale a été marquée au bout de 24 h seulement dès la concentration de 0.5 ml. Cela signifie que l'HE de la lavande a un effet insecticide à de faibles concentrations très efficace dans la lutte contre le puceron vert.

2.3. Efficacité insecticide de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* (Romarin)

Rosmarinus officinalis (romarin) est un arbrisseau vivace aromatique, appartenant à la famille des *Lamiaceae*, très répandu dans le Bassin méditerranéen, utilisé dans la médecine traditionnelle et aussi en cuisine.

En outre, il est très efficace contre la reproduction des pucerons dans les plantes.

Nous avons mené une série de tests sur *A.spiraecola* à différentes concentrations pour déterminer leur efficacité.

Les données obtenues suite aux tests d'efficacité de l'HE sont reportées dans (**Tableau 6**) suivant :

Tableau 6 : Pourcentage de mortalité de *A.spiraecola* après le traitement aux différentes concentrations de l'HE du romarin *Rosmarinus officinalis*

Concentrations/ Temps	24 h	48 h	72 h	96 h
0.1 ml	46%	80%	100%	
0.5 ml	86%	100%		
1 ml	86%	93%	100%	
Témoin	20%	60%	80%	100%

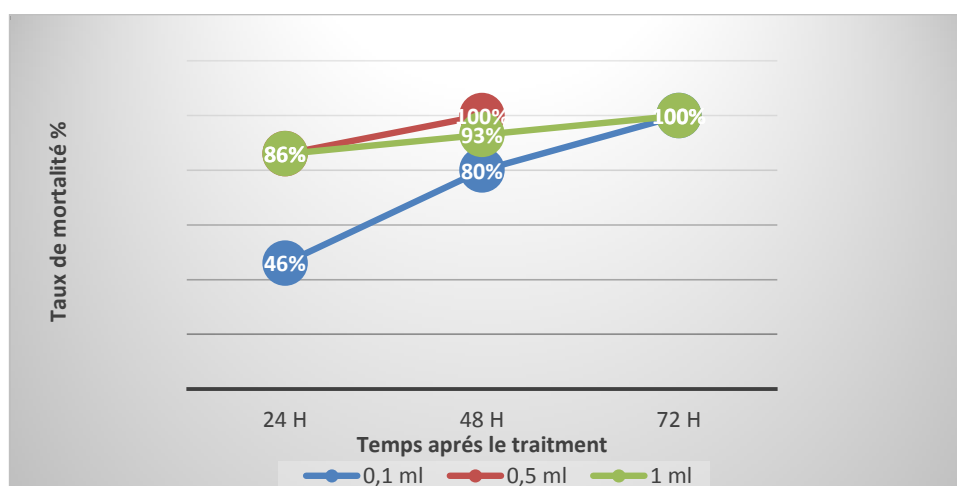


Figure 26 : Evolution de la mortalité de *A.spiraecola* en fonction des concentrations de l'HE du romarin

D'après les résultats obtenus, l'huile essentielle de romarin a montré une efficacité modérée à élevée selon les concentrations testées. Après 48 heures une mortalité totale a été marquée à la concentration de 0.5 ml d'HE seulement, mais son efficacité insecticide est moindre que celle de la lavande.

3. Résultats d'activité insecticide des champignons sur *A.spiraecola*

3.1. Identification des souches fongiques

Les tests d'activités insecticides des trois isolats ont été précédés par une identification (macroscopique et microscopique) de ces souches en se référant aux données bibliographiques.

3.1.1. *Aspergillus niger*

Aspergillus niger est un champignon filamentaire qui appartient au genre *Aspergillus*, largement répandu dans divers environnement tels que le sol et les matières organiques en décomposition. On peut le trouve aussi sur des aliments tels que les fruits et les légumes, surtout dans les conditions humides (Pitt et al, 2009).

Ses colonies présentent une croissance très rapide avec une apparence initialement blanche et cotonneuse et deviennent progressivement poudreuse avec l'apparition de spores noires(Figures27).



Figure 26 : Aspect macroscopique de *Aspergillus niger*

3.1.2. *Trichoderma*spp

Dans le cadre de notre travail, deux souches de *Trichoderma*spp ont été utilisées pour évaluer leurs activités entomopathogènes contre *Aphispiraeola*.

