

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARG UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم علوم فلاحية

DEPARTMENT OF AGRONOMY SCIENCES



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« Systèmes de Production Agroécologique »

Thème

Evaluation du potentiel des huiles essentielles dans la perturbation du mutualisme fourmi-puceron et le comportement des pucerons

Présenté Par : Djihane Soltani

Soutenue publiquement le : 15/06/2026

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Samia Mouissi	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
Hayette Bouzeraa	MCA	Université chadli Bendjedid El-Tarf	Directeur de mémoire
Abdallah Aouadi	MCB	Université chadli Bendjedid El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026



Remerciements

Je remercie avant tout Dieu le tout puissant de m'avoir aidée et m'avoir donné la patience et la force pour réaliser ce travail.

*Tout d'abord, j'adresse mes remerciements les plus sincères et ma profonde gratitude à mon encadrante, Madame **Hayette Bouzeraa**. Je la remercie infiniment pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour sa présence constante, sa patience et ses précieux conseils avisés. Son encadrement de qualité, sa bienveillance et son soutien moral et scientifique ont été un véritable moteur pour la réussite de ce travail.*

*Mes sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury :
À Monsieur **Abdallah Aouadi**, pour avoir accepté d'évaluer mon travail.*

*Un hommage tout particulier et une gratitude infinie à Madame **Mouissi Samia**. Je tiens à vous remercier pour ces quatre années passées à vos côtés. Au-delà de votre rôle d'enseignante, vous avez été pour moi une véritable mère, une source d'inspiration et de bienveillance. Merci pour votre tendresse et votre soutien indéfectible.*

*Je tiens également à remercier chaleureusement les ingénieures de laboratoire : Madame **Badi yahiaouia** et Madame **bounaaja samia** , pour leur aide précieuse et leur collaboration technique.*

À mes chers parents,

Vous êtes ma racine et ma force. Ce travail est le fruit de votre amour inconditionnel et de vos sacrifices quotidiens. Que ce mémoire soit un témoignage de ma profonde reconnaissance.

*À mes chers frères et sœur, **Wael, Karim et Alaa***

*J'adresse également mes amitiés à **Ines, et Yasmine et Meriem, Yamina, soundes***

pour les moments partagés et l'entraide qui ont rendu ce parcours plus agréable.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce projet.





Dédicace

Je dédie ce travail...

À ma Chère Mère Solef

Mon refuge, mon cœur et mon souffle de vie.

À mon Père Lamdjed

Celui grâce à qui, et grâce à tout son soutien, je suis arrivée ici aujourd'hui.

À mes Frères et mes Sœurs

Wael, Karim, Alaa et soundes

À mes chères familles

SOLTANI et CHAIB

À toutes mes amies

Ines ,Yasmine, Meriem, Yamina , houda ,Fares

À tous mes collègues

Djihane



Résumé

Les agrumes sont fréquemment attaqués par les pucerons, particulièrement durant la période végétative, où les fourmis jouent un rôle majeur grâce à leur relation mutualiste avec ces ravageurs. Cette interaction représente un risque important pour la fructification et conduit souvent au recours rapide aux pesticides chimiques de synthèse, considérés comme une méthode de lutte agressive. L'éradication des fourmis ouvre ainsi la voie à l'étude du détournement de leur comportement ainsi qu'à l'évaluation du potentiel des extraits de plantes sur l'activité biologique des pucerons, dans le cadre d'une lutte sans effets indésirables. Une série de tests a été réalisée sur *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii* et *Lasius niger* afin d'évaluer le potentiel répulsif et toxique des extraits végétaux, ainsi que leur effet sur la reproduction des pucerons par la méthode de pulvérisation. L'activité attractive par ingestion a également été étudiée à l'aide d'un appât alimentaire. Les résultats ont montré que l'huile essentielle de *Origanum vulgare* ($\geq 12,5$ mg/ml) induit une réponse rapide chez les pucerons dès les 30 premières minutes d'exposition, suggérant une activité répulsive quasi immédiate, suivie d'un effet toxique après 60 minutes d'exposition. Le traitement a également eu des répercussions importantes sur la reproduction, allant jusqu'à une inhibition totale de la fécondité. Par ailleurs, une source alimentaire à base de sucre et de levure s'est révélée attractive pour les fourmis. L'huile essentielle de citron a montré une attractivité supplémentaire lorsqu'elle a été ajoutée à cette source alimentaire sucrée, avec plus de 90 % d'attraction enregistrée, ce qui en fait un excellent moyen de détournement. En revanche, l'huile essentielle d'origan s'est montrée répulsive lorsqu'elle a été incorporée à la source alimentaire sucrée, orientant ainsi les fourmis vers un éloignement des colonies de pucerons. Cette étude s'inscrit dans une approche de lutte biologique intégrée visant soit à éliminer les pucerons, soit à rompre le mutualisme fourmi-puceron, facilitant ainsi l'action des prédateurs naturels et offrant une solution écologique durable pour la protection des vergers.

Mots clés : Agrumes ; *Aphis spiraecola* ; *Toxoptera aurantii* ; *Lasius niger* ; Mutualisme fourmi-puceron ; *Citrus limon* ; *Origanum vulgare* ; activité répulsive ; activité toxique ; attractivité alimentaire ; biopesticides

ملخص

تتعرض الحمضيات بشكل متكرر لهجمات المن، خاصة خلال فترة النمو الخضري، حيث تلعب النمل دوراً رئيسياً بفضل علاقة التكافل مع هذه الآفات. يمثل هذا التفاعل خطراً كبيراً على الإثمار، مما يؤدي غالباً إلى اللجوء السريع للمبيدات الكيميائية الاصطناعية التي تعتبر وسيلة مكافحة عنيفة. إن القضاء على النمل يمهد الطريق لدراسة تحويل سلوكها وتقييم إمكانات المستخلصات النباتية على النشاط البيولوجي للمن، في إطار مكافحة خالية من الآثار الجانبية. تم إجراء سلسلة من الاختبارات على أنواع *Aphis spiraecola* و *Toxoptera aurantii* و *Lasius niger* لتقييم القدرة الطاردة والسامة للمستخلصات النباتية، وكذا تأثيرها على تكاثر المن باستخدام طريقة الرش. كما تمت دراسة النشاط الجاذب عن طريق الابتلاع باستخدام طعم غذائي. أظهرت النتائج أن الزيت الأساسي لنبات الزعتر البري (*Origanum vulgare*) بتركيز (≤ 12.5 ملغ/مل) يحفز استجابة سريعة لدى المن منذ الثلاثين دقيقة الأولى، مما يشير إلى نشاط طارد فوري تقريباً، يليه تأثير سام بعد 60 دقيقة. كما كان للمعالجة تداعيات كبيرة على التكاثر وصلت إلى حد التثبيط الكامل للخصوبة. من ناحية أخرى، تبين أن المصدر الغذائي المكون من السكر والخميرة جذاب للنمل. وأظهر الزيت الأساسي للليمون جاذبية إضافية عند إضافته لهذا المصدر، حيث سُجلت نسبة جذب تفوق 90%، مما يجعله وسيلة ممتازة لتحويل مسار النمل. في المقابل، أظهر الزيت الأساسي للزعتر البري مفعولاً طارداً عند دمجه في المصدر السكري، مما وجه النمل بعيداً عن مستعمرات المن. تندرج هذه الدراسة ضمن نهج المكافحة البيولوجية المتكاملة التي تهدف إما إلى القضاء على المن أو كسر العلاقة التكافلية بين النمل والمن، مما يسهل عمل المفترسات الطبيعية ويقدم حلاً بيئياً مستداماً لحماية البساتين.

الكلمات المفتاحية: الحمضيات؛ *Aphis spiraecola*؛ *Toxoptera aurantii*؛ *Lasius niger*؛ التكافل بين النمل والمن؛ *Origanum vulgare*؛ *Citrus limon*؛ النشاط الطارد؛ النشاط السام؛ الجذب الغذائي؛ المبيدات الحيوية.

Abstracts

Citrus trees are frequently attacked by aphids, particularly during the vegetative period, where ants play a major role through their mutualistic relationship with these pests. This interaction poses a significant risk to fruiting and often leads to the rapid use of synthetic chemical pesticides, considered an aggressive control method. Eradicating ants opens the way to studying the diversion of their behavior and evaluating the potential of plant extracts on the biological activity of aphids, within the framework of a control strategy without adverse effects. A series of tests were conducted on *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii*, and *Lasius niger* to evaluate the repellent and toxic potential of plant extracts, as well as their effect on aphid reproduction using the spraying method. Attractive activity by ingestion was also studied using a food bait. The results showed that the essential oil of *Origanum vulgare* (≥ 12.5 mg/ml) induces a rapid response in aphids within the first 30 minutes of exposure, suggesting an almost immediate repellent activity, followed by a toxic effect after 60 minutes. The treatment also had significant repercussions on reproduction, leading to a total inhibition of fecundity. Furthermore, a food source based on sugar and yeast proved to be attractive to ants. Lemon essential oil showed additional attractiveness when added to this sugary food source, with over 90% attraction recorded, making it an excellent means of diversion. Conversely, oregano essential oil proved to be repellent when incorporated into the sugary food source, thus directing the ants away from aphid colonies. This study is part of an integrated biological control approach aimed at either eliminating aphids or breaking the ant-aphid mutualism, thereby facilitating the action of natural predators and offering a sustainable ecological solution for orchard protection.

Keywords: Citrus; *Aphis spiraecola*; *Toxoptera aurantii*; *Lasius niger*; Ant-aphid mutualism; *Citrus limon*; *Origanum vulgare*; repellent activity; toxic activity; food attractiveness; biopesticides.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	5
1. Ravageurs agricoles	5
1.1. Définition	5
2. Insectes ravageurs des plantes en Algérie	5
2.1. Définition	5
2.2. Types d'insectes ravageurs.....	5
2.3. Dégâts causés aux cultures	6
3. Les agrumes.....	7
3.1. État de l'agrumiculture en Algérie	7
3.1.1. Rendement et production	7
3.1.2. Principales variétés cultivées	8
3.1.3. Pertes économiques avant et après récolte.....	9
3.1.4. Insectes ravageurs des agrumes	9
3.1.5. Dégâts des insectes ravageurs des agrumes	10
4. Les pucerons	1
4.1. Définition et taxonomie	10
4.2. Habitat	11
4.3. Comportement	12
4.4. Mode de reproduction	12
5. Mutualisme entre pucerons et fourmis	13
5.1. Définition du concept	13
5.2. Nature de la relation biologique	13
5.3. Rôle et bénéfices des fourmis	14
6. Protection phytosanitaire	15
6.1. Typologie des méthodes de lutte	15

6.1.1. Lutte chimique	16
6.1.2. Lutte biologique	16
6.1.3. Lutte mécanique et physique	16
6.1.4. Lutte culturale	17
6.1.5. Lutte génétique	17
6.1.6. Lutte intégrée	17
6.2. Situation de la protection phytosanitaire en Algérie	17
7. Biopesticides d'origine végétale	18
7.1. Définition et caractéristiques	18
7.2. État du marché des biopesticides	18
7.2.1. À l'échelle mondiale	19
7.2.2. Sur le marché algérien	19
8. L'origan (<i>Origanum vulgare</i>) : propriétés et composition	20
8.1. Présentation de la plante	20
8.2. Potentiel de l'origan comme biopesticide	21
8.3. Composition chimique de l'huile essentielle d'origan	22
9. Limites et perspectives des pesticides botaniques	23
Chapitre II : Matériels et méthodes	25
1. Matériel biologique	25
1.1. Présentation des insectes cibles	25
1.2. Présentation du matériel végétal	30
2. Méthodes d'étude	31
2.1. Collecte et élevage des insectes	31
2.2. Extraction et préparation du traitement	

32	
2.3.	Test de répulsion et de toxicité de l'huile essentielle d'O. vulgare
33	
2.4.	Évaluation de l'effet subléta1 sur la reproduction des pucerons
34	
2.5.	Test de phytotoxicité de l'huile essentielle
35	
2.6.	Évaluation de l'activité perturbatrice du mutualisme
36	
2.6.1.	Dispositif en situation de non-choix
36	
2.6.2.	Dispositif en situation de choix
37	
2.7.	Analyses statistiques des données
38	
Chapitre III : Résultats	40
1.	Activité répulsive de l'huile essentielle d'O. vulgare
40	
2.	Effet toxique (mortalité) de l'huile essentielle
41	
3.	Effet subléta1 de l'huile essentielle sur la fécondité
42	
4.	Évaluation de l'effet phytotoxique
43	
5.	Impact sur le comportement de mutualisme pucerons-fourmis
43	
5.1.	Résultats en situation de non-choix
43	
5.2.	Résultats en situation de choix
44	
Chapitre IV : Discussion	47
Chapitre V : Conclusion et perspectives	51
Références bibliographiques et webographiques	53

N°	Intitulé	Page
Figure 01	Classification et diversité botanique des principales espèces d'agrumes cultivées en Algérie	8
Figure 02	<i>Origanum vulgare</i>	20
Figure 03	Structure chimique des principaux constituants actifs de l'huile essentielle d'origan (<i>Origanum vulgare</i>) : a) Carvacrol ; b) Thymol ; c) p-Cymène	23
Figure 04	<i>Aphis spiraecola</i>	25
Figure 05	Cycle de développement d'un puceron <i>Aphis spiraecola</i>	26
Figure 06	<i>Toxoptera aurantii</i>	27
Figure 07	Cycle de développement biologique du puceron noir des agrumes, <i>Toxoptera aurantii</i>	28
Figure 08	<i>Lasius niger</i>	29
Figure 09	Cycle biologique de la fourmi <i>Lasius niger</i>	30
Figure 10	<i>Origanum vulgare</i>	30
Figure 11	<i>Citrus limon</i>	31
Figure 12	Colonies de pucerons et de fourmis en mutualisme sur jeunes pousses de citronnier	32
Figure 13	Test de répulsion et de toxicité	34
Figure 14	Dispositif expérimental du test de fécondité des pucerons	35
Figure 15	Dispositif expérimental du test de phytotoxicité de l'huile essentielle de <i>O. vulgare</i>	36
Figure 16	Dispositif expérimental du test de non-choix montrant l'attraction des fourmis vers une feuille imprégnée d'un mélange sucre, levure et huile essentielle de citron	37
Figure 17	Dispositif expérimental du test de choix montrant la réponse comportementale des fourmis face aux stimuli alimentaires	38
Figure 18	Effets de l'huile essentielle de <i>Origanum vulgare</i> sur la répulsion et la mortalité des pucerons après 120 minutes d'exposition	42
Figure 19	Effet de l'huile essentielle d' <i>Origanum vulgare</i> sur la fécondité des pucerons à différentes concentrations	43
Figure 20	Attraction moyenne des fourmis vers une source alimentaire sucrée à base d'huile essentielle de citron au cours du temps	44
Figure 21	Réponses comportementales des fourmis face à une source alimentaire à base de deux huiles essentielles au cours du temps	45
Figure 22	Préférence alimentaire des fourmis entre une source sucrée, une tige infestée de pucerons et le non-choix au cours du temps	46
Figure 23	Orientation attractive des fourmis vers la source alimentaire sucrée à base de citron, en comparaison avec la tige infestée de pucerons	46

Listes des figures

Listes des tableaux

N°	Intitulé du tableau	Page
Tableau 01	Répartition variétale et zones de production des agrumes en Algérie, campagne 2024-2025	9
Tableau 02	Éléments fondamentaux de la protection phytosanitaire en Algérie	18
Tableau 03	Principaux types d'action des biopesticides, leurs cibles biologiques et leurs mécanismes d'action	22
Tableau 04	Principaux constituants chimiques de l'huile essentielle extraite de différentes parties de l'origan (<i>Origanum vulgare</i>)	23
Tableau 05	Activité répulsive de la solution d'huile essentielle d' <i>Origanum vulgare</i> sur pucerons à différentes concentrations	40
Tableau 06	Effet toxique de l'huile essentielle d' <i>Origanum vulgare</i> sur les pucerons en fonction de la concentration	42

Introduction

Introduction

L'agriculture constitue un secteur stratégique de l'économie algérienne. La filière des agrumes connaît une croissance notable enregistrée durant la saison 2023-2024 où la production a dépassé les 18 millions de quintaux (Merdji et Guemache, 2023). Cette progression est soutenue par une extension annuelle des superficies cultivées d'environ 5 000 hectares (Merdji et Guemache, 2023).

Cependant, des pertes agricoles constituent une contrainte majeure pour la sécurité alimentaire et la rentabilité du secteur, avec un total pouvant dépasser 35 % de la production globale (Maghreb Émergent, 2023). Au sein de ce bilan, les pertes de récoltes survenant spécifiquement au champ durant le cycle de développement des végétaux représentent une menace constante. Dans certaines filières stratégiques, à l'instar de l'arboriculture fruitière, ces taux de dépréciation peuvent atteindre 20 % à 30 % du rendement escompté (ITAF, 2024 ; MADR, 2023). Ces manques à gagner économiques sont principalement attribués à la pression croissante exercée en premier lieu aux aléas climatiques et aux bio-agresseurs (divers insectes et maladies phytopathogènes).

Les insectes ravageurs figurent parmi les organismes les plus destructeurs des tissus végétaux. En se nourrissant de la sève, ils affaiblissent la croissance des plantes et réduisent considérablement la qualité des récoltes (FAO, 2021).

Parmi ces ravageurs, les pucerons (*Aphids*) constituent une menace majeure pour les agrumes, en raison de la diversité de leurs modes d'attaque. Le mode de nutrition des pucerons par piqûre-succion provoque le recroquevillement des feuilles et la déformation des jeunes pousses (Zhu *et al.*, 2023). Ces insectes par leur déplacement peuvent être un vecteur redoutable de virus phytopathogènes, tels que la Tristeza des agrumes, pouvant mener à la mort précitée des arbres (Harper et Cowell, 2021). Ils peuvent être aussi responsables du développement de la fumagine (un champignon noir), qui bloque la photosynthèse et déprécie la valeur commerciale des fruits dû à la sécrétion d'une substance sucrée, le miellat, par les pucerons. (Jasrotia *et al.*, 2022).

La lutte contre ces insectes repose sur une combinaison de pratiques culturales et de contrôles biologiques et chimiques, ceci nécessite une compréhension approfondie des interactions pucerons-plantes hôtes pour instaurer des stratégies de protection durables (La Ghoiteret Hanichi, 2023).

Les pucerons possèdent un système nerveux central composé de ganglions nerveux et d'un cerveau, assurant la coordination de leurs processus physiologiques et la régulation de leurs réponses comportementales par le traitement des informations issues des chimiorécepteurs (Colizziet *al* ,2023). Pour percevoir leur environnement, ces insectes utilisent des chimiorécepteurs olfactifs et gustatifs localisés au niveau des pièces buccales, des antennes et des pattes (Dixon, 2021). Ces récepteurs leur permettent d'analyser les molécules odorantes afin de produire des réponses comportementales adaptées, tandis que la gustation, via des sensilles spécialisées, contrôle leurs déplacements et leur permet de sélectionner avec précision les plantes hôtes (Dixon, 2021). Ce système sensoriel leur permet également de distinguer les substances sucrées des substances toxiques ou répulsives, un comportement déclenché par des phéromones d'alarme (Fan *et al* ,2023), facilitant ainsi la reconnaissance de la nourriture et l'évitement des dangers.

Sur le plan alimentaire, les pucerons se nourrissent de la sève des plantes à l'aide d'un rostre piqueur-suceur (*stylet*), ce qui entraîne la production de miellat (Layeket *al.*,2022).

Le miellat est une substance excrétée par les pucerons suite à l'ingestion massive de sève élaborée. Il a été rapporté que cette production résulte d'un processus de filtration intestinale où l'insecte retient les nutriments essentiels et rejette l'excès d'eau et de sucres (Sabriet *al* ,2021). La composition chimique du miellat est complexe ; elle est majoritairement constituée de glucides (melezitose, sucrose, fructose), mais contient également des acides aminés, des vitamines et des sels minéraux (Lemoine *et al*, 2020).

Au-delà de sa fonction d'excrétion, le miellat joue un rôle écologique fondamental en instaurant une relation symbiotique avec les fourmis. Ces derniers stimulent à leur tour l'abdomen de l'insecte avec leurs antennes afin de provoquer l'émission de gouttelettes sucrées supplémentaires restantes (Blackman et Eastop, 2020). Les fourmis ainsi protègent les colonies de pucerons en échange de cette ressource énergétique (Zhu *et al* ,2023) contre les prédateurs naturels tels que les coccinelles (*Coccinelle septempunctata*) (Tegelaar et Etxebeste ,2022). Cette interaction modifie profondément les relations entre les pucerons et leurs ennemis naturels, favorisant ainsi leur survie et leur persistance sur diverses cultures agricoles (Stadler et Dixon , 2023).

L'alimentation des fourmis associées aux pucerons est opportuniste, mais elles privilégient une diète glucidique fournie par le miellat des pucerons, qui constitue une source d'énergie vitale pour la colonie (Ivens *et al.*, 2021). La perception de leur environnement

repose sur des chimiorécepteurs olfactifs et gustatifs situés sur les antennes, qui assurent la détection des odeurs et des signaux chimiques (Fleischer *et al* ,2024). Ces sensilles permettent aux fourmis d'analyser les molécules gustatives et olfactives pour identifier la qualité nutritionnelle du miellat et reconnaître leurs partenaires pucerons (Wadiet *al.*, 2023).

La compréhension de ce phénomène naturel de mutualisme ouvre la voie au développement d'approches de protection des plantes contre les pucerons, notamment par le détournement de l'effet mutualiste entre fourmis et pucerons et la perturbation de cette interaction à l'aide de différentes techniques biologiques.

La lutte biologique via les extraits de plantes insecticides (biopesticides botaniques) constitue une alternative durable aux pesticides de synthèse. Ces plantes agissent par le biais de leur métabolites secondaires ou composants chimiques de l'huile essentielle qui perturbent le système nerveux des ravageurs et par conséquent leur processus physiologiques. Les huiles essentielles représentent une alternative écologique majeure grâce à leur mode d'action multi-cible. Elles exercent un effet répulsif immédiat en perturbant les chimiorécepteurs olfactifs des insectes (Koulet *al.*, 2021 ; Pavela *et al* ,2023), mais peuvent également induire un effet attractif trompeur ou désorientant, perturbant l'orientation vers les plantes hôtes et réduisant ainsi leur capacité de colonisation (Bouzeraa *et al.*, 2019 ; Benelliet *al.*,2024). Sur le plan physiologique, leur nature lipophile leur permet de pénétrer la cuticule pour induire une neurotoxicité par l'inhibition de l'acétylcholinestérase, entraînant une paralysie mortelle (Tak et Isman, 2025). Enfin, elles provoquent des troubles respiratoires par l'obstruction des stigmates, assurant une efficacité biocontrôlée tout en limitant les risques de résistance (Regnault-Roger *et al* ,2022).

L'Algérie possède un patrimoine floristique exceptionnel estimé à plus de 3 000 espèces végétales, dont environ 600 à 700 espèces médicinales et aromatiques (Meddour *et al* ,2023). Les ressources locales sont principalement dominées par de grandes familles botaniques telles que les *Lamiaceae* (thym, romarin, origan...), les *Asteraceae* (Armoise blanche) et les *Myrtaceae* (Eucalyptus).

Les recherches récentes en Algérie et dans le monde confirment l'efficacité des huiles essentielles comme alternatives biosourcées aux insecticides chimiques. Les travaux de (Hakimiet *al* ,2024) sur *Juniperus phoenicea* et *Mentha pulegium* ont révélé une forte activité aphicide contre *Aphis gossypii*, comparable aux produits commerciaux. De même, (Boukabacheet *al.*,2026) ont démontré la haute toxicité de l'huile de *Laurus nobilis* (riche en

1,8-cinéole) par contact et fumigation contre plusieurs espèces de pucerons (*Aphis fabae*), (*Myzus persicae*). Ces biopesticides représentent une solution prometteuse pour une gestion intégrée et durable des ravageurs agricoles. Cependant, l'efficacité de ces produits dépend de leur concentration et de leur persistance, offrant une action ciblée (Isman, 2020 ; Pavela et Benelli, 2021 ; Benelli et al., 2024) et nécessitant des applications répétées selon le mode d'application (Pavela et al., 2023).

L'objectif de ce travail est d'évaluer le potentiel de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur le comportement des pucerons, sa toxicité ainsi que ses répercussions sur leur reproduction. L'étude vise également à détourner le mutualisme entre les fourmis et les pucerons par l'introduction d'une nouvelle ressource trophique pouvant être attractive ou répulsive pour les fourmis. L'objectif final est de proposer une solution naturelle et efficace permettant à la fois d'éradiquer les pucerons et de perturber leur relation mutualiste avec les fourmis, tout en favorisant l'action des ennemis naturels des pucerons, sans recourir aux pesticides de synthèse.

Synthèse Bibliographique

1/ Ravageurs agricoles

1.1. Définition

Un ravageur agricole est un organisme vivant qui, par son activité, cause des dommages significatifs aux cultures, entraînant une réduction de leur rendement, de leur qualité ou de leur valeur économique (Savary *et al.*,2019) Ces organismes peuvent inclure des insectes, des acariens, des nématodes et des maladies microbiologiques La compréhension de leur nature est essentielle pour développer des stratégies de gestion efficaces (Abrol,2024)

2/ Insectes ravageurs de plantes en Algérie

2.1. Définition

L'Algérie, avec son climat méditerranéen diversifié, offre un environnement propice au développement d'une grande variété d'insectes ravageurs affectant les cultures. Ces insectes représentent une menace constante pour la production agricole nationale, en particulier pour les cultures stratégiques comme les agrumes (Mebarki , C 2020) .

2.2. Types d'insectes ravageurs de plantes

Les insectes ravageurs agricoles sont classés selon plusieurs critères, notamment leur biologie et la nature de leurs dégâts :

Ravageurs directs : Ils consomment directement les organes de la plante. On y trouve les broyeur (criquets, chenilles) qui dévorent le limbe foliaire, et les piqueurs-suceurs (pucerons, cochenilles) qui pompent la sève, (Haddad *et al.*,2020) affaiblissant la plante par soustraction de nutriments

Ravageurs indirects: Leur danger principal réside dans leur rôle de vecteurs. Ils inoculent des agents pathogènes (virus, bactéries, phytoplasmes) lors de leur prise alimentaire. Un seul individu peut ainsi contaminer une parcelle entière (Perilla-Henao et Casteel ,2020) .

Ravageurs telluriques : Organismes vivant dans le sol (nématodes, vers blancs) s'attaquant au système racinaire, souvent difficiles à détecter avant que les symptômes aériens ne soient irréversibles (Gowda *et al.*,2022) .

Ravageurs des denrées stockées : Ils s'attaquent aux récoltes après la moisson (charançons, mites), causant des pertes économiques majeures lors du stockage (Campolo *et al.*, 2022) .

Parmi d'insectes ravageurs de plantes les plus prévalent en Algérie signalés par l'Institut National de Protection des Végétaux (INPV) :

La cératite (*Ceratitiscapitata*), également connue sous le nom de mouche méditerranéenne des fruits, provoque des dégâts importants sur les fruits (Tena et Garcia-Mari, 2022).

La mineuse des agrumes (*Phyllocnistiscitrella*) est un autre ravageur majeur, apparu en Algérie en 1994 (ITAFV, 2021). Il s'agit d'un micro-lépidoptère creusant des galeries sous l'épiderme des jeunes feuilles

Les aphides (pucerons) sont des colonisateurs rapides des jeunes pousses et des feuilles, provoquant un affaiblissement de la croissance de la plante.

Les cochenilles sont des insectes fixes protégés par un bouclier cireux, ce qui affaiblit la plante.

2.3 .Dégâts des insectes ravageurs de plantes

Les attaques des insectes se manifestent par divers symptômes, tels que la déformation des feuilles, la chute prématurée des fruits, le jaunissement des plantes ou la présence de miellat, une substance sucrée excrétée par les insectes piqueurs-suceurs (Bissaad *et al.*, 2021 ;Koli ,2023) les dégâts sont classés en deux catégories majeures :

Dégâts directs :

Soustraction de sève : Entraîne un rabougrissement de la plante et une chute du rendement (Tena et Garcia-Mari ,2022) .

Injections toxiques : La salive de certains insectes contient des toxines provoquant des crispations, des enroulements foliaires ou des galles (Gullan et Cranston ,2023) .

Dégâts mécaniques : Blessures sur les fruits (piqûres de cératite) les rendant invendables (Chomnuntiet *al.*,2024)

Dégâts indirects :Développement de la Fumagine : Le miellat sucré rejeté par les pucerons et cochenilles recouvre les feuilles. Un champignon noir (*Capnodium*) s'y développe, bloquant la photosynthèse et la respiration foliaire (Tena et Garcia-Marí, 2022 ; Chomnuntiet *al.*,

2024).Transmission de virus : Le risque le plus grave en Algérie est la transmission du virus de la Tristeza par les pucerons, capable de décimer des vergers entiers en quelques années

3/ Agrumes

Les agrumes (*Citrus spp.*), membres éminents de la famille des Rutacées, représentent une catégorie de fruits d'une importance agronomique, économique et nutritionnelle capitale à l'échelle planétaire. Avec une production mondiale dépassant les 150 millions de tonnes annuellement (FAO , 2024), ils se positionnent comme la première culture fruitière en volume, contribuant significativement à la sécurité alimentaire et aux échanges commerciaux internationaux. Cette prééminence est due à leur richesse en composés bioactifs essentiels, notamment la vitamine C, les flavonoïdes et les caroténoïdes, qui leur confèrent des propriétés bénéfiques pour la santé humaine (Ladaniya ,M.S 2023) . Les principales espèces cultivées mondialement incluent l'orange (*Citrus sinensis*), le mandarinier (*Citrus reticulata*), le citron (*Citrus limon*), le pamplemousse (*Citrus paradisi*) et le lime (*Citrus aurantifolia*)

Dans le contexte algérien, l'agrumiculture constitue également un pilier stratégique de l'économie agricole nationale. Bénéficiant de conditions pédoclimatiques méditerranéennes idéales, la production a atteint un record de plus de 18 millions de quintaux pour la campagne 2024-2025 (MADR , 2025) plaçant l'Algérie parmi les acteurs majeurs du bassin méditerranéen.

Le verger agrumicole algérien se caractérise par une grande diversité variétale, avec plus de 70 variétés cultivées. Les espèces dominantes en Algérie sont l'oranger (*Citrus sinensis*), le clémentinier (*Citrus clementina*), le mandarinier (*Citrus reticulata*) et le citronnier (*Citrus limon*), qui sont principalement destinés à la consommation locale et à l'exportation (ITAFV,2021) Cette filière est toutefois confrontée à des défis majeurs, notamment la gestion des ravageurs et des maladies, ce qui justifie l'exploration de méthodes de lutte innovantes et respectueuses de l'environnement

3.1. État des agrumes en Algérie

3.1.1 Rendement

L'Algérie a enregistré une croissance notable de sa production agrumicole ces dernières années. Pour la campagne 2024-2025, la production globale a atteint un record

historique dépassant les 18 millions de quintaux, affirmant la position du pays comme acteur majeur dans le bassin méditerranéen. Le rendement moyen oscille entre 200 et 250 quintaux par hectare, bien que des disparités subsistent selon le niveau de technicité des vergers et la disponibilité des ressources hydriques (MADR ,2025) .

3.1.2. Types d'agrumes en Algérie

L'agrumiculture algérienne repose sur une diversité d'espèces et de variétés :
Les Orangers (*Citrus sinensis*) : Ils représentent la part la plus importante avec environ 60 % de la production nationale. Ce groupe est dominé par les variétés Navels (Washington, thompson)

Les Clémentiniers (*Citrus clementina*) : Ils contribuent à hauteur de 25 % de la production. Les variétés les plus renommées sont la Clémentine de Misserghin et la variété Fina.

Les Citronniers (*Citrus limon*) : Ils représentent 8 % de la production totale. La variété Eureka (citron des 4 saisons) est la plus répandue en raison de sa production remontante tout au long de l'année.

Les Mandariniers (*Citrus reticulata*) : Ils constituent environ 5 % de la production. La variété Wilking est l'une des principales variétés cultivées, notamment dans la région de la Mitidja.

Le Pomélo (*Citrus paradisi*) : Bien que sa part soit plus faible (2 %), il est présent dans plusieurs zones de production comme Tipaza et Chlef. La variété Marsh Seedless est la plus cultivée (comme illustré dans la Figure 01).