Les souches sont presque similaires en raison de l'appartenance du même genre en aspect général, elles présentent des colonies laineuses à croissance rapide, de couleur blanche ou verte en raison de la production abondante des spore (**Figure 27**)

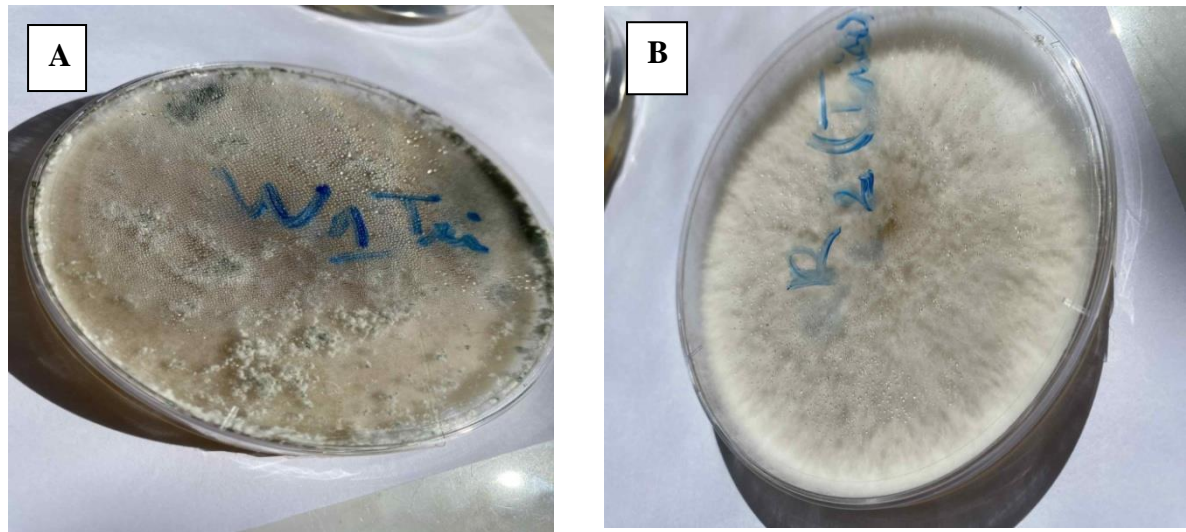


Figure 27 : Présentation macroscopique des souches de *Trichoderma*. **A** : *Trichodermaspp1* ; **B** : *Trichodermaspp2*

3.2. Activité insecticide d'*Aspergillus niger* sur *A. spiraecola*

Dans notre travail, l'évaluation de l'activité entomopathogène d'*A. niger* a été réalisée à la concentration de 1 ml en trois répétitions avec un témoin (**Figure 28**).



Figure 28 : Préparation de la suspension de *Aspergillus niger*

Le **Tableau 7** et la **Figure 29** présentent les résultats obtenus de mortalité de *A. spiraecola* par *Aspergillus niger* avec le temps.

Tableau 7 : Pourcentages de mortalité de *A. spiraecola* après le traitement par *Aspergillus niger*

Concentration Temps	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	142 h
1 ml	6%	6%	46%	53%	86%	100%
Témoin		40%	40%	20%	20%	

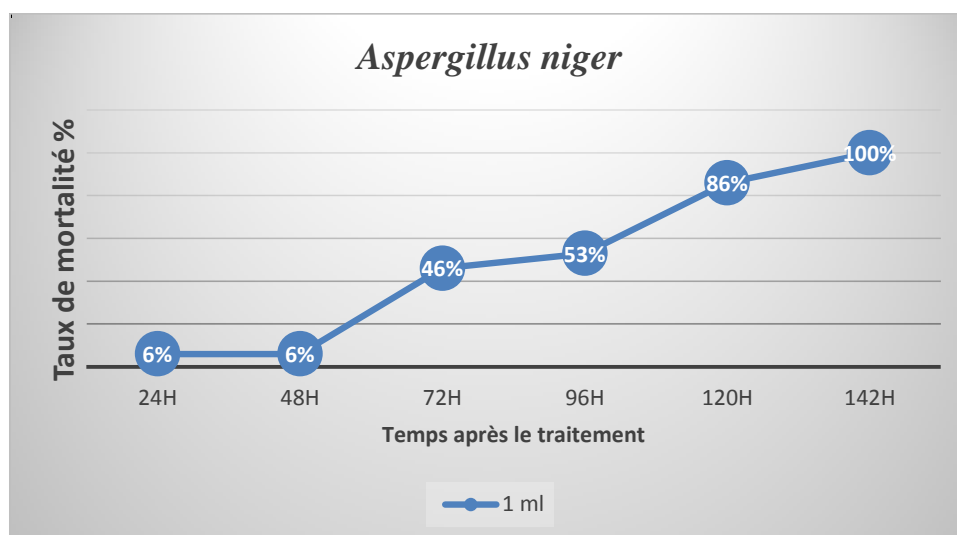


Figure 29 :Résultats d'activité insecticide de *Aspergillusniger*contre *A.spiraeicola*

D'après le tableau et la figure on a remarqué que le taux de mortalité des pucerons était faible durant les premiers 48 heure (6%). Ensuite, il a augmenté directement à 46 % après 72 heures pour atteindre un taux de 100 % après 142 h.

Nous avons remarqué une nouvelle apparition des petits pucerons en cas du témoin (le passage du 40 % à 20 % après 96 h).

3.3.Activité insecticide de *Trichodermaspp1*sur*A.spiraeicola*

Le **tableau 8** et la **Figure 30** montrent les résultats obtenus par utilisation du *Trichoderma spp1*contre le puceron vert.

Tableau 8 :Taux de mortalité d'*Aphis spiraeicola* après le traitement par *Trichoderma spp.1*

Concentrations / Temps	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
1 ml	13 %	40%	73%	93%	100%

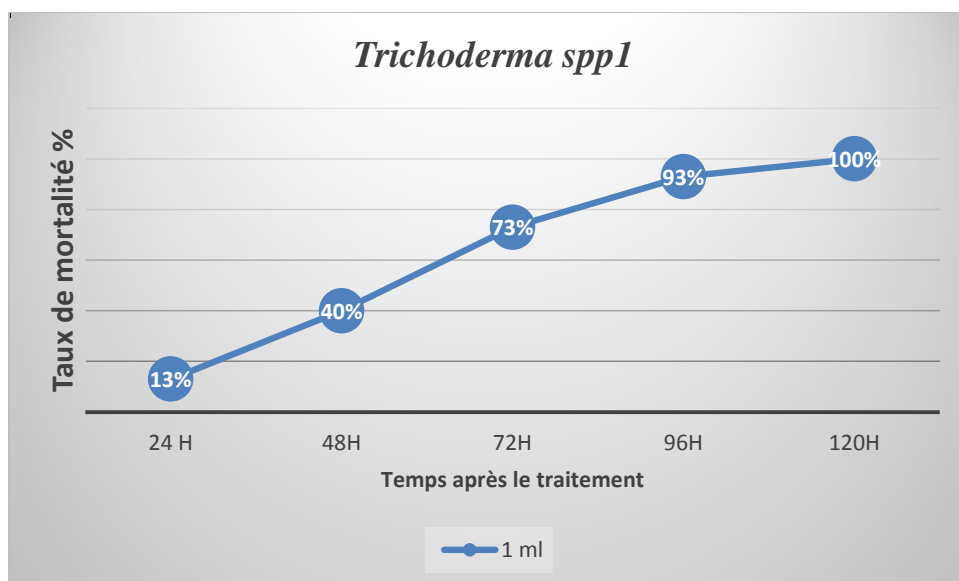


Figure 30: Résultats d'activité insecticide de *Trichoderma spp1* contre *Aphisspiraecola*

Trichoderma spp1 a montré une efficacité progressive contre le puceron des agrumes *A. spiraecola* avec un taux de mortalité qui augmente avec le temps (20% après 24 h jusqu'au mortalité total après 120 h) pour une concentration de 1 ml.

Dans le lot témoin c'est-à-dire non traité, aucune mortalité n'a été observée.

3.4. Activité insecticide de *Trichoderma spp2* sur *A. spiraecola*

Le **Tableau 9** et la **Figure 31** démontre les résultats obtenus après le traitement du ravageur *A. spiraecola* par *Trichoderma spp 2* avec une concentration de 1 ml de suspension.

Tableau 9 : Pourcentages de mortalité de *Aphisspiraecola* après par *Trichoderma spp2*