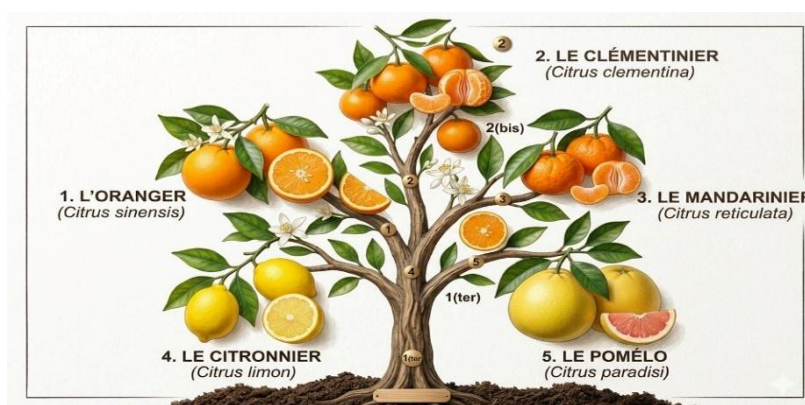


Figure 01. Classification et diversité botanique des principales espèces d'agrumes cultivées en Algérie (ITAFV , 2021) .

Tableau 01. Répartition variétale et zones de production des agrumes en Algérie
(Campagne 2024-2025) (MADR , 2025) .

Type d'agrumes	Part de la production nationale %	Principales zones de production (wilaya)	Variétés dominantes
Oranges (<i>Citrus sinensis</i>)	~ 60 %	Blida ,Chlef , Tipaza Mostaganem ,Mascara , El tarf	Navel (Washington, Thompson), Sanguine, Valencia Late
Clémentines (<i>Citrus clementina</i>)	~25 %	Mascara (Mohammedia) , Blida (Boufarik) ,Tipaza ,Sakikda	Clémentine de Misserghin, Monreal
Citrons (<i>Citrus limon</i>)	~ 8 %	Tipaza , Alger , Mascara , Sakikda ,El tarf	Eureka (4 Saisons), Lisbonne, Verna
Mandarines (<i>Citrus reticulata</i>)	~ 5 %	Blida ,Boumerdes , Mostaganem	Mandarine (Boufarik)
La Pomélos (<i>Citrus paradisi</i>)	~ 2 %	Tipaza , Alger , Chlef	Marsh Seedless (Pomelos)

3.1.3. Pertes agricoles économiques avant et après récolte

Les pertes agricoles et économiques dues aux ravageurs et aux maladies sont substantielles. On estime que ces pertes peuvent atteindre 30 à 40% de la production totale dans les vergers non protégés ou mal gérés . Avant la récolte, les insectes ravageurs affaiblissent les arbres, réduisent la taille et la qualité des fruits, et peuvent provoquer leur chute prématurée. Après la récolte, les dégâts peuvent continuer en entrepôt, réduisant la durée de conservation et la valeur marchande des produits . Ces pertes ont un impact direct sur le revenu des agriculteurs et sur l'économie nationale (Tena et Garcia-Marí, 2022).

3.1.4. Insectes ravageurs des agrumes

Parmi les insectes ravageurs des agrumes les plus préoccupants en Algérie, les pucerons jouent un rôle central. Des espèces comme *Aphisgossypii*, *Aphispiraeicola* et *Toxopteraaurantiis* sont fréquemment rencontrées dans les vergers algériens, causant des dommages directs par leur alimentation et indirects par la transmission de virus . D'autres

ravageurs, tels que la mineuse des agrumes et les cochenilles, contribuent également aux pertes de rendement et de qualité (Saharaouiet Hemptinne,2021).

3.1.5. Dégâts des insectes ravageurs des agrumes

La productivité et la qualité des agrumes en Algérie sont étroitement liées à l'état phytosanitaire des vergers. Les dégâts occasionnés par les différents ravageurs (insectes, acariens) se manifestent à plusieurs niveaux, affectant tant la physiologie de l'arbre que la valeur marchande de la production.

Dégâts physiologiques et végétatifs :

Les attaques précoces sur les organes en croissance (jeunes pousses, bourgeons et fleurs) provoquent des malformations irréversibles. Le prélèvement de sève et l'injection de salive phytotoxique entraînent un ralentissement de la croissance, un jaunissement du feuillage et, dans les cas sévères, un dépérissement partiel des rameaux (Zouidiet *al.*, 2023). Ces atteintes affaiblissent la vigueur générale de l'arbre, le rendant plus vulnérable aux stress abiotiques.

Altération de la qualité des fruits :

Les dégâts sur les fruits sont les plus critiques d'un point de vue économique. Qu'il s'agisse de piqûres nutritionnelles, de pontes ou de déjections, ces altérations causent des taches, des nécroses cutanées ou une chute prématurée des fruits avant la récolte (Amrani et Cherif, 2024). Ces défauts esthétiques et structurels dévaluent la production, la rendant impropre l'exportation et à la conservation.

Perturbation de la photosynthèse et risques viraux :

Certains ravageurs sécrètent des substances sucrées (miellat) qui favorisent la prolifération de la fumagine. Ce complexe fongique noir crée un écran sur le limbe foliaire, perturbant ainsi les échanges gazeux et la synthèse chlorophyllienne (Lamine, 2023). Par ailleurs, les insectes piqueurs-suceurs agissent souvent comme des vecteurs de virus et de bactéries phytopathogènes, dont l'impact peut mener à la destruction totale des parcelles infectées (Brahimi *et al.*, 2022)

4/ Pucerons

4.1 Définition

Les pucerons (Aphididae) sont de petits insectes phytophages qui représentent l'un des groupes de ravageurs les plus importants en agriculture, en raison de leur capacité à causer des dommages directs aux cultures par l'aspiration de la sève et indirects par la transmission de virus végétaux (Hulléet *al.*, 2020). Leur succès en tant que ravageurs est largement attribuable à leurs stratégies écologiques et reproductives uniques (Blackmanet Eastop, 2022). D'un point de vue évolutif, les pucerons constituent un groupe très ancien, dont l'apparition remonte à plus de 280 millions d'années (Jousselin et Elias, 2023).

4.2 Habitat

L'habitat des pucerons est principalement constitué de plantes hôtes, qu'ils colonisent pour se nourrir et se reproduire. Ils sont cosmopolites et peuvent infester une vaste gamme de plantes cultivées et sauvages, y compris les arbres fruitiers, les légumes, les céréales et les plantes ornementales (Blackman et Eastop, 2022). Les pucerons se localisent généralement sur les parties tendres des plantes, telles que les jeunes pousses, les feuilles (souvent sur la face inférieure), les bourgeons et les racines, où la sève est facilement accessible et riche en nutriments (Jaouadiet *al.*, 2023)

La sélection de l'habitat est cruciale pour les pucerons et est influencée par plusieurs facteurs :

Qualité de la plante hôte : Les pucerons préfèrent les plantes en croissance active, riches en acides aminés essentiels pour leur développement et leur reproduction (Petrakis, 2021).

Conditions environnementales : La température et l'humidité jouent un rôle majeur. Les serres, par exemple, offrent des conditions idéales et stables pour leur reproduction continue (Zhu *et al.*, 2024).

Présence d'ennemis naturels : Les pucerons peuvent choisir des habitats moins exposés aux prédateurs ou aux parasitoïdes, ou bénéficier de la protection offerte par des fourmis mutualistes (Detrainet Prieur, 2023).

Certaines espèces de pucerons sont monophages (se nourrissent d'une seule espèce de plante), tandis que d'autres sont oligophages (se nourrissent de quelques espèces) ou

polyphages (se nourrissent de nombreuses espèces), ce qui détermine la diversité de leurs habitats (Hulléet *al.*, 2020).

4.3. Comportement

Le comportement des pucerons est caractérisé par une série d'adaptations qui leur permettent de survivre et de prospérer. Leur comportement principal est l'alimentation, qui se fait par l'insertion de leur stylet dans le phloème de la plante pour aspirer la sève. Ce processus peut durer plusieurs heures et est souvent accompagné de l'excrétion de miellat (Leybourneet *al.*, 2021).

Les pucerons présentent également des comportements de défense :

Sécrétion de cire : Certaines espèces produisent une couche cireuse protectrice qui les rend moins vulnérables aux prédateurs et aux pesticides (Tollavianet *al.*, 2023).

Chute réflexe : En cas de menace, de nombreux pucerons se laissent tomber de la plante pour échapper aux prédateurs (Ben-Ari *et al.*, 2020).

Production de phéromones d'alarme : Lorsqu'un puceron est attaqué, il peut libérer une phéromone d'alarme qui avertit les autres pucerons de la colonie, les incitant à se disperser ou à adopter des comportements défensifs (Vosteenet *al.*, 2022).

Le comportement de vol est également important pour la dispersion et la colonisation de nouvelles plantes hôtes. Les pucerons ailés (alate) sont produits en réponse à des conditions de surpopulation ou à la détérioration de la qualité de la plante hôte, leur permettant de migrer vers des environnements plus favorables (Jaquiéryet *al.*, 2021).

4.4. Reproduction

La reproduction des pucerons est remarquablement flexible et rapide, ce qui contribue à leur capacité à former rapidement de grandes populations. Ils présentent un cycle de vie complexe alternant entre reproduction sexuée et asexuée (parthénogenèse) (Sentis et al., 2021).

Parthénogenèse (Reproduction Asexuée) : C'est le mode de reproduction dominant pendant la majeure partie de l'année, en particulier pendant les saisons favorables (printemps et été). Les femelles parthénogénétiques (appelées vivipares) donnent naissance à des clones génétiquement identiques sans fécondation. Elles sont ovovivipares, ce qui signifie que les œufs éclosent à l'intérieur de la mère, et les jeunes (nymphes) sont libérés vivants (Davis, 2022). Ce mode de reproduction permet une augmentation exponentielle des populations en peu de temps.

Reproduction Sexuée : En automne, en réponse à des signaux environnementaux tels que la diminution de la photopériode et des températures, les pucerons produisent des formes sexuées (mâles et femelles ovipares). Ces femelles pondent des œufs d'hiver (œufs diapausants) qui sont résistants au froid et éclosent au printemps suivant. Ce cycle permet aux pucerons de survivre aux conditions hivernales défavorables et de maintenir la diversité génétique.

Le climat méditerranéen, caractérisé par des hivers doux, permet à cette espèce de maintenir une activité biologique continue. Ainsi, elle se reproduit généralement par parthénogenèse tout au long de l'année, sans passer par le stade d'œuf d'hiver ; ce phénomène est connu sous le nom de cycle anholocyclique. Cette stratégie d'adaptation permet d'optimiser leur survie et leur dispersion en fonction des conditions environnementales locales (Simon et al., 2020).

5/ Mutualisme des pucerons avec les fourmis

5.1. Définition

Le mutualisme est une interaction biologique où deux espèces différentes interagissent de manière à ce que chaque espèce tire un bénéfice de cette association (Bronstein, 2020). Dans le cas spécifique des pucerons et des fourmis, cette relation est souvent qualifiée de trophobiose, car elle implique un échange de ressources alimentaires. Les pucerons, en se nourrissant de la sève des plantes, excrètent un liquide sucré appelé miellat, riche en sucres et en acides aminés (Vantaux *et al.*, 2021).

Ce miellat est une source de nourriture très appréciée par de nombreuses espèces de fourmis. En échange de cette ressource, les fourmis protègent activement les colonies de

pucerons contre leurs ennemis naturels, tels que les coccinelles et les syrphes (Detrain et Prieur, 2023). Ce mutualisme peut être facultatif, où les espèces peuvent survivre indépendamment, ou obligatoire, où au moins une espèce dépend de l'autre pour sa survie ou sa reproduction (Stadler et Dixon, 2024). La plupart des mutualismes fourmis-pucerons sont facultatifs, mais l'association est si avantageuse qu'elle est très répandue dans la nature.

5.2. Nature de la relation

La relation entre les pucerons et les fourmis est principalement de nature trophique et défensive. Les pucerons, en tant qu'herbivores suceurs de sève, consomment de grandes quantités de sève pour obtenir les nutriments essentiels, mais ils excrètent l'excès de sucre sous forme de miellat. Ce miellat est un sous-produit de leur alimentation et représente une ressource énergétique précieuse pour les fourmis (Vantaux *et al.*, 2021).

La nature de cette relation est caractérisée par :

Échange de ressources : Les pucerons fournissent du miellat, une source de glucides et d'autres nutriments, aux fourmis. Les fourmis, en retour, offrent une protection contre les prédateurs et les parasitoïdes (Detrain & Prieur, 2023).

Dépendance chimique : La reconnaissance entre les fourmis et les pucerons est médiatisée par des signaux chimiques, notamment les hydrocarbures cuticulaires (CHC) des pucerons. Les fourmis reconnaissent les CHC spécifiques de leurs pucerons mutualistes, ce qui renforce la spécificité de l'interaction (Lubertazzi, 2022).

Manipulation comportementale : Les fourmis peuvent manipuler le comportement des pucerons pour maximiser la production de miellat. Elles peuvent stimuler les pucerons à produire plus de miellat en les tapotant avec leurs antennes, et même les déplacer vers des zones plus riches en sève (Parmentier, 2021).

Co-évolution : Cette relation a conduit à des adaptations évolutives chez les deux partenaires. Les pucerons ont développé des mécanismes pour produire du miellat de manière efficace et pour tolérer la présence des fourmis, tandis que les fourmis ont développé des comportements de gardiennage et de défense spécifiques aux pucerons (Stadler et Dixon, 2024).

5.3 Rôle des fourmis

Le rôle des fourmis dans le mutualisme avec les pucerons est multifacette et essentiel pour la survie et la prospérité des colonies de pucerons. Les fourmis agissent principalement comme des gardes du corps, mais leur influence s'étend à d'autres aspects de la vie des pucerons (Bronstein, 2020).

Protection contre les ennemis naturels : C'est le rôle le plus connu et le plus étudié des fourmis. Elles défendent activement les colonies de pucerons contre une large gamme de prédateurs (tels que les coccinelles, les syrphes, les chrysopes) et de parasitoïdes (guêpes parasitoïdes) (Detrain et Prieur, 2023). Les fourmis patrouillent autour des colonies de pucerons, attaquent et chassent les ennemis potentiels, réduisant ainsi considérablement la mortalité des pucerons due à la prédation et au parasitisme (Stadler et Dixon, 2024).

Nettoyage et hygiène : Les fourmis consomment le miellat excrété par les pucerons, empêchant ainsi l'accumulation de moisissures fuligineuses (fumagine) sur les feuilles. La fumagine peut réduire la photosynthèse de la plante et attirer d'autres ravageurs (Vantaux *et al.*, 2021). En gardant les colonies de pucerons « propres », les fourmis contribuent à maintenir la santé des pucerons et de la plante hôte (Tollavianet *al.*, 2023). Cependant, elles sont indirectement nuisibles à la plante à long terme, car elles favorisent la pullulation des pucerons.

Déplacement et installation : Certaines espèces de fourmis peuvent transporter les pucerons vers de nouvelles pousses ou de nouvelles plantes hôtes plus riches en sève, assurant ainsi un approvisionnement continu en nourriture pour les pucerons et, par conséquent, en miellat pour les fourmis (Parmentier, 2021). Elles peuvent également déplacer les pucerons vers des abris pendant les périodes de stress environnemental ou de menace (Zhu *et al.*, 2024).

6/ Protection phytosanitaire

La protection phytosanitaire englobe l'ensemble des actions visant à préserver la santé des végétaux contre les nuisibles, tels que les insectes ravageurs, les maladies et les adventices. L'évolution des pratiques agricoles et la prise de conscience environnementale ont conduit à l'adoption de stratégies de lutte plus diversifiées et intégrées.

Ce document se propose d'explorer en détail les différents types de lutte contre les insectes ravageurs des plantes, avant d'analyser spécifiquement le cadre et les enjeux de la protection phytosanitaire en Algérie.

6.1. Types de lutte contre les insectes ravageurs

La gestion efficace des populations d'insectes ravageurs est cruciale pour la production agricole. Plusieurs méthodes de lutte sont employées, souvent de manière combinée, pour minimiser les dégâts tout en préservant l'environnement.

6.1.1. Lutte Chimique

La lutte chimique repose sur l'application de pesticides synthétiques pour contrôler les ravageurs. Bien qu'elle offre une action rapide, son utilisation intensive soulève des préoccupations majeures : contamination des sols et des eaux, toxicité pour les pollinisateurs et développement de résistances chez les ravageurs (Tollavianet *al.*, 2023).