Concentration / Temps	24 h	48 h	72 h	96 h
1 ml	26%	60%	86%	100%

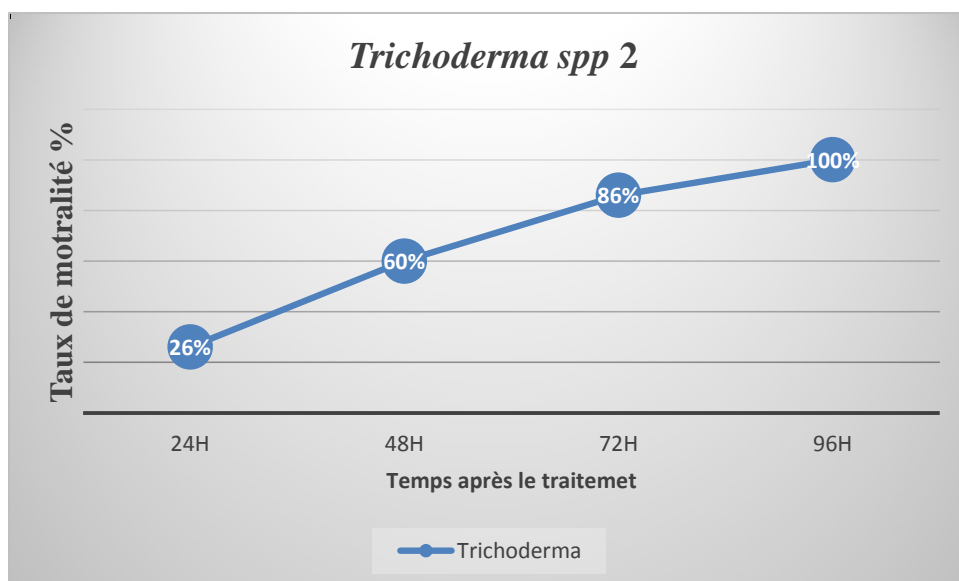


Figure 31 : Résultats de l'activité insecticide de *Trichoderma spp2* contre *A.spiraecola*

La deuxième souche de *Trichoderma spp2* a montré une mortalité un peu plus élevée, avec une concentration de 1 ml, atteignant une mortalité totale après 96 heures d'exposition.

Nous n'avons observé aucune mortalité de *A. spiraeicola* dans le lot témoin.

DISCUSSION

La présente étude a été menée afin d'évaluer l'efficacité de trois huiles essentielles de la sauge *Salvia officinalis*, du romarin *Rosmarinus officinalis* et de la lavande *Lavandula angustifolia* et de trois champignons entomopathogènes (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*) dans le but de les proposer en tant que moyens de lutte biologique contre le puceron ravageur des agrumes *Aphis spiraecola*, comme alternatives aux pesticides chimiques.

Le puceron vert provoque des attaques majeures dans les vergers des agrumes, dont particulièrement les orangers, notamment dans la Ferme Belaidouni Mohamed d'El Fehoul Tlemcen.

Les résultats obtenus ont rendu possible de comparer les effets insecticides de ces produits et agents naturels.

1. Etude entomologique

Le puceron vert *Aphis spiraecola* est classé parmi les principaux ravageurs des agrumes. Ses attaques provoquent une perte majeure de récolte due à la chute des feuilles et à une diminution de rendement des fruits. Il est répandu largement à l'échelle mondiale, en particulier dans les zones de cultures d'agrumes. L'étude de sa bio-écologie dans la région d'étude est nécessaire pour lutter contre lui.

2. Effets insecticides des huiles essentielles

Dans notre étude, les trois HE testées ont montré une activité insecticide notable, aux concentrations appliquées et des variations selon la nature des espèces végétales dont elles sont extraites.

Parmi elles, l'HE de lavande (*Lavandula angustifolia*) s'est révélée la plus efficace, elle a marqué une mortalité totale dès les premières 24 heures, à la concentration de 0.5 ml. Elle est suivie par l'HE de la sauge (*Salvia officinalis*) qui a montré une mortalité totale des pucerons à la concentration de 0.5 ml après 48 h de traitement, puis celle du romarin (*Rosmarinus officinalis*) qui a montré une efficacité plus modérée.

Ces résultats sont similaires à plusieurs études antérieures ayant mis en évidence le pouvoir insecticide des huiles essentielles qui sont riches en composés bioactifs, qui agissent par inhalation ou bien par contact, perturbant le système nerveux des insectes ou affectant leur respiration, tels que le 1.8-cinéole, le camphre, le linalol et encore le thymol (**Isman, 2000 ; Regnault et al., 2012**).

Nos résultats rejoignent ceux de **Tabanca et al. (2013)** et **Nerio et al. (2010)**, qui ont montré une activité modérée de l'HE de lavande contre les insectes suceurs, liée à sa volatilisation rapide et sa teneur en linalol (ingrédient aromatique).

Une autre étude a indiqué aussi une efficacité insecticide importante de l'HE de la lavande par rapport à d'autres huiles par exemple celle de l'origan (**El-Zaedi et al., 2016**).