6.1.2. Lutte biologique

C'est la lutte la plus recommandée. Elle utilise des organismes naturels (agents de biocontrôle) pour réguler les ravageurs.

La lutte par prédation : Elle repose sur l'action d'insectes qui chassent et consomment directement les ravageurs. Exemple : Les coccinelles qui limitent naturellement les colonies de pucerons.

La lutte par parasitisme : Elle utilise des insectes (parasitoïdes) qui se développent aux dépens d'un hôte, entraînant inévitablement sa mort à la fin de leur cycle. Exemple : Les hyménoptères qui parasitent divers insectes ravageurs.

La lutte microbiologique : Cette méthode emploie des micro-organismes pathogènes (bactéries, champignons ou virus) pour provoquer des maladies chez les populations cibles. Exemple : L'utilisation du *Bacillus thuringiensis* pour contrôler les larves de lépidoptères.

La lutte par substances naturelles (Biopesticides) : Elle consiste à utiliser des extraits d'origine biologique, notamment des extraits végétaux. Ces substances peuvent agir par toxicité directe ou en perturbant le comportement du ravageur (effet répulsif). Exemple : L'usage des huiles essentielles pour modifier les interactions entre les insectes ou pour repousser les phytophages.

6.1.3. Lutte Mécanique et physique

Comprend l'utilisation de barrières physiques (filets), de pièges à phéromones ou chromatiques, et de traitements thermiques. Ces méthodes sont essentielles en agriculture biologique pour éviter les résidus chimiques (Zhu *et al.*, 2024).

6.1.4. Lutte culturale (Agrotechnique)

Visa à rendre l'environnement hostile aux ravageurs via la rotation des cultures, le choix de variétés résistantes et la gestion des dates de semis. C'est la base de la prévention en protection des plantes.

6.1.5. Lutte Génétique :

Exploite le développement de plantes résistantes ou des techniques comme celle de l'insecte stérile (TIS), visant à réduire la capacité reproductive des populations cibles.

6.1.6. Lutte Intégrée (IPM - Integrated Pest Management)

La Lutte Intégrée représente l'approche la plus évoluée et la plus adoptée. Elle combine de manière synergique toutes les méthodes précédentes. L'objectif est de maintenir les populations sous le seuil de nuisibilité économique tout en privilégiant la santé humaine et l'environnement (Stadler et Dixon, 2024).

6.2 Protection phytosanitaire en Algérie

L'Algérie a mis en place un système complet pour protéger ses cultures stratégiques et garantir sa sécurité alimentaire. Ce système repose sur un cadre législatif strict, des institutions spécialisées et une surveillance constante du territoire.

La politique nationale est encadrée par la Loi n° 87-17 du 1er août 1987, qui définit les missions de protection et de contrôle. L'Institut National de la Protection des Végétaux (INPV) est l'acteur central, chargé du diagnostic, de la surveillance et de la quarantaine aux frontières. Face aux défis posés par les ravageurs des céréales, de la pomme de terre et du palmier dattier, l'Algérie s'oriente vers une réduction des pesticides chimiques au profit de la lutte intégrée et biologique (INPV, 2023 ; Khellaf, 2021).

Tableau 02 . Eléments fondamentaux de la protection phytosanitaire en Algérie

Domaine	Eléments Clés	Description et Missions
Cadre législatif	Loi 87-17 et Décrets 95-387,95-405	Règle la protection des végétaux, le contrôle aux frontières et l'homologation des pesticides (Loi 87-17)
Institutions	MADR , INPV , DPVCT	Le Ministère (MADR) supervise, l'INPV exécute le contrôle technique et la surveillance sur le terrain (INPV,2023)
Cultures et Ravageurs	Céréales , Pomme de terre , Palmier	Assure la lutte contre les pucerons (céréales), la teigne (pomme de terre) et le Boufaroua (palmier dattier) (INPV, 2023)
Surveillance	Quarantaine (Listes A1 et A2)	Contrôle rigoureux pour empêcher l'introduction (A1) ou la propagation (A2) d'organismes nuisibles (INPV, 2023)
Perspectives	Lutte intégrée et biologique	Développement de réseaux de lutte biologique et promotion de pratiques agricoles durables (INPV, 2023)

7/ Biopesticides d'origine végétale

7.1. Définition

Les biopesticides d'origine végétale sont des substances naturelles dérivées de plantes qui possèdent des propriétés insecticides, fongicides, nématicides ou répulsives. Ils

représentent une alternative prometteuse aux pesticides chimiques de synthèse, s'inscrivant dans une démarche d'agriculture durable et de protection de l'environnement. La définition des biopesticides végétaux englobe une large gamme de composés, tels que les huiles essentielles, les extraits aqueux, les poudres de plantes ou les molécules pures isolées. Leur mode d'action est souvent multiple et complexe, incluant des effets neurotoxiques, antiappétants, répulsifs ou perturbateurs de la croissance et de la reproduction des ravageurs (Pavela ,R et Benelli , G 2024).

7.2. Types de biopesticides sur le marché dans le monde et en Algérie

Le marché mondial des biopesticides connaît une croissance significative, motivée par la demande croissante des consommateurs pour des produits alimentaires plus sains, les réglementations plus strictes sur les pesticides chimiques, et la recherche de solutions respectueuses de l'environnement. Cette tendance se reflète dans les projections de croissance robustes pour les années à venir.

7.2.1 Typs de biopesticides sur le marché mondial :

Le marché mondial est en forte expansion avec une croissance annuelle de 15% (estimé à ~9 milliards USD en 2024). Les types dominants sont :

Biofongicides : C'est le segment le plus large, représentant environ 47,4% du marché mondial des biopesticides. Exemples commerciaux : Le Serenade® (à base de *Bacillus subtilis*) et les produits à base de champignons antagonistes comme le genre *Trichoderma*. On trouve également des produits d'origine végétale comme le Timorex Gold® (à base d'huile d'arbre à thé) ou le Regalia® (extrait de la plante *Reynoutriasachalinensis*).

Bioinsecticides : Utilisés pour contrôler les insectes ravageurs, avec une croissance rapide. Exemples commerciaux : Le Delfin® ou le Dipel® (à base de *Bacillus thuringiensis*), et les produits à base de Pyrèthe naturel ou d'Azadirachtine (extrait du Neem). D'autres solutions incluent le Prev-Am® (à base d'huile d'orange) qui agit par contact sur divers ravageurs.

Bioherbicides: Bien que moins nombreux, ils se développent pour remplacer les herbicides chimiques. Exemples commerciaux : Le Beloukha® (à base d'acide pélargonique, un acide

gras d'origine végétale) On peut aussi citer l'Avenger® (à base de d-limonène extrait d'agrumes) utilisé pour le désherbage non sélectif.

Bio-nématicides : Destinés au contrôle des vers du sol (nématodes). Exemples commerciaux : Le MeloCon® (à base du champignon *Paecilomyces lilacinus*). Il existe aussi des nématicides botaniques comme le Nema-Q® (à base d'extraits de *Quillaja saponaria*) ou le Promax® (à base d'huile de thym).

7.2.2 Types de Biopesticides en Algérie

En Algérie, le marché est encore émergent face aux pesticides chimiques (consommation de 6 067 tonnes en 2022). Après l'interdiction de substances chimiques comme le glyphosate en 2022, la transition vers les biopesticides s'accélère. Bien que la part actuelle soit encore faible par rapport aux pesticides de synthèse, l'intérêt scientifique et réglementaire est en forte hausse (Soltani, 2025). Les types présents en Algérie se répartissent entre des produits déjà homologués sur le marché et des solutions issues de la recherche scientifique :

Biopesticides Microbiens (Produits homologués) : Il s'agit de produits déjà enregistrés et disponibles sur le marché algérien, utilisés notamment pour la lutte biologique. L'exemple le plus concret est la bactérie *Bacillus thuringiensis* (utilisée contre divers ravageurs), commercialisée sous des noms tels que XenTari® ou Dipel®, ainsi que certains isolats de *Trichoderma* utilisés comme bio-fongicides comme le produit Remedier® (à base de *Trichoderma harzianum*) ou Trianum .

Biopesticides Botaniques (Extraits locaux) : Valorisation des plantes locales avec des recherches avancées sur *Lavandula angustifolia* (Lavande), *Rosmarinus officinalis* (Romarin), *Eucalyptus globulus* (Eucalyptus).

8. Plante Origan, biopesticide et composition chimique

8.1 Plante Origan (*Origanum vulgare*)

L'Origan (*Origanum*



Description Botanique :

- Hauteur : elle peut atteindre 20 à 80 cm
- Feuilles : opposées, ovales et légèrement dentées.
- Fleurs : petites, de couleur rose à pourpre, regroupées en inflorescences terminales.
- Habitat : elle préfère les sols secs, calcaires et bien ensoleillés

vulgare), appartenant à la famille des Lamiaceae, est une plante herbacée vivace originaire de la région méditerranéenne, de l'Europe et de l'Asie occidentale. Elle est largement reconnue pour ses propriétés aromatiques et médicinales

Figure 02. *origanum vulgare*

C'est une plante vivace buissonnante, rhizomateuse et ramifiée ligneuse qui atteint généralement une taille variant entre 30 et 80 cm. Les tiges rouges, à section carrée, sont velues avec des feuilles aromatique arrondies, vertes, légèrement dentées. De minuscules fleurs à deux lèvres, violet-rose ou blanc (famille typique de la menthe), chacune avec 4 étamines saillantes et des bractées feuillues de couleur pourpre, fleurissent en épillets axillaires ou terminaux en forme de corymbe qui s'élèvent au-dessus du feuillage en été. Les fleurs sont roses ou pourpres, et sont regroupées en petits panicules (figure 05).

L'origan est une herbe consommée à n'importe quelle période de la journée par les diverses classes sociales. Il est beaucoup préparations culinaires comme aromate :salade,sauc,spizzas..

Pendant plusieurs, l'homme a eu recours à l'utilisation de produit insecticides de synthèse, ce qui a provoqué de nombreux problèmes sur l'environnement en général et sur les denrées alimentaire stockées en particulier.

Les habitants de la région méditerranéenne utilisent l'origan depuis des siècles en phytothérapie pour traiter de nombreuses maladies, notamment: peaux plaies ,muscles douloureux ,asthme ,crampes ,la diarrhée ,indigestion ,rhumes pour améliorer la santé globale Il existe plusieurs sous-espèces, dont l'*Origanumvulgare*subsp. hirtum (origan grec) et l'*Origanumcompactum*, qui varient principalement par leur concentration en principes actifs.

8.2 Role de l'origan comme biopesticide

L'utilisation de l'origan comme biopesticide représente une alternative écologique aux pesticides chimiques de synthèse. Ses propriétés biocides s'exercent contre une large gamme de bioagresseurs.

Tableau 03: Principaux types d'action des biopesticides, leurs cibles biologiques et leurs mécanismes d'action (FAO , 2020) .

Type d'action	Cibles principales	Mécanisme d'action
Insecticide	Pucerons , acariens ,moutiques ,tiques	Neurotoxicité (inhibition de l'acétylcholinestérase) et répulsion
Fongicide	Moisissures des vignes, champignons phytophagènes	Perturbation de la perméabilité de la membrane cellulaire fongique
Bactéricide	<i>Xanthomonascitri</i> (chancre citrique)	Lyse des membranes cellulaires et inhibition de la croissance

8.3 Composition chimique de l'origan

L'origan (*Origanumvulgare*) contient de nombreux composés bioactifs tels que les hydrocarbures monoterpéniques, les alcools et les phénols. Cela a été confirmé par des études phytochimiques récentes (Mekonnen *et al.*, 2024). Selon les recherches menées par (Brahmi *et al.*, 2022), la composition chimique de l'huile essentielle varie en fonction de l'organe de la plante utilisé, ainsi que des conditions environnementales.

L'étude de (Khaled *et al.*, 2023) a révélé la présence de carvacrol, thymol, \gamma-terpinène et p-cymène comme constituants majeurs. Par ailleurs, (Soni et Sharma, 2021) ont mis en évidence la richesse de l'extrait méthanolique d'origan en composés phénoliques, flavonoïdes et acides organiques.

Tableau 04. Principaux constituants chimiques de l'huile essentielle extraite de différentes parties de l'origan (*Origanum vulgare*) selon (Morsy et al., 2021 ; Al-Snafiet al., 2023).

Organe de la plante	Rendement en HE	Constituants principaux
Sommités Fleuries	2,5 % à 4,0 %	Carvacrol (65-82%), Thymol (1-5%), acétate de carvacryle, γ -terpinène et p-cymène. Ces composés représentent environ 96% de l'huile totale.
Feuilles	1,5 % à 2,2 %	Teneur très élevée en Carvacrol (60-75%), suivi du p-cymène (8-12%) et de faibles quantités de linalol et de myrcène.
Tiges	< 0,6 %	Faible rendement, composé majoritairement de Carvacrol (45-50%), <i>B</i> -caryophyllène et divers sesquiterpènes.

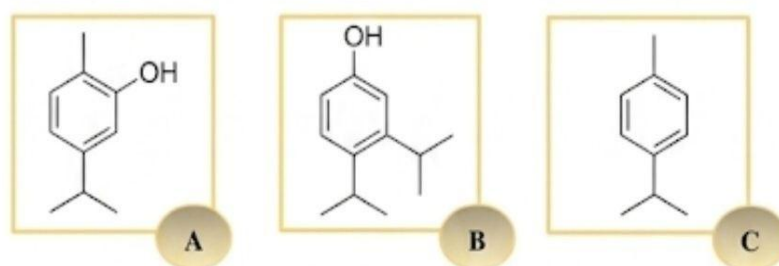


Figure 03. Structure chimique des principaux constituants actifs de l'huile essentielle d'origan (*Origanum vulgare*) : (a) Carvacrol ; (b) Thymol ; (c) p-Cymène (D'après Mekonnen et al., 2024 ; Khaled et al., 2023)

9/ Limites et perspectives des pesticides botaniques

Les plantes sont une source inépuisable de composés chimiques biologiquement actifs. Selon les estimations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 80% de la population des pays en développement dépend de la médecine traditionnelle dérivée des plantes pour leurs soins de santé primaires (OMS ,2023).Les plantes produisent un large éventail de métabolites secondaires (alcaloïdes, flavonoïdes, terpènes, etc.) qui leur confèrent de multiples propriétés biologiques

Malgré leur potentiel prometteur, la recherche et les applications cliniques des extraits de plantes sont confrontées à plusieurs obstacles techniques, environnementale et scientifiques identifiés dans les revues récentes (Pai, *et al.*,2022) :

Biodisponibilité : De nombreux composés végétaux souffrent d'une faible absorption dans le système digestif humain et d'un métabolisme rapide.

Standardisation : La concentration des substances actives est influencée par des facteurs environnementaux (climat, sol), ce qui rend difficile de garantir une dose constante

Toxicité : Certaines plantes contiennent des composés qui peuvent être toxiques à des doses non contrôlées ou lors d'utilisations prolongées.

Interactions médicamenteuses : Risques de réactions indésirables lors de la prise simultanée de traitements conventionnels.

Volatilité et évaporation : La nature volatile des huiles essentielles entraîne une perte rapide de la matière active par évaporation après l'application.

Faible persistance et durée d'action : Contrairement aux pesticides chimiques, ils se dégradent rapidement sous l'effet du climat, ce qui réduit leur durée d'action et nécessite des passages fréquents.

Instabilité : Leur forte sensibilité aux rayons UV (photo-dégradation) et aux variations de température affecte leur stabilité et leur efficacité

L'intégration de technologies modernes permet de surmonter les limites actuelles et d'ouvrir de nouvelles voies thérapeutiques (Latif ,R et Nawaz ,T 2025) :

Nanotechnologie : Utilisation de nanovecteurs pour améliorer la stabilité et le ciblage des composés actifs..

Intelligence Artificielle : Modélisation in silico pour prédire les activités biologiques et accélérer la découverte de nouveaux médicaments.

Extraction verte : Développement de méthodes d'extraction respectueuses de l'environnement pour préserver l'intégrité des molécules..

Synergie moléculaire : Étude des effets combinés entre extraits de plantes et antibiotiques pour lutter contre les résistances.

Matériels et méthodes

2/ Matériels et méthodes

2.1. Matériel biologique

2_1_1- Présentation des insectes

- **Puceron vert des agrumes (*Aphis spiraecola*)**

Aphis spiraecola (Patch, 1914) : (Puceron vert des agrumes, Puceron de la spirée) est une espèce d'insectes hémiptères de la famille des *Aphididae*.

C'est un puceron polyphage et cosmopolite, reconnu comme l'un des ravageurs les plus importants des agrumes (*Citrus spp.*), des pommiers et de nombreuses plantes ornementales. Il est particulièrement redoutable par sa capacité de pullulation rapide sur les jeunes pousses, provoquant l'enroulement des feuilles et le ralentissement de la croissance. En plus des dégâts directs par ponction de sève, il est un vecteur efficace de virus phytopathogènes, notamment le virus de la Tristeza des agrumes. En Algérie, *Aphis spiraecola* est largement distribué dans les principales zones agrumicoles. Il est particulièrement abondant dans les plaines littorales et sublittorales, notamment dans la Mitidja, le Bas-Chéliff, ainsi que dans les régions de l'Est, telles qu'Annaba et el Tarf. Sa présence est étroitement liée à la phénologie des agrumes, marquant des pics de pullulation durant les périodes de poussées de sève printanières (Allal-Benfekih *et al.*, 2021)

Classification Taxonomique :

- Règne : Animalia
- Embranchement : Arthropoda
- Classe : Insect
- Ordre : Hemiptera
- Sous-ordre : Homoptera
- Famille : Aphididae
- Genre : Aphis
- Espèce : *Aphis spiraecola* (Patch)
- Nom-EN : Green citrus aphid
- Nom-AR : من حمضيات الاخضر



Figure 04. *Aphis spiraecola*

Cycle biologique

Le développement de *Aphis spiraecola* est de type hétérogone. Cependant en Algérie (climat méditerranéen et un hiver doux), le cycle de développement est essentiellement anholocyclique (reproduction continue par parthénogenèse).

Nymphe : les pucerons passent par plusieurs stades nymphaux avant d'atteindre le stade adulte aptère. Les nymphes sont généralement de couleur vert clair ou jaune, devenant plus foncées avec l'âge, et mesurent environ 1-2 mm avant la dernière mue. Dans des conditions défavorables, telles que la surpopulation ou la dégradation de la plante hôte, certaines nymphes se développent en adultes ailés. Elles se distinguent par la présence de fourreaux alaires (ébauches d'ailes) visibles au niveau du méso- et du métathorax. L'apparition de ces formes ailées favorise la dispersion vers de nouvelles plantes hôtes.

Imago (Adulte) : le stade adulte chez les pucerons correspond au stade final de maturité sexuelle, avec une taille variant généralement de 1,2 à 2,2 mm (Blackman et Eastop, 2020). Les adultes sont généralement de couleur vert jaunâtre vif à vert pomme, avec des cornicules et une cauda noirs. Les formes ailées possèdent deux paires d'ailes membraneuses transparentes et assurent principalement la dispersion vers de nouveaux hôtes.

Le cycle de vie complet de *Aphis spiraecola* est extrêmement rapide ; il peut se dérouler en 7 à 12 jours dans des conditions optimales (notamment à une température constante d'environ 25°C). Cette durée peut varier selon l'hôte et les conditions climatiques (figure 02) (Hullé *et al.*, 2006 ; Mias *et al.*, 2017 ; Boukherrouba *et al.*, 2020).

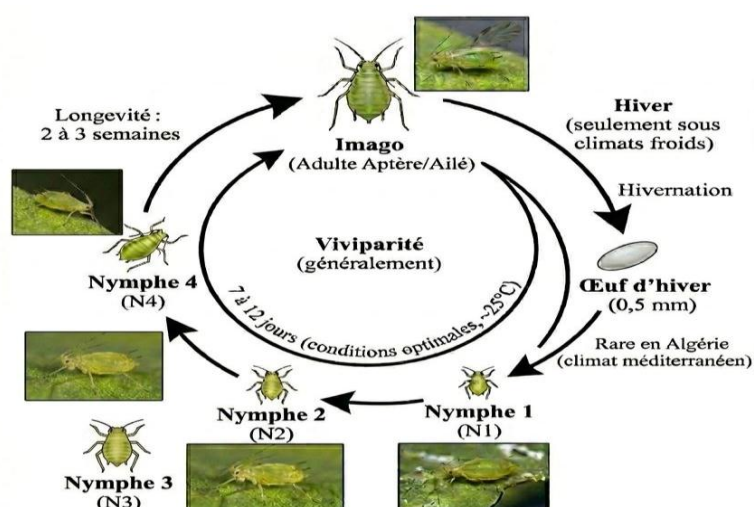


Figure 05. Cycle de développement d'un puceron *Aphis spiraecola*

- **Puceron noir des agrumes (*Toxoptera aurantii*)**

Toxoptera aurantii (Boyer de Fonscolombe, 1841) est le Puceron noir des agrumes ou puceron du théier, est une espèce d'insectes hémiptères de la famille des *Aphididae*. C'est un puceron polyphage, très commun dans les régions tropicales et méditerranéennes. Il est particulièrement redoutable sur les agrumes (*Citrus* spp.), où il provoque l'enroulement des jeunes feuilles et des pousses. En plus des dégâts directs par ponction de sève, il est un vecteur efficace de virus phytopathogènes, notamment le virus de la Tristeza des agrumes en Algérie, *Toxoptera aurantii* est fréquemment signalé dans les principales zones agrumicoles du pays. Il est particulièrement présent dans les vergers de la Mitidja (wilayas de Blida et Alger), ainsi que dans les régions de l'Est comme Annaba, El Tarf et Skikda, et à l'Ouest notamment à Mostaganem et Oran (Boukherrouba *et al.*, 2020)

Classification Taxonomique

- Règne : Animalia
- Embranchement : Arthropoda
- Classe : Insecta
- Ordre : Hemiptera
- Sous-ordre : Homoptera
- Famille : Aphididae
- Genre : Toxoptera
- Espèce : *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe)
- Nom-EN : Black citrus aphid
- Nom-AR : من حمضيات الأسود



Figure 06. *Toxoptera aurantii*

Cycle biologique

Le développement de *Toxoptera aurantii* est de type hétérogone, mais en Algérie (climat méditerranéen), il est essentiellement anholocyclique (reproduction continue par parthénogenèse).

Nymphe : après la naissance, les pucerons passent par plusieurs stades nymphaux avant d'atteindre le stade adulte aptère. Les nymphes sont généralement de couleur brun foncé à noir, et mesurent environ 1-2 mm. Dans des conditions défavorables, telles que la surpopulation ou la dégradation de la plante hôte, certaines nymphes se développent en adultes ailés. Elles se distinguent par la présence de fourreaux alaires (ébauches d'ailes)

visibles au niveau du méso- et du métathorax (Blackman et Eastop, 2021). L'apparition de ces formes ailées favorise la dispersion vers de nouvelles plantes hôtes.

Imago (Adulte) :

C'est le stade final de maturité sexuelle, l'adulte est de couleur brun foncé à noir brillant, mesurant 1.1 à 2.0 mm. Elle possède des cornicules noires. Sa longévité (durée de vie de l'adulte) est estimée entre 9 à 14 jours en conditions printanières optimales (Bensalah *et al.*, 2022).

Le cycle de développement (du premier stade nymphal à l'adulte) s'accomplit en 6 à 8 jours. Ainsi, la durée du cycle biologique varie entre 15 et 22 jours selon les conditions environnementales (Figure 2) (Blackman et Eastop, 2021 ; Bensalah *et al.*, 2022).

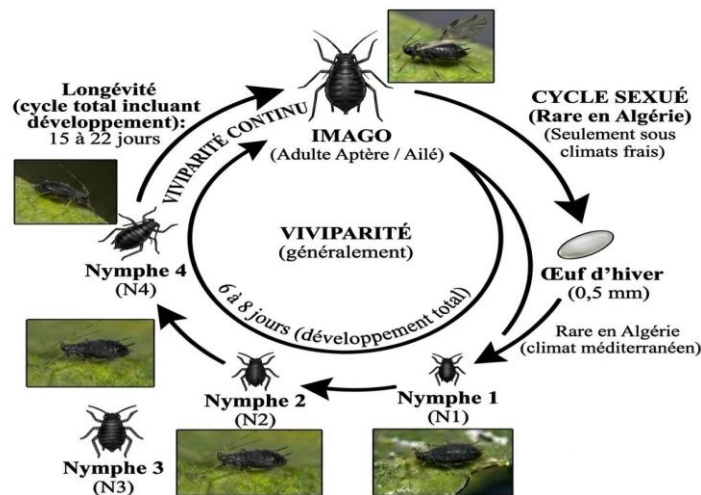


Figure 07. Cycle de développement biologique du puceron noir des agrumes, *T. aurantii*

- **Fourmi noir des jardins (*lasius niger*)**

Lasius niger (Linnaeus, 1758) ou fourmi noire des jardins est une espèce d'insectes hyménoptères de la famille des Formicidae.

C'est une espèce ubiquiste et très commune, particulièrement connue pour son interaction mutualiste avec les pucerons. Elle protège ces derniers contre les prédateurs (comme les coccinelles) en échange de la sécrétion de miellat. Cette fourmi joue un rôle indirect de ravageur en favorisant le maintien et l'extension des colonies de pucerons sur les cultures, notamment les agrumes.

Classification Taxonomique

- Règne : Animalia
- Embranchement : Arthropoda
- Classe : Insecta
- Ordre : Hymenoptera
- Sous-ordre : Apocrita
- Famille : Formicidae
- Genre : Lasius
- Espèce : Lasius niger
- Nom-EN : Black garden ant
- Nom-Ar : نملة الحدائق السوداء



Figure 08. *Lasius niger*

Cycle biologique

Le cycle de développement de *Lasius niger* est de type holométabole (métamorphose complète), passant par quatre stades distincts. La durée de développement de l'œuf à l'adulte varie généralement entre 8 à 12 semaines, selon la température et les ressources de la colonie.

Œuf : les œufs sont minuscules (environ 0.5 mm), de forme ovale et de couleur blanc laiteux (Seifert, 2023) Ils sont pondus exclusivement par la reine et sont soignés par les ouvrières qui les lèchent pour éviter les moisissures.

Larve : à l'éclosion, les larves sont dépourvues de pattes, elles sont de couleur blanche et de forme allongée (vermiforme). Elles sont totalement dépendantes des ouvrières pour leur alimentation. Ce stade passe par plusieurs mues avant la nymphose.

Nymphe : chez *Lasius niger*, la nymphe se développe généralement à l'intérieur d'un cocon de soie tissé par la larve. À l'intérieur du cocon, l'insecte subit une transformation radicale pour acquérir sa morphologie d'adulte. Ce stade dure environ 10 à 25 jours.

Imago (Adulte) : l'adulte émerge du cocon avec sa forme définitive. On distingue trois castes : Ouvrières : femelles stériles, de couleur noire à brun foncé, mesurant 3 à 5 mm. (Seifert, 2023), elles assurent la récolte du miellat.

Reine : individu fertile beaucoup plus grand (jusqu'à 9 mm), responsable de la ponte.
Mâles : Individus ailés qui n'apparaissent que lors du vol nuptial.

Le cycle biologique de *Lasius niger* est étroitement lié aux conditions thermiques du sol et à la disponibilité des sources de sucre (miellat) (Figure 03) (Seifert, 2023 ; Tragust, 2021).

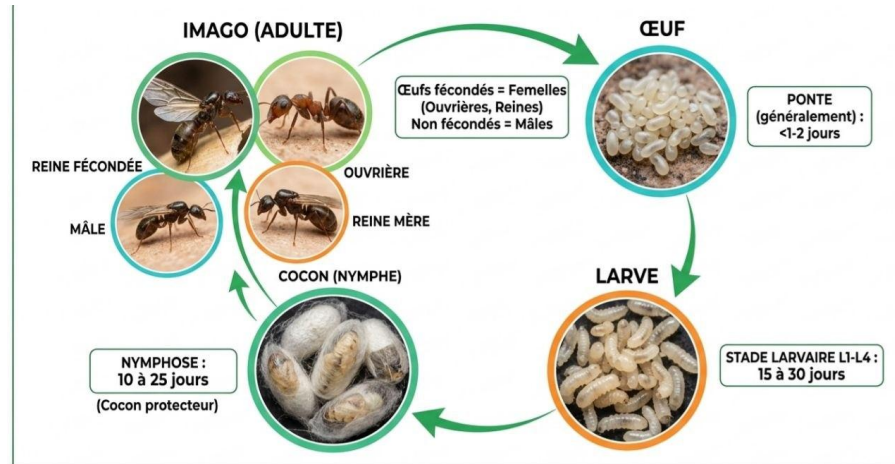


Figure 09 : cycle biologique de la fourmi *Lasius niger*.

2_1_2 Présentation des plantes

- ***Origanum vulgare***

L'*Origanum vulgare* est une espèce aromatique à large distribution, spontanée principalement dans les régions méditerranéennes et s'étendant à travers l'Europe et l'Asie (KHALFI *et al.*, 2022).

Classification Taxonomique

- Règne : plantae
- Embranchement : Magnoliophyta
- Sous-embranchement : spermatophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Sous-famille : Népétoïdées
- Genre : *Origanum*.
- Espèce : *Origanum vulgare*(Linné, 1753)
- Nom Français : Origan commun
- Nom Arabe : الزعتر



Figure 10. *Origanum vulgare*

En Algérie, *Origanum vulgare* est distribuée à travers tout le nord-est du pays (souk-ahras , galma, setif...). Son nom vernaculaire est « Ezzater/الزعر »

- ***Citrus limon***

Citrus limon est une espèce de plantes à fleurs appartenant à la famille des Rutacées, communément appelée citronnier. Il est largement cultivé dans les régions tempérées, tropicales et subtropicales du monde entier pour ses fruits acides et aromatiques, utilisés en cuisine, pour les jus et dans de nombreux autres produits.

Classification Taxonomique

- Règne : Plantae
- Embranchement : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Sapindales
- Famille : Rutaceae
- Genre : Citrus
- Espèce : *Citrus limon* (L.) Burm. f.
- Nom Français : Citronnier, Citron
- Nom Arabe : ليمون حامض



Figure 11 *Citrus limon*

Le citronnier (*Citrus limon*) est un arbre à feuilles persistantes et est considéré comme un fruit d'agrumes économiquement et sanitaire important. Algérie est l'un des pays producteurs d'agrumes, y compris le citron, dont la culture est répandue dans plusieurs wilayas. Les principales régions de culture du citron en Algérie comprennent des wilayas telles que Blida (dans la région de la Mitidja), Chlef, Skikda, Mascara, Mostaganem et Annaba (El Moudjahid ,2025). Les agrumes sont cultivés en Algérie sur une superficie estimée à 86 000 hectares répartis sur 23 wilayas

2.2 Méthodes d'étude

2.2.1 Collecte des insectes

Le prélèvement des insectes a été réalisé au début du mois de mars sur des feuilles de citronnier (*Citrus limon*) et d'oranger (*Citrus sinensis*) infestées par des colonies de pucerons, *Toxoptera aurantii* et *Aphis spiraecola*. Les fourmis associées à ces colonies, *Lasius niger*, ont

également été collectées afin d'étudier l'effet de perturbation du mutualisme dans cette étude. Les insectes ont été prélevés dans un verger d'agrumes situé dans la région est de la wilaya d'Annaba.

L'identification des insectes a été réalisée sur la base des observations de terrain, puis confirmée à l'aide de la littérature scientifique et une base de données taxonomique spécialisée « *Aphid Species File* ».

Le transport des pucerons a été effectué sur leurs feuilles hôtes afin de maintenir des conditions proches de leur état naturel. Les feuilles infestées ont été coupées au niveau de la tige afin de permettre son immersion dans l'eau contenue dans les tubes à essai afin de préserver leur fraîcheur. Le tube à essai a été fermé à l'aide de coton pour limiter l'évaporation de l'eau.

Les pucerons ont été misent dans une étuve à une température de 25°C. Les insectes ont été utilisés dans un délai maximum de deux jours après leur collecte, avec un renouvellement régulier du matériel biologique afin de garantir le bon déroulement des tests expérimentaux.

Les fourmis ont été collectées à l'aide d'un pinceau fin et transférées dans des boîtes contenant une solution sucrée à 30 % de saccharose pour leur alimentation. Les boîtes ont été fermées à l'aide d'une tulle maintenue par un élastique afin d'assurer une bonne aération tout en empêchant leur fuite. Les fourmis ont été utilisées pour l'expérimentation dans les 24h.