En outre, l'HE de la sauge a largement montré une efficacité significative, en comparaison aux travaux de **Bakkali et al., 2008**, qui ont noté un effet néfaste de cette HE par altération du système nerveux sur plusieurs insectes.

En ce qui concerne l'HE du romarin, en comparant nos résultats à ceux qui sont rapportés par **Pavela (2008)**, qui a indiqué une mortalité importante de *Myzus persicae*, puceron vert du pêcher suite au traitement par l'HE de romarin.

L'utilisation des HE dans la lutte contre le puceron vert *Aphis spiraeola* présente plusieurs avantages tels que :

- ✓ Faible toxicité pour l'environnement par rapport au pesticide ;
- ✓ Elles sont biodégradables ;
- ✓ Absence totale de résidus chimiques.

3. Activité entomopathogène des champignons

Dans le cadre de notre travail, les champignons entomopathogènes représentent une autre stratégie de lutte biologique prometteuse. Dans notre étude les deux souches de *Trichoderma* spp ont montré une activité entomopathogène supérieure à celle de *Aspergillus niger*. Cette supériorité peut être liée à la capacité de *Trichoderma* spp à coloniser rapidement la cuticule de l'insecte et à provoquer une infection systémique (**Sharma et al, 2018**).

Ces résultats sont identiques à ceux de **Verma et al, (2007)**, qui ont montré les mécanismes d'action de *Trichodermaspp* par la production d'enzymes et composés antifongiques et insecticides.

Une autre étude a également montré que certaines souches locales de *Trichodermaspp* avaient un pouvoir entomopathogène très marqué sur plusieurs ravageurs (**kaur et al, 2014**).

Par ailleurs, les travaux de **Davi et al, 2015** ont présenté une mortalité de plus de 80% sur les pucerons *Aphis craccivora* après un traitement par *Trichoderma harzianum*.

En ce qui concerne *Aspergillus niger*, les résultats sont plus variables. Des recherches ont indiqué que certaines souches de *A. niger* provoquaient une mortalité lente mais progressive des pucerons, tandis que d'autres indiquaient une activité réduite (**Pal et Ghosh, 2012**). Ce dernier résultat pourrait exprimer la variabilité observée dans notre travail.

D'autres études ont aussi montré que les champignons entomopathogènes tels que *Aspergillus*, et *Beauveria*, présentaient des efficacités très différentes selon les souches, les doses appliquées et les conditions environnementales (**Wraight et Ramos, 2002**).

4. Intégration dans une stratégie de lutte biologique durable

Les résultats de cette étude rendent possible une stratégie de lutte biologique efficace en raison des effets rapides des huiles essentielles et les effets à plus long terme des champignons entomopathogènes. Cette approche est adaptée aux recommandations de la FAO pour une agriculture durable intégrant les biopesticides naturels.

Des tests similaires ont aussi montré qu'une combinaison de champignons entomopathogènes et des huiles essentielles (extraits végétaux), pouvait réduire durablement les populations d'insectes (**Abdel-Rahman et al, 2016**).

Et pour finir, la variation d'efficacité entre les différentes souches de champignons testés souligne l'importance de sélectionner la souche appropriée et de l'ajuster à son environnement local. Le choix minutieux de souches locales, comme préconisé par **Lacey et al, (2001)**, serait bénéfique pour optimiser les performances sur le terrain.

Cette étude met en lumière l'intérêt de l'utilisation des huiles essentielles, ainsi que les champignons entomopathogènes dans la lutte contre *Aphis spiraecola*.

Conclusion

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence le potentiel insecticide de trois huiles essentielles (lavande, romarin et sauge) et trois champignons entomopathogènes (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*) dans la lutte contre le puceron vert *Aphis spiraecola*, un ravageur majeur de l'oranger (*Citrus sinensis*).

L'huile essentielle de la lavande (*Lavandula angustifolia*) s'est révélée très efficace, induisant une mortalité élevée des pucerons ; une mortalité totale a été relevée au bout de 24 h seulement, dès la concentration de 0.5 ml.

Pour ce qui est de l'HE du romarin *Rosmarinus officinalis*, une mortalité totale a été marquée à la concentration de 0.5 ml après 48 heures, son efficacité insecticide reste moindre que celle de la lavande.

L'HE de la sauge *Salvia officinalis* a présenté une efficacité plus modérée mais intéressante, elle a induit une mortalité totale après 48 heures à la dose de 1 ml.

Concernant les champignons, la mortalité du puceron *Aphis spiraecola* par *Aspergillus niger* est faible.

Trichoderma spp1 a montré une efficacité progressive contre le puceron des agrumes *A. spiraecola* avec un taux de mortalité qui augmente avec le temps pour une concentration de 1 ml. La deuxième souche de *Trichoderma spp2* a montré une mortalité un peu plus élevée, avec une concentration de 1 ml, atteignant une mortalité totale après 96 heures d'exposition.

La comparaison avec d'autres études scientifiques a permis de confirmer la pertinence des résultats obtenus, tout en soulignant la variabilité de l'efficacité insecticide selon les espèces, les souches, les concentrations et les conditions environnementales.

L'intégration de ces agents biologiques dans une stratégie de lutte durable pourrait aider à réduire l'emploi des pesticides chimiques tout en conservant l'équilibre écologique au sein des vergers.

Ainsi, cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour l'amélioration de la protection phytosanitaire des agrumes en Algérie, tout en encourageant le recours à des méthodes alternatives, à la fois efficaces, écologiques et adaptées aux conditions locales.

Il serait intéressant de poursuivre ces expériences à grande échelle, pour vérifier l'efficacité de ces produits et organismes naturels, afin de les proposer à nos agriculteurs en tant que biopesticides.

Références

- Abdelgaleil, S. A. M., Mohamed, M. I. E., Badawy, M. E. I., & El-arami, S. A. A. (2009).** Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Pest Science*, 82(3), 223–229.
- Ammad, 2016.** Effet antifongique de *Citrus limonum* à l'égard de *Botryosphae radotbidae*. *Jorrdan journal of Biological Sciences*, 7 : 35-39.
- Backman, C. & Eastop, F. (1984).** Aphids on the world's crops: An identification and information guide. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 466 p
- Baha, 2009.** Ces superficies ont été réparties comme suit : 35.671 ha d'agrumes, 24.028 ha de maraîchage, 79.801 ha de cultures céréalières.
- Bakkali, F et al, (2008).** Biological effects of essential oils a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
- Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S., & Nauen, R. (2015).** The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 78–87.
- Capinera, J. L. (2008).** *Encyclopedia of Entomology*. Springer.
- Cortez-Madriral, H. et al. (2022).** Biological aspects of *Aphis spiraecola* on different *citrus species*. *Journal of Applied Entomology*.
- Daget, P. (1980).** *Un élément actuel de la caractérisation du monde méditerranéen : le climat*. Dans Actes du colloque de la Fondation Émberger (p. 101-126). Montpellier : Naturalia Monspeliensia
- Davies, F. S., & Albrigo, L. G. (1994).** *Citrus*. CAB International.
- Dedooner R., 1985 :** contribution à l'écologie des aphides à Frains. Ed. FAO., 214p.
- Deguine, J.-P., & Leclant, F. (1997).** *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera, Aphididae). Montpellier : CIRAD-CA. 118 p. ISBN : 2-87614-263-5.
- Devi. P. et al, (2015).** Bioefficacy of *Trichoderma harzianum* against *Aphis craccivora*. *Journal of Biopesticides*, 8(1), 50–55.
- El-Otmani, M., Coggins Jr, C. W., Agustí, M., & Talon, M. (2011).** Botany and physiology of *citrus* fruit. In: *Citrus: The Genus Citrus*. CRC Press.

El-Zaeddi, H. et al, (2016). Insecticidal activity of essential oils from *Origanum*, *Thymus* and *Lavandula species*. *Industrial Crops and Products*, 83, 246–252.

Enan, E. (2001). Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(3), 325–337.

FAO, 1997. Annuaire production : 1996. Rome, Italie, FAO.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *Citrus* Fruit Fresh and Processed – Statistical Bulletin 2016. Rome: FAO.

Fraval, 2006 : La puceron-1 ère partie. *Insectes* N°141, 2 ème trimestre : 3-8.

Harizia, W., et al. (2021). Chemical composition and insecticidal activity of *Salvia officinalis* essential oil against *Aphis fabae*. *Journal of Plant Diseases and Protection*.

Hullé, M., et al. (1999). Les pucerons des plantes maraîchères : cycles biologiques et activités de vol. Paris : Quae, 134 p

(INRA). (2013). Institut National de la Recherche Agronomique Encyclop'Aphid : Encyclopédie des pucerons. INRA, Rennes.

Isman, M.B, (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8-10), 603–608.