La conduite de l'expérimentation a été effectuée au niveau du laboratoire pédagogique de chimie à l'Université Chadli Bendjedid - El Tarf.



Figure 12. Colonies de pucerons et de fourmis en mutualisme sur jeunes pousses de citronnier

2.2.3 Traitement

L'huile essentielle a été préalablement extraite à partir de la plante séchée par hydrodistillation et fournie par l'université de Tébessa. La formulation de l'huile essentielle de *O. vulgare* a été préparée en mélangeant l'huile essentielle avec un tensioactif hydrophile non ionique (décyl glucoside) sous agitation intense afin d'obtenir une pré-émulsion homogène (rapport 1:2, huile : tensioactif). De l'eau distillée a ensuite été ajoutée progressivement sous agitation continue jusqu'à formation d'une émulsion stable de type huile-dans-eau (O/W). Ce type de formulation est adapté à une application par pulvérisation et permet d'assurer une bonne couverture du matériel biologique étudié.

Le traitement des pucerons a été effectué à l'aide d'un micro-pulvérisateur manuel. Une seule pression (une seule pulvérisation) a été appliquée sur chaque échantillon afin de maintenir un volume constant de solution. Pour éviter tout traumatisme mécanique et afin de mieux simuler l'interaction naturelle plante-insecte, le spray a été appliqué à une distance fixe de 20 cm des insectes préalablement installés sur leur support végétal (feuilles de citronnier et d'oranger).

Durant les différents tests biologiques réalisés dans cette étude, activité répulsif et toxique, effet sur la fécondité, aucun effet significatif du tensioactif utilisé seul n'a été observé, confirmant que les résultats obtenus sont attribuables à l'efficacité de l'huile essentielle.

Le traitement des fourmis consistait en un appât alimentaire sucré, préparé au préalable comme source trophique naturelle. Il était constitué d'une solution aqueuse contenant du sucre blanc (20 %) et de la levure boulangère (9 %). Ce mélange a été utilisé dans le test de perturbation des interactions mutualistes entre les fourmis et les pucerons.

2.2.4. Test de répulsion et de toxicité de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur les pucerons

Les effets biologiques de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur les pucerons ont été évalués à travers l'étude de son activité répulsive et de son effet toxique. Le test de répulsion a été réalisé afin d'évaluer la capacité de l'huile essentielle à éloigner les pucerons (*Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii*) de leur plante hôte.

Le test permet également d'évaluer un effet toxique, se traduisant par une immobilité, une chute ou un détachement des individus de leur support nourricier après traitement.

Pour la procédure expérimentale, une feuille de citronnier ou d'oranger naturellement infestée par une colonie de pucerons (*A. spiraecola* et *T. aurantii*) a été placée au centre d'une boîte de Pétri. Le nombre d'individus par colonie n'a pas été standardisé ni précisément quantifié. De même, l'âge des individus n'a pas été sélectionné et n'était pas connu. L'huile essentielle a été appliquée par pulvérisation, puis les effets répulsifs et toxiques ont été évalués visuellement en estimant le pourcentage d'individus affectés (déplacement ou mortalité) par rapport à l'ensemble de la colonie.

Différentes concentrations préliminaires ont été utilisées 1mg/ml, 2.5mg/ml, 6mg/ml ; 12.5mg/ml et 25mg/ml. Chaque concentration a été testée avec quatre répétitions avec une série témoin. Chaque feuille infestée a été considérée comme une unité expérimentale (répétition). Le témoin reçoit une solution eau et tensioactif. L'expérimentation a été conduite aux conditions de laboratoire.

Après le traitement, un suivi rigoureux a été effectué toutes les 30 minutes pendant une durée totale de deux heures. Lors de chaque observation, le comportement des pucerons a été évalué en comptabilisant :

- Le pourcentage d'individus ayant quitté la feuille (déplacement vers les parois de la boîte), exprimé comme indice de répulsion, estimé à l'échelle de la colonie ;
- Le pourcentage d'individus présentant des signes de mortalité, également estimé à l'échelle de la colonie. La mortalité (M) a été corrigée selon la formule d'Abbott (1925) qui permet d'éliminer la mortalité naturelle et de déterminer la toxicité réelle de l'huile essentielle :

$$\text{Mortalité corrigée (\%)} = \frac{(M_{\text{traité}} - M_{\text{contrôle}})}{100 - M_{\text{contrôle}}} \times 100$$



Figure 13 . Test de répulsion et de toxicité,**2.2.5. Test d'effet subléthal de l'huile essentielle de *O. vulgare* sur la reproduction des pucerons**

Ce test a été réalisé afin d'évaluer l'effet subléthal de différentes concentrations de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur la capacité de reproduction des pucerons (*Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii*).

Des feuilles d'agrumes infestées, chacune portant un seul individu adulte aptère de puceron, ont été préparées. Les feuilles ont été coupées au niveau de la tige et placées dans des tubes à essai contenant de l'eau afin d'assurer leur maintien en fraîcheur. Les tubes ont été fermés à l'aide de coton afin de limiter l'évaporation.

Les individus aptères ont été sélectionnés en raison de leur capacité de reproduction par parthénogenèse en conditions favorables, conformément à la période de l'étude.

Chaque feuille contenant 1 individu de puceron a ensuite été traitée par pulvérisation aux différentes concentrations 1mg/ml, 2.5mg/ml, 6mg/ml ; 12.5mg/ml et 25mg/ml. Les tubes ont été placés dans une étuve à 25 °C, température optimale pour la reproduction des pucerons. Les observations ont été effectuées après 24 heures.

Le nombre de nouvelles nymphes produites par chaque individu a été enregistré pour chaque répétition (quatre répétitions par concentration, avec une série de témoin).

Le taux de réduction de la fécondité (F) a été calculé selon la formule suivante :

$$F (\%) = (F_{\text{contrôle}} - F_{\text{traité}} / F_{\text{contrôle}}) \times 100$$

**Figure 14.**

Dispositif expérimental du test de fécondité des pucerons

**2.2. 6. Test de phytotoxicité de****l'huile essentielle d'*Origanum vulgare***

L'objectif de cet essai est d'évaluer l'innocuité de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* vis-à-vis de la plante hôte. Il est essentiel de vérifier que les concentrations utilisées

pour l'élimination des insectes ne provoquent pas de dommages physiologiques ou morphologiques sur les feuilles d'agrumes.

Des feuilles saines, ne présentant aucun signe préalable de dommage, ont été coupées au niveau de la tige et placées dans des tubes à essai contenant de l'eau afin d'assurer leur maintien en fraîcheur. Les tubes ont été fermés à l'aide de coton afin de limiter l'évaporation. Les feuilles étudiées comprenaient à la fois des jeunes feuilles et des feuilles matures.

Les feuilles ont été traitées selon la même méthode et aux mêmes concentrations que celles utilisées dans les deux premiers tests. Le traitement a été réalisé avant 10 h du matin afin d'éviter une exposition directe aux rayons solaires et de simuler les conditions réelles auxquelles les arbres sont exposés après un traitement en plein champ. Ce test a été conduit avec quatre répétitions et une série témoin.

Une observation rigoureuse a été effectuée après 1 h, 3 h, 6 h et 24 h afin de détecter d'éventuels signes visuels de phytotoxicité de l'huile essentielle, notamment : le jaunissement du limbe (chlorose) et l'apparition de taches sombres ou de brûlures (nécrose)



Figure 15. Dispositif expérimental du test de phytotoxicité de l'huile essentielle de *O. vulgare*

2.2.7 Test de l'activité perturbatrice du mutualisme

2.2.8 Test de non choix

Le test de l'activité perturbatrice du mutualisme fourmis-pucerons a été basé sur une évaluation de l'activité attractive de la source alimentaire sucrée à base de l'huile essentielle de citron sur les fourmis, réalisée à l'aide d'un test de non-choix. Ce dispositif expérimental visait à quantifier l'attraction exercée par l'huile essentielle de citron, en présence d'une

source alimentaire (sucre et levure), sur le comportement des fourmis dans un environnement contrôlé.

Le test consistait à déposer une goutte d'huile essentielle de citron (25 μ L) dans 50 μ L de solution sucrée (sucre et levure) sur une feuille de citronnier, puis à placer celle-ci au centre d'une boîte de Pétri. Cinq individus de fourmis ont été introduits dans chaque boîte. Le comportement des fourmis a été observé toutes les 30 minutes pendant une période de deux heures, avec trois répétitions pour l'ensemble de l'expérience. L'attraction a été évaluée par le nombre d'individus se regroupant autour de la feuille imprégnée du mélange, indiquant une attraction pour cette source alimentaire.

Durant l'expérimentation, ce test a été conduit en parallèle avec des tests sur une solution sucrée seule (sans levure) et sur la levure seule. La solution sucrée citronnée a montré une attraction plus élevée que la solution sucrée seule, tandis qu'aucune attraction n'a été observée pour la levure seule. Par conséquent, la solution sucrée enrichie en huile essentielle de citron a été retenue comme source alimentaire préférée des fourmis et utilisée comme traitement de référence dans la suite de ce travail.



Figure 16. Dispositif expérimental du test de non-choix montrant l'attraction des fourmis vers une feuille imprégnée d'un mélange (sucre, levure et huile essentielle de *citron*).

2.2.9 . Test de choix

Le test de choix consistait à introduire dans une même boîte de Pétri différents stimuli alimentaires, en prenant comme référence le mélange sucré citronné. Une huile essentielle d'*Origanum vulgare* a été testée, et la réponse comportementale des fourmis vis-à-vis de ce stimulus a été évaluée. Ce protocole expérimental a permis d'analyser les comportements de préférence ou d'évitement des fourmis dans un environnement contrôlé.

Le dispositif expérimental est similaire à celui du test de non-choix. Deux boîtes de Pétri distinctes contenant différents choix ont été utilisées.

La première boîte contenait deux feuilles de citronnier : la première feuille était traitée avec une goutte du mélange de sucre, de levure et d'huile essentielle de citron, tandis que la deuxième feuille était traitée avec une goutte du mélange de sucre, de levure et d'huile essentielle d'*Origanum vulgare* (25 μ L).

La deuxième boîte comprenait les deux mêmes feuilles, auxquelles s'ajoutait une troisième feuille fraîche naturellement infestée de pucerons.

Trois répétitions ont été réalisées, et cinq individus de fourmis ont été introduits dans chaque boîte de Pétri. Le comportement des fourmis a été rigoureusement observé toutes les 30 minutes sur une période totale de deux heures. L'évaluation a porté sur la proportion d'individus attirés par chaque feuille. La répartition des fourmis a été notée selon les catégories suivantes : choix de la solution à l'huile essentielle de citron, choix de la solution à l'huile essentielle d'origan, feuille infestée de pucerons, zone hors traitement ou non-choix.

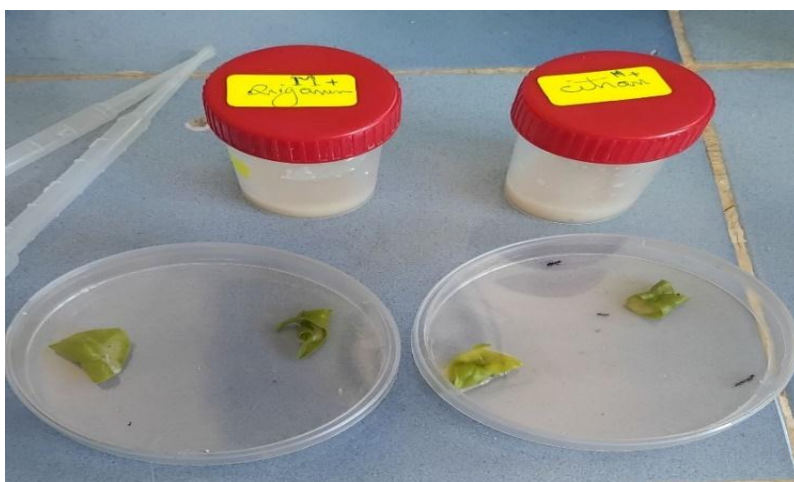


Figure 17. Dispositif expérimental du test de choix montrant la réponse comportementale des fourmis face aux stimuli alimentaires

2.2.8. Analyses statistiques

Les données de nos résultats sont exprimées statistiquement par la moyenne plus ou moins l'écart-type ($m \pm SD$). Les moyennes des différentes séries sont comparées par

l'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) avec un seuil de signification $P \leq 0,05$ et le test de Tukey pour le groupement des moyennes.

Les différences dans la distribution des choix entre traitements ont été analysées à l'aide du test du chi-square (χ^2), avec un seuil de significativité de $P \leq 0,05$.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel GRAPH PAD PRISM 7.

Résultats

3. Résultats

3.1. Détermination de l'activité répulsive de l'huile essentielle

L'huile essentielle extraite de *Origanum vulgare* a été évaluée pour son activité répulsive vis-à-vis de *Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii* à différentes concentrations (1, 2,5, 6, 12,5 et 25 mg/ml). Les deux espèces de pucerons ayant présenté un comportement similaire face au traitement, les résultats ont été regroupés sans distinction spécifique (Tableau 1, Figure 1).

Les pourcentages de répulsion ont été estimés à l'échelle de la colonie. Les résultats montrent que l'huile essentielle ne présente aucun effet répulsif à la concentration de 1 mg/ml durant toute la période d'exposition. Une faible activité apparaît à partir de 2,5 mg/ml, avec un taux de répulsion limité à 4 % après 120 minutes.

L'effet répulsif devient significatif à partir de 6 mg/ml, où aucun effet n'est observé avant 60 minutes, puis une augmentation notable est enregistrée à 90 minutes (58 %), atteignant 63 % après 120 minutes. Aux concentrations plus élevées (12,5 et 25 mg/ml), l'activité répulsive est à la fois plus précoce et plus intense. À 12,5 mg/ml, la répulsion est déjà visible dès 30 minutes (39 %) et progresse jusqu'à 70 % après 120 minutes. À 25 mg/ml, l'effet est immédiat et élevé, avec 65 % dès 30 minutes et un maximum de 84 % après 120 minutes.

L'analyse statistique réalisée par ANOVA suivie du test de Tukey a révélé des différences significatives entre les concentrations à 120 minutes ($p < 0,05$).

Tableau 05 . Activité répulsive de la solution d'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur pucerons à différentes concentrations. (n=4 répétitions indépendantes)

Insecte	Concentrations (mg/ml)	Répulsion %			
		30mn	60mn	90mn	120mn
Pucerons	1	0	0	0	0 ^C
	2.5	0	0	0	4 ^C
	6	0	0	58	63 ^B
	12.5	39	48	58	70 ^{AB}
	25	65	78	83	84 ^A

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes.

3.2. Détermination de l'effet toxique de l'huile essentielle

Les deux espèces de pucerons ayant présenté un comportement similaire face au traitement, les résultats ont été regroupés sans distinction spécifique. Les valeurs présentées correspondent à des mortalités corrigées. Les pourcentages de mortalité ont été estimés à l'échelle de la colonie. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2 et la Figure 1.

Les résultats montrent une augmentation progressive du taux de mortalité en fonction de la concentration de l'huile essentielle de *O. vulgare*. Aucune mortalité n'est observée aux faibles concentrations (1 et 2,5 mg/ml). Une toxicité très faible apparaît à 6 mg/mL, avec un taux moyen d'environ 4 % après 120 minutes d'exposition. En revanche, la mortalité devient plus marquée à 12,5 mg/ml (18 %) et atteint un niveau élevé à 25 mg/ml (88 %).

L'effet toxique dépend également du temps d'exposition. À 6 mg/ml, la mortalité n'est observée qu'après 120 minutes. Aux concentrations plus élevées (12,5 et 25 mg/ml), elle apparaît plus précocement, dès 90 minutes d'exposition.

L'analyse statistique réalisée par ANOVA suivie du test de Tukey a révélé des différences significatives entre les concentrations ($p < 0,05$).

L'évolution temporelle de la répulsion et de la mortalité a été représentée à titre descriptif (Figure 1).

Tableau 06 . Effet toxique de l'huile essentielle de *Origanum vulgare* sur les pucerons en fonction de la concentration (n = 4 répétitions indépendantes)

Insecte	Concentrations (mg/ml)	Mortalité %			
		30m n	60m n	90m n	120 mn
Puceron	1	0	0	0	1 ^C
	2.5	0	0	0	0 ^C
	6	0	0	0	4 ^{BC}
	12.5	0	0	11	18 ^B
	25	0	0	55	88 ^A

Les moyennes ne partageant aucune lettre sont sensiblement différentes.