I.T.A.F.V., 2013 : la culture des agrumes- Institut technique des arbres fruitière et des vignes.

Kaur, J. et al. (2014). Potential of indigenous *Trichoderma* isolates as biocontrol agents. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(11), 1341–1347.

Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008). Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63–84.

Lacey, L. A. et al. (2001). Entomopathogenic fungi: mechanisms, ecology and applications. *Biocontrol Science and Technology*, 11(1), 1–20.

Laib,I, Barkat,M. (2011). Composition chimique et activité antioxydante de l'huile essentielle des fleurs sèches de *lavandula officinalis*.

Loillet (2010) : la production mondiale des agrumes ''les marchés mondiaux''.

Loussert, R. (1989). Les agrumes – Tome 1 : Arboriculture. Paris : Technique & Documentation (Collection Techniques agricoles méditerranéennes). 450 p

- Mahmoud, M. F., Khalil, A. M., & El-Banna, A. A. (2017).** Insecticidal efficiency of some fungal isolates against the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, 10(4), 19–26.
- Mostefaoui, H., Belhamra, M., Guenaoui, Y., & Chabane, S. (2014).** Why the aphid *Aphis spiraecola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*. Comptes Rendus Biologies, 337(2), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2013.11.008>
- Nerio, L. S. et al. (2010).** Repellent activity of essential oils: a review. Bioresource Technology, 101(1), 372–378.
- Nicolosi, E., Deng, Z. N., Gentile, A., La Malfa, S., Continella, G., & Tribulato, E. (2000).** Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. Theoretical and Applied Genetics, 100(8), 1155–1166.
- Pal, A., Ghosh, S., & Paul, A. K. (2006).** Biosorption of cobalt by fungi from serpentine soil of Andaman. *Bioresource Technology*, 97(9), 1253–1258
- Pavela, R. (2008).** Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia*, 79(8), 511–516.
- Pavela, R. (2015).** Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. *Industrial Crops and Products*, 76, 174–187.
- Pengelly, 1996.** The Constituents of Medicinal Plants livre 172 pages Edition 02.
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., & Bakker, P. A. H. M. (2014).** Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375
- Pitt, J. I., et al. (2009).** *Aspergillus niger*: A comprehensive review. *Mycological Research*, 113(3).
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012).** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424. DOI: 10.1146/annurev-ento-120710-100554.
- Praloran. Publisher, G.-P. Maisonneuve & Larose, 1971.** Techniques agricoles ET productions tropicales, ISSN 0497-0624.
- Remandiere G., Autrique M., Eastop V. F., Stary P., Aymonin G., Kafurera J. et Dedonder R., 1985 :** Contribution à l'écologie des aphides à Frains. Ed. FAO., 214p.
- Sharma, S., Ahmad, S., & Khan, M. S. (2018).** Entomopathogenic fungi: potential candidates for biological control of insect pests. In: *Microbial Biopesticides* (pp. 43–60). Springer), 271-282.

Tabanca, N. et al, (2013). Insecticidal activity of the essential oil of *Lavandula angustifolia* against *Aedes aegypti*. J. Agric. Food Chem., 61(18), 4421–4427.

Van Emden, H. F., & Harrington, R. (Eds.). (2007). Aphids as Crop Pests (2^e éd.). Wallingford, UK : CABI Publishing. ISBN 978-1-84593-202-2.

Valnet, J. (1984). Aromathérapie : Traitement des maladies par les essences des plantes. Paris : Maloine / Le Livre de Poche. ISBN 978-2-253-03564-0

Verma, M. et al, (2007). *Trichoderma spp.*: Panoply of biological control. Biochemical Engineering Journal, 37(1), 1–20.

Waghunde, R.R., Shelake, R.M., Sabalpara, A.N., 2016.

<https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text/01E890258810/1000>

Walter, A. and C. Sam, 2002. Introduit dans les îles du Pacifique à une époque pré européenne par les polynésiens (Fruits of *Oceania*. P. Ferrarfrom Fruits d’Océanie. ACIAR Monograph 85. ACIAR, Canberra, Australia.).

Wraight.S. P. & Ramos, M. E, (2002). Field efficacy of *Beauveria bassiana* against Colorado potato beetle. Biological Control, 23(2), 164–180.

Wu, G. A., Prochnik, S., Jenkins, J., et al. (2018). Genomics of the origin and evolution of *Citrus*. Nature, 554(7692), 311–316.