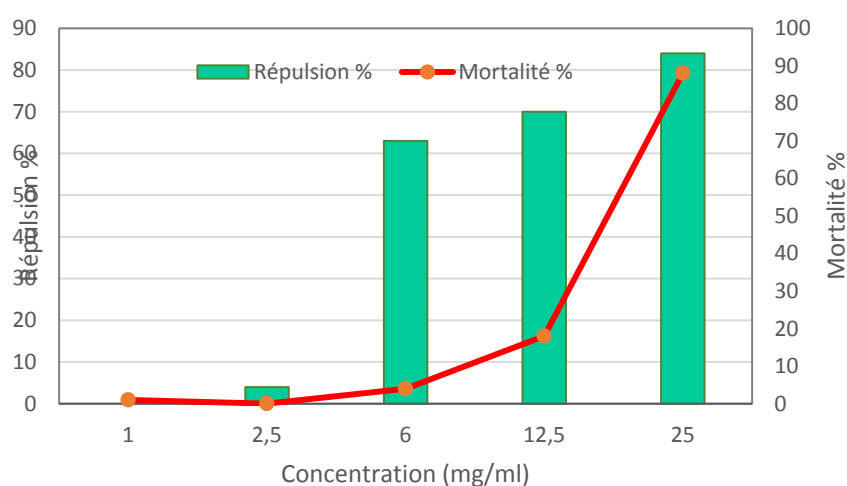


Figure 18 .Effets de l'huile essentielle de *Origanum vulgare* sur la répulsion et la mortalité des pucerons après 120 minutes d'exposition (n = 4 répétitions indépendantes).

3.3. Détermination de l'effet de l'huile essentielle sur la fécondité

Les deux espèces de pucerons ayant présenté un comportement similaire face au traitement, les résultats ont été regroupés sans distinction spécifique dans la figure 2. Le nombre moyen de larves produites par femelle dans le témoin est de 7 nymphe/jour dans les conditions expérimentales décrites dans la présente étude.

L'analyse de la fécondité sur 24h après un traitement de pulvérisation à l'huile essentielle de *O. vulgare*, montre une diminution significative du nombre de larves produites par femelle avec l'augmentation de la concentration ($p < 0,05$) atteignant respectivement 5.75 et 4.75 larves/femelle aux concentrations de 1, 2,5 mg/mL. Cette diminution correspond à une réduction de la fécondité de 17 % et 32% par rapport au témoin. Les concentrations les plus élevées (6, 12,5 et 25 mg/mL) entraînent une inhibition totale de la reproduction est enregistrée à partir de 6 mg/mL.

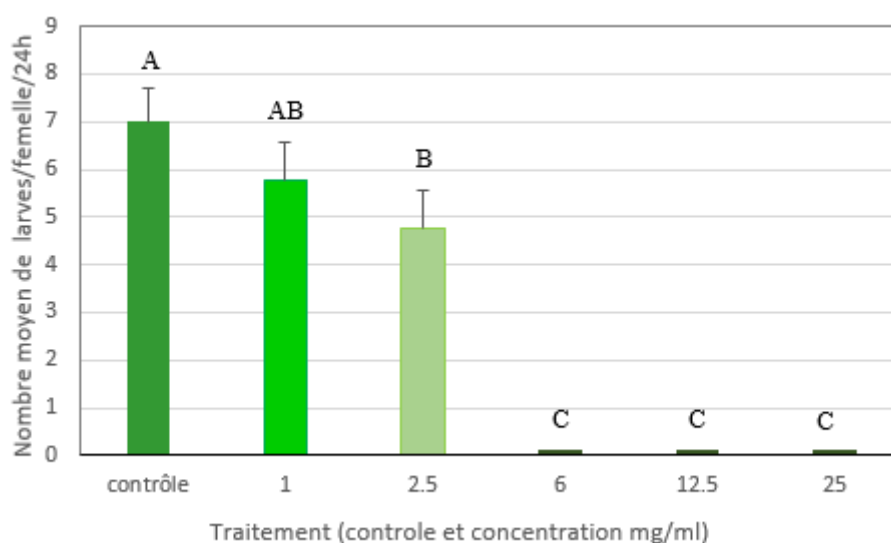


Figure 19. Effet de de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* sur la fécondité des pucerons à différentes concentrations ($n = 4$ répétitions indépendantes)

3.4. Détermination de l'effet phytotoxique de l huile essentielle

L'impact du traitement par pulvérisation de l'huile essentielle sur les feuilles des plants d'agrumes utilisés dans cette étude, en conditions naturelles, n'a révélé aucun symptôme de phytotoxicité (chlorose, nécrose ou taches). Aucun effet visible n'a été observé sur les plantes traitées, quelle que soit la concentration testée de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare*, durant toute la période d'observation.

3.5. Détermination de l'activité perturbatrice de mutualisme des huiles essentielles

3.5.1. Test de non choix

Une attraction moyenne des fourmis vers la source alimentaire sucrée à base d'huile essentielle de citron a été mesurée au cours du temps dans un test de non-choix (Figure 20).

Les fourmis ont montré une forte attraction initiale, atteignant 92 % dès les 30 premières minutes. Cette attraction a ensuite diminué à 55 % entre 30 et 60 minutes. Par la suite, elle a augmenté progressivement pour atteindre 77 % à 90 minutes, puis 86 % à 120 minutes.

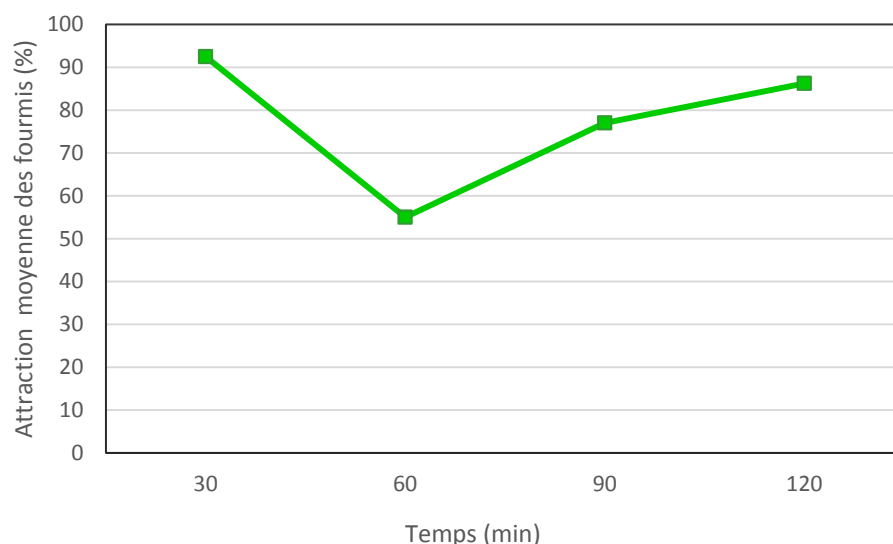


Figure 20. Attraction moyenne des fourmis vers une source alimentaire sucrée à base d'huile essentielle de citron au cours du temps (n = 3 répétitions, chacune comportant 5 fourmis)

3.5.2. Test de choix

Des réponses comportementales des fourmis face à une source alimentaire contenant deux huiles essentielles ont été évaluées au cours du temps dans un test de choix (Figure 21).

L'huile essentielle de citron a montré une attraction importante dès les premières 30 minutes, avec plus de 66 % des fourmis se dirigeant vers cette source alimentaire. Cette préférence est restée globalement stable tout au long de l'expérience, avec une augmentation progressive du pourcentage d'attraction atteignant plus de 86 % entre 90 et 120 minutes.

En revanche, la source alimentaire contenant l'huile essentielle d'origan n'a montré aucune attraction des fourmis durant toute la période expérimentale. Les fourmis restantes se sont dirigées hors des zones de choix.

Le test du chi-square réalisé sur les données à 120 minutes uniquement révèle une différence hautement significative dans la distribution des choix entre les traitements ($\chi^2 = 329.1$; $p < 0.0001$).

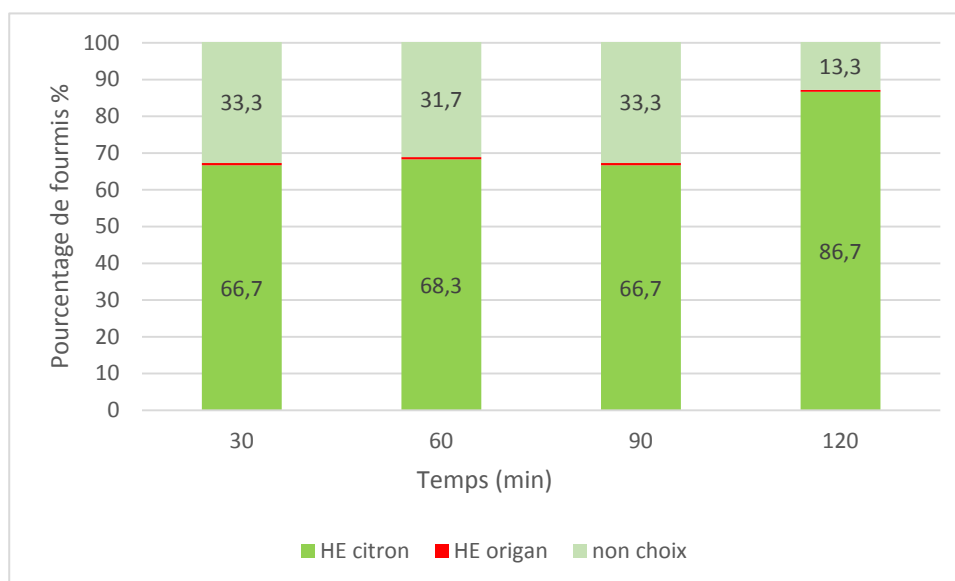


Figure 21. Réponses comportementales des fourmis face à une source alimentaire à base de deux huiles essentielles au cours du temps (n = 3 répétitions, chacune comportant 5 fourmis)

La préférence alimentaire des fourmis entre une source sucrée à base d'huile essentielle de citron et une tige infestée de pucerons a été évaluée au cours du temps dans un test de choix (Figure 22).

Les résultats montrent une attraction constante vers la source alimentaire à base de citron dès les premières 30 minutes, avec 50 % des fourmis orientées vers cette source, contre 20 % vers la tige infestée et 30 % en non-choix. Cette tendance se maintient globalement à 60 et 90 minutes, avec respectivement 40 % pour la source citronnée, 30 % pour la tige infestée et 30 % de non-choix.

À 120 minutes, une légère augmentation de l'attraction vers la source citronnée est observée (50 %), tandis que la tige infestée diminue à 10 %, et le non-choix augmente à 40 %.

Le test du chi-square réalisé sur les données à 120 minutes uniquement révèle une différence significative dans la distribution des choix entre les traitements ($\chi^2 = 60,4$; $p < 0,0001$).

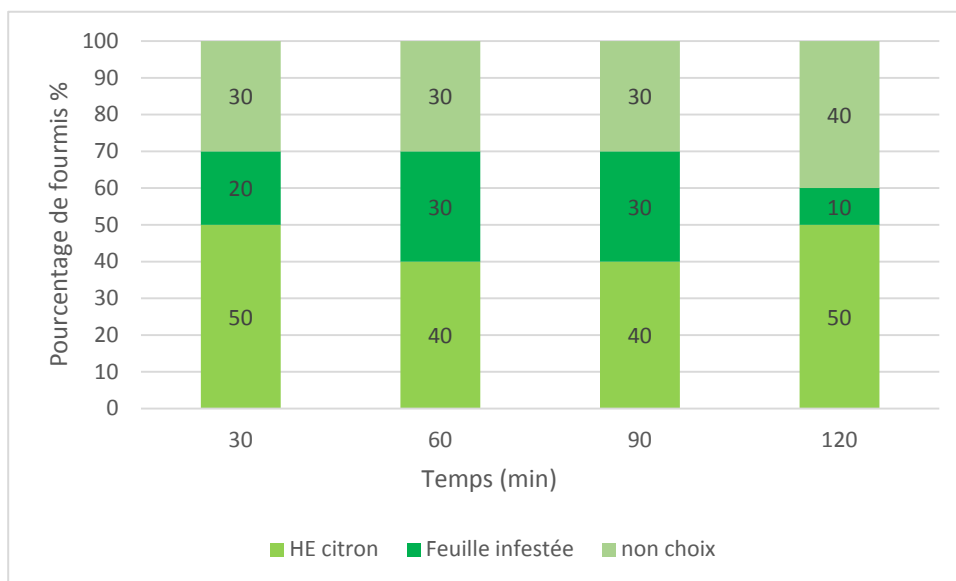


Figure 22 . Préférence alimentaire des fourmis entre une source sucrée, une tige infestée de pucerons et le non-choix au cours du temps (n = 3 répétitions, chacune comportant 5 fourmis).



Figure 23 . La photo illustre l'orientation attractive des fourmis vers la source alimentaire sucrée à base de citron, en comparaison avec la tige infestée de pucerons

Discussion

4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer le potentiel biologique de l'huile essentielle extraite d' *Origanum vulgare* pour la lutte contre deux espèces majeures de pucerons des agrumes, *Toxoptera aurantii* et *Aphis spiraecola*. L'originalité de cette étude réside dans l'évaluation de ce potentiel sur le comportement, la survie de ces pucerons. L'étude a été explorée à travers l'effet répulsif, la toxicité aiguë et l'impact sur la fécondité, constituant ainsi cette triade biologique spécifique. Ainsi, l'étude a consisté à évaluer l'effet perturbateur de cette huile sur la relation pucerons–fourmis afin de rompre cette interaction mutualiste dans le cadre d'une lutte biologique efficace.

L'efficacité de l'huile essentielle d' *Origanum vulgare* se manifeste d'abord à travers ses propriétés répulsives dépendantes de la concentration et du temps d'exposition. L'activité répulsive est à la fois plus précoce et plus intense avec augmentation de la concentration. Les fortes concentrations ($\geq 12,5$ mg/ml) induisent une réponse rapide des pucerons, suggérant un effet répulsif quasi immédiat. Cependant, il convient de noter que, aux concentrations les plus élevées (12,5 et 25 mg/ml), les taux de répulsion observés peuvent aller jusqu'à 84 % à la concentration de 25 mg/ml après 120 minutes. Ces résultats concordent étroitement avec les travaux de Dancewicz *et al.* (2012), qui ont mis en évidence un effet répulsif puissant et persistant de l'origan contre d'autres pucerons comme *Myzus persicae* et *Acyrtosiphon pisum*. Cette efficacité est également soutenue par Zhang *et al.* (2024), soulignant que les huiles essentielles de Lamiaceae perturbent significativement le comportement alimentaire de *Aphis gossypii*. La rapidité d'action observée dès les premières 30 minutes s'aligne avec les conclusions de Khaled-Gasmi *et al.* (2021) sur la réactivité des pucerons face aux essences végétales, une propriété attribuée par Han (2017) et Nurzyńska-Wierdak (2025) à la présence majoritaire de carvacrol et de thymol dans la composition chimique de l'huile. Dans notre étude les taux de répulsion peuvent être partiellement influencés par la mortalité des individus, ce qui pourrait conduire à une surestimation de l'effet répulsif réel.

Parallèlement à son effet répulsif, l'huile essentielle d' *Origanum vulgare* a manifesté une toxicité aiguë significative, atteignant 88 % de mortalité à la dose maximale testée (25mg/ml). Il apparaît que les fortes concentrations ($\geq 12,5$ mg/ml), qui induisent une répulsion élevée, sont également associées à une augmentation notable de la mortalité. Cette concomitance suggère que, dans ces conditions, une partie de l'effet répulsif observé pourrait être influencée par l'effet toxique de l'huile essentielle. Cette performance insecticide élevée

rejoint les observations d' Aimad *et al.* (2022) sur l'efficacité de l'huile d' *Origanum compactum* contre les pucerons méditerranéens. Comparativement à l'étude d' Aljameeli *et al.* (2025) portant sur diverses espèces de thym et d'origan, nos résultats confirment que *O. vulgare* se distingue par une capacité d'induction de mortalité rapide. Sur le plan physiologique, cette action neurotoxique, décrite par Giatropoulos *et al.* (2023) comme ciblant le système nerveux de l'insecte, explique le schéma de mortalité croissant observé. Ces données valident également les conclusions de Radev et Dzhurmanski (2023) sur l'efficacité des vapeurs d'huile essentielle comme alternative crédible aux pesticides chimiques conventionnels pour le contrôle des populations de pucerons.