SITES WEB :

<https://fr.linkedin.com/pulse/les-agrumes-sont-avant-tout-des-fruits-dhiver-violette-rey>

<https://www.agrialgerie.com>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oranger>

ملخص

ركز هذا العمل على تقييم فعالية المبيدات الحشرية لثلاثة زيوت أساسية (اللافندر وإكليل الجبل والمريمية) بالإضافة إلى الفطريات المسببة للحشرات (*Trichoderma spp1* و *Trichoderma spp2* و *Aspergillus niger*) ضد حشرات المن الأخضر *Aphis spiraecola* ، وهي آفة رئيسية لشجرة البرتقال (*Citrus sinensis*).

أجريت اختبارات في المختبر لقياس وفيات حشرات المن المعرضة لتركيزات مختلفة من هذه المنتجات والعوامل الطبيعية التي تم اختبارها.

أظهرت النتائج أن الزيوت الأساسية ، وخاصة زيوت اللافندر ، أظهرت نشاطا قويا في المبيدات الحشرية ، من تركيز 0.5 مل مع إجمالي الوفيات في أول 24 ساعة. أظهرت تلك الموجودة في إكليل الجبل والمريمية فعالية أكثر اعتدالا. على الجانب الفطري ، تم العثور على *Trichoderma spp1* و *spp2* لتكون أكثر كفاءة من *Aspergillus niger* ، مع زيادة معدل وفيات المن بجرعة 1 مل.

تؤكد هذه النتائج ، مقارنة بالأدبيات العلمية ، إمكانات هذه المبيدات الحيوية الطبيعية في مكافحة حشرات المن. إنها تمهد الطريق لدمج هذه العوامل في استراتيجيات مكافحة البيولوجية المستدامة ، مما يحد من استخدام منتجات الصحة النباتية الاصطناعية.

الكلمات الدالة: *Aphis spiraecola*; الزيوت الأساسية; *Trichoderma spp*. الرشاشيات النيجر ، شجرة البرتقال ، مكافحة البيولوجية.

Summary

This work focused on the evaluation of the insecticidal efficacy of three essential oils (lavender, rosemary and sage) as well as three entomopathogenic fungi (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* and *Aspergillus niger*) against the green aphid *Aphis spiraecola*, a major pest of the orange tree (*Citrus sinensis*).

In vitro tests were conducted to measure the mortality of aphids exposed to different concentrations of these products and natural agents tested.

The results showed that essential oils, especially lavender oils, showed strong insecticidal activity, from the concentration of 0.5 ml with total mortality in the first 24 hours. Those of rosemary and sage showed more moderate efficacy. On the fungal side, *Trichoderma spp1* and *Trichoderma spp2* were found to be more efficient than *Aspergillus niger*, with increased aphid mortality at a dose of 1 ml.

These results, compared with the scientific literature, confirm the potential of these natural biopesticides in the fight against aphids. They pave the way for the integration of these agents into sustainable biological control strategies, limiting the use of synthetic phytosanitary products.

Keywords: *Aphis spiraecola*; essential oils; *Trichoderma spp*; *Aspergillus niger*, Orange tree, biological control.

Résumé

Ce travail a porté sur l'évaluation de l'efficacité insecticide de trois huiles essentielles (lavande, romarin et sauge) ainsi que trois champignons entomopathogènes (*Trichoderma spp1*, *Trichoderma spp2* et *Aspergillus niger*) contre le puceron vert *Aphis spiraecola*, un ravageur majeur de l'oranger (*Citrus sinensis*).

Des essais in vitro ont été menés afin de mesurer la mortalité des pucerons exposés à différentes concentrations de ces produits et agents naturels testés.

Les résultats ont montré que les huiles essentielles, notamment celle de la lavande présentait une forte activité insecticide, dès la concentration de 0.5 ml avec une mortalité totale aux premières 24 heures. Celles du romarin et de la sauge ont affiché une efficacité plus modérée. Du côté des champignons, *Trichoderma spp1* et *Trichoderma spp2* se sont révélés plus performants que *Aspergillus niger*, avec une mortalité accrue des pucerons, à la dose de 1 ml.

Ces résultats, confrontés à la littérature scientifique, confirment le potentiel de ces biopesticides naturels dans la lutte contre les pucerons. Ils ouvrent la voie à une intégration de ces agents dans des stratégies de lutte biologique durable, limitant le recours aux produits phytosanitaires de synthèse.

Mots-clés : *Aphis spiraecola* ; huiles essentielles ; *Trichoderma spp* ; *Aspergillus niger*, Oranger, lutte biologique.