Cette présente approche, basée sur des colonies naturelles, permet de se rapprocher des conditions réelles d'infestation et d'évaluer l'efficacité du traitement à une échelle plus proche des conditions agronomiques. Cependant, la variabilité du nombre de pucerons entre les répétitions peut influencer les résultats et constitue une limite de l'étude.

L'impact de l'huile essentielle sur la dynamique de reproduction des pucerons constitue un autre aspect crucial de cette étude. Le traitement des pucerons à l'huile essentielle de *O. vulgare* a provoqué une répercussion sur la fécondité des pucerons. Les résultats mettent en évidence un effet subléthal marqué de l'huile essentielle sur la reproduction des pucerons. L'inhibition totale de la fécondité enregistrée à partir de 6 mg/ml est en parfaite adéquation avec les résultats de Zhang *et al.* (2024) et de Dancewicz *et al.* (2012), qui ont démontré que les huiles essentielles volatiles ne se limitent pas à un effet de répulsion mais provoquent des perturbations physiologiques majeures empêchant la reproduction et l'établissement des colonies sur la plante hôte. En comparaison avec les travaux de Wang *et al.* (2024) sur *Aphis gossypii*, l'huile essentielle d'origan semble présenter une aptitude supérieure à perturber le cycle biologique du ravageur, contribuant ainsi à une réduction durable des populations. Toutefois, les individus utilisés dans cette étude ayant été prélevés directement sur le terrain, leur âge exact n'a pas pu être déterminé. Néanmoins, la production nymphale observée chez les témoins suggère que les femelles se trouvaient en phase reproductive active.

Au-delà des pucerons, le potentiel insecticide et répulsif des huiles essentielles d'*Origanum vulgare* a été démontré contre d'autres insectes ravageurs. Par exemple, Bouzeraa *et al.* (2019) ont étudié le potentiel répulsif et toxique de trois huiles essentielles, dont celle d'*Origanum vulgare*, contre les larves de la pyrale de la farine, *Ephestia kuehniella*. Leurs résultats ont montré que l'huile d'origan était la plus répulsive, avec un taux de répulsion de

67% à 120 mg/ml après 2 heures d'exposition, et a également présenté une toxicité fumigante significative.

Ces observations suggèrent que l'huile essentielle *d'Origanum vulgare* possède un large spectre d'action, ce qui renforce son intérêt en tant qu'alternative aux insecticides synthétiques pour la gestion intégrée des ravageurs.

Par ailleurs, l'étude a montré l'absence de symptômes de phytotoxicité sur les feuilles d'agrumes traitées avec l'huile essentielle de *Origanum vulgare*, ce qui renforce l'intérêt de cette huile comme alternative potentielle pour la lutte contre les pucerons. Cette innocuité végétale, corroborée par les travaux de Werrie (2022), souligne que l'utilisation de l'huile *d'Origanum vulgare* à des concentrations optimisées représente une stratégie de lutte intégrée à la fois efficace, durable et respectueuse de l'environnement. Il est important de noter que si certaines huiles essentielles peuvent présenter des effets phytotoxiques sur diverses plantes (Ibáñez et Blázquez, 2018), l'huile *d'Origanum vulgare* a été spécifiquement étudiée pour son innocuité sur les feuilles d'agrumes (Zamuner *et al.*, 2023). D'autres études ont également montré que l'huile d'origan et ses composants principaux, le thymol et le carvacrol, n'ont pas d'effets toxiques sur les feuilles d'agrumes (El-Sakhawy *et al.*, 2025). Cette sélectivité est un avantage majeur pour son application en agriculture, ouvrant ainsi des perspectives prometteuses pour la protection des cultures contre *Toxoptera aurantii* et *Aphis spiraecola* sans compromettre la santé des plantes hôtes.

L'interaction mutualiste pucerons–fourmis constitue un axe d'étude basé sur la perturbation ou la rupture de la présence des fourmis autour des pucerons. Cette approche vise à rompre la protection assurée par les fourmis aux pucerons, dans le cadre d'une stratégie de lutte biologique favorisant l'action des ennemis naturels des pucerons. Par ailleurs, la méthode utilisée s'inscrit dans une démarche respectueuse de l'équilibre écologique, en limitant toute toxicité préalable vis-à-vis des fourmis.

Dans cette étude, deux expériences menées en parallèle ont permis de mettre en évidence une activité attractive d'une source alimentaire enrichie en huile essentielle de citron, ainsi qu'une activité répulsive associée à l'huile essentielle *d'Origanum vulgare*. La source alimentaire à base de sucre et de levure a montré une attractivité plus ou moins importante vis-à-vis des fourmis. Cette ressource trophique fournit une source d'énergie et de nutriments nécessaires la croissance des fourmis. Cependant, l'ajout de l'huile essentielle de citron a augmenté l'attraction des fourmis vers cette source alimentaire.

Ces résultats montrent que l'huile essentielle de citron, bien qu'elle contienne des composés potentiellement répulsifs tels que le D-limonène, n'empêche pas l'attraction des fourmis lorsqu'elle est associée à un stimulus sucré puissant. Ce constat est en accord avec les observations de Kafle et Chung (2025), qui soulignent que le stimulus alimentaire peut dominer la réponse comportementale initiale des ouvrières malgré la présence de composés volatils. De même, Adusei-Mensah et al. (2014) ont rapporté que le choix de l'appât est déterminant et que les sources sucrées restent des attractifs majeurs pour les fourmis, même en présence d'huiles essentielles à faible concentration.

Cependant, dans notre étude, la présence de levure semble avoir renforcé l'attractivité du mélange sucré. Ainsi, les composés volatils de l'huile essentielle de citron apparaissent globalement attractifs dans ce contexte expérimental, contrairement à ce qui a été rapporté dans certaines études où ils sont décrits comme répulsifs.

Par ailleurs, la source contenant l'huile d'origan n'a suscité aucune attraction durant toute la période expérimentale. Cette absence totale d'intérêt pour l'origan confirme son puissant effet répulsif. Nos résultats corroborent les conclusions de George *et al.* (2026), qui ont démontré que l'huile essentielle d'*Origanum vulgare*, grâce à sa haute teneur en carvacrol, présente une dose efficace répulsive minimale très faible contre plusieurs espèces de fourmis. Cette répulsion marquée est également expliquée par les travaux de (Mannino *et al.*, 2018), montrant que les terpénoïdes de l'origan modulent les amines biogènes cérébrales des fourmis, provoquant un changement drastique de leur comportement locomoteur et une réaction d'évitement.

Enfin, la préférence alimentaire des fourmis entre une source sucrée au citron et une tige infestée de pucerons montre une attraction constante vers la source artificielle (50 % à 120 minutes) contre seulement 10 % pour la tige infestée. Cette diminution de l'attraction vers les pucerons au profit d'une source alternative suggère une rupture potentielle du lien mutualiste. Ce phénomène s'aligne avec Smargiassi *et al.* (2025) et la stratégie de "push-pull" décrite par Perri *et al.*, (2017), où l'utilisation de stimuli attractifs alternatifs peut détourner les fourmis de leur rôle de protectrices des pucerons, rendant ces dernières plus vulnérables aux ennemis naturels.

Conclusion et Perspectives

5. Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude approfondie portant sur les attaques des pucerons des agrumes (*Aphis spiraecola* et *Toxoptera aurantii*) ainsi que sur le phénomène de mutualisme avec la fourmi *Lasius niger*, la recherche d'une stratégie de lutte biologique intégrée, utilisant des moyens naturels de protection, nous a permis de mettre en évidence le potentiel des huiles essentielles extraites de plantes aromatiques dans l'éradication des pucerons et la perturbation du mutualisme fourmi-puceron.

Cette étude a permis de mieux comprendre l'essence même de la lutte biologique : non pas une simple substitution aux produits chimiques de synthèse, mais une réconciliation avec les mécanismes naturels de régulation des écosystèmes. La recherche d'une source alimentaire capable de remplacer le miellat avait pour objectif de détourner les fourmis de cette ressource, laissant ainsi les pucerons exposés à l'action naturelle des parasitoïdes et des autres ennemis naturels.

Les résultats obtenus ont démontré les différences de potentiel des huiles essentielles selon leurs propriétés attractives ou répulsives. L'étude ouvre ainsi la voie à deux méthodes de perturbation du mutualisme : d'une part, l'utilisation d'un appât alimentaire attractif à base d'huile essentielle de citron, et d'autre part, l'emploi d'une barrière répulsive à base d'huile essentielle d'origan, permettant d'éloigner les fourmis des colonies de pucerons.

La véritable force de la nature réside dans sa capacité à rétablir un équilibre écologique durable. Une fois cet équilibre restauré, les écosystèmes deviennent capables de réguler naturellement les populations de ravageurs, sans recours agressif aux pesticides chimiques. L'utilisation ciblée des huiles essentielles, notamment celle de citron pour son pouvoir attractif et celle d'origan pour ses effets répulsifs, s'est révélée être un levier efficace pour orchestrer cette perturbation du mutualisme.

Par ailleurs, l'huile essentielle d'origan, déjà reconnue pour ses propriétés insecticides, a confirmé ses effets répulsifs, toxiques et réducteurs de fécondité chez les espèces de pucerons étudiées. Cette approche confirme que la lutte biologique demeure une base fondamentale pour la protection durable des plantes. Elle garantit une efficacité respectueuse

de l'environnement et de la biodiversité, tout en favorisant le rétablissement de la capacité d'autorégulation des écosystèmes.

En perspective, il serait intéressant d'explorer l'application de la microencapsulation des huiles essentielles de citron et d'origan afin d'assurer une libération contrôlée et prolongée de leurs composés actifs. En conditions de terrain, ces microcapsules pourraient être appliquées par pulvérisation foliaire classique, intégrées dans des appâts spécifiques ou utilisées comme revêtement sur les troncs des arbres.

Cette technologie permettrait d'optimiser la persistance des effets attractifs et répulsifs face aux contraintes environnementales, notamment l'évaporation et la dégradation par les rayons UV. Elle contribuerait également à réduire significativement la fréquence des applications et à améliorer la stabilité des formulations, rendant ainsi cette stratégie de lutte biologique plus efficace, durable et économiquement viable à grande échelle.

Références bibliographiques et webographiques

Références bibliographiques et webographiques

- Abrol, D. P. (2024).** Integrated Pest Management: Ecological and Socio-cultural Perspectives. 1ère Édition, Academic Press, États-Unis, New York.
- Adusei-Mensah, K., Kwabong, P. K., Osei-Owusu, N., & Karikari, A. (2014).** Attractiveness of sugar-based baits to ants in the presence of essential oils. *International Journal of Tropical Insect Science*, 34(03), Cambridge, UK, 190-201.
- Aimad, A., El-Houssaine, B., Fatima, E., & Mohamed, L. (2022).** Chemical composition and insecticidal activity of *Origanum compactum* essential oil against Mediterranean aphids. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, Inde, 25(02), 310.
- Aljameeli Mohammad, M., Al-Snafi, A. E., & El-Haddad, S. A. (2025).** Phytochemical and Insecticidal Activity of Some Thyme Plants' Essential Oils Against *Cryptoblabes gnidiella* and Aphid Species. *Journal of Crop Health*, Arabie Saoudite/Égypte, 16(09), 125.
- Allal-Benfekih, L., Djazouli, Z. E., Tarai, N., & Huard, M. (2021).** Prédominance et origine du puceron vert des agrumes (*Aphis spiraecola*) en Algérie. *Revue de la Protection des Végétaux*, Algérie, 15(01), 22.
- Al-Snafi, A. E., Al-Tee, M. M., & Majid, S. A. (2023).** Étude des bénéfices mutuels et de la protection des pucerons par les fourmis contre les prédateurs. (Mémoire/Thèse). Université de Nassiriya, Faculté des Sciences, 28.
- Amrani, K., & Cherif, M. (2024).** Altérations de la qualité des fruits et impacts économiques des ravageurs. Université de Blida, Faculté des Sciences Agronomiques, 14.
- Barhmi, A., Khelil, M., & Medjdoub, S. (2022).** Tendances et évolution du marché mondial des biopesticides. (Mémoire/Thèse). Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 21.
- Ben-Ari, Y., Inbar, M., Harrison, N., & Podoler, H. (2020).** La chute réflexe comme stratégie d'échappement chez les pucerons face aux prédateurs. (Mémoire de Master). Université de Tel Aviv, Faculté des Sciences, 12.
- Benelli, G., Pavela, R., Canale, A., & Maggi, F. (2024).** Bioactive essential oils as new tools for green pest management. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, 141, 111-148.
- Bensalah, M. K., Smaili, M. C., & Blenzar, A. (2022).** Étude des caractéristiques biologiques du puceron noir des agrumes (*Toxoptera aurantii*) dans les conditions méditerranéennes. *Revue de la Recherche Agronomique et Environnementale*, Algérie, 08(03), 45.
- Bissaad, F. Z., Inoussa, M., El-Kadi, S., & Doumandji-Mitiche, B. (2023).** Étude des

symptômes d'attaques et du miellat excrété par les pucerons en milieu agricole.

(Mémoire/Thèse). Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 21.

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2022). Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. London, 11.

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2021). Aphids on the World's Trees: An Identification and Information Guide. 1ère Éd., CABI, Royaume-Uni, 210.

Blackman, R. L., & Eastop, V. F. (2020). Aphids on the World's Plants: An Online Identification and Information Guide. 2ème Éd., Wiley, Londres, 125.

Boukabache, N., Ghrieb, A., & Boutabia, L. (2026). High toxicity of Laurus nobilis oil against Aphis fabae and Myzus persicae. *Journal of Plant Protection Research*, Poznan, 12.

Boukherrouba, F., Gsell, H., & Lakhdari, W. (2020). Inventaire et distribution des espèces de pucerons dans les vergers d'agrumes de l'Est algérien. *Revue des Sciences de la Nature et de la Vie*, Université de Guelma, 04(02), 112.

Bouzeraa, H., Bessila-Bouzeraa, M., & Labed, N. (2019). Repellent and fumigant toxic potential of three essential oils against Ephestia kuehniella. *Biosystems Diversity*, Dnipro, 27(4), 349–353.

Bouzeraa, H., Bessila-Bouzeraa, M., Labed, N., & Khelil, M. (2019). Repellent and toxic potential of three essential oils against Ephestia kuehniella larvae. *Journal of Stored Products Research*, Royaume-Uni, 83(02), 101.

Brahimi, A., Kellouche, A., & Belhani, S. (2022). Transmission des phytopathogènes et impact sur la santé des vergers d'agrumes. Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 31.

Bronstein, J. L. (2020). L'influence des fourmis sur les différents aspects de la vie des pucerons. University of Arizona Press Tucson, 16.

Bronstein, J. L. (2020). L'interaction biologique et les bénéfices de l'association mutualiste. (Mémoire/Thèse). Université de Tucson, Faculté des Sciences, 14.

Campolo, O., Giunti, G., & Palmeri, V. (2022). Essential oils and their main components as management tools against stored product pests. *Journal of Pest Science*, Germany, 95(2), 115-128.

Chomnuntiet, P., Southon, E., & Jaratvarakul, S. (2024). Mechanical injuries and fumagine development caused by Mediterranean fruit pests. (Mémoire/Thèse). Université de Bangkok, Faculté des Sciences Agronomiques, 33.

Colizzi, V., Scapigliati, G., & Buccioni, A. (2023). Central nervous system and physiological processes in aphids. *Journal of Insect Physiology*, Oxford, 145, 104-112.

- Dancewicz, K., Gabryś, B., & Damjanova, S. (2012).** *Aphid behaviour-modifying activity of essential oils from Lamiaceae and Apiaceae. Aphids and Other Hemipterous Insects*, Pologne, 01(18), 81.
- Davis, T. (2022).** Mécanismes de la viviparité et développement nymphal chez les pucerons. (Mémoire de Master). Université de New York, Faculté des Sciences, 13.
- Detrain, C., & Prieur, J. (2023).** Échange de ressources et protection contre les prédateurs dans le mutualisme fourmis-pucerons. Éditions Universitaires, Bruxelles, 15.
- Detrain, C., & Prieur, J. (2023).** Défense active des colonies contre les prédateurs et les parasitoïdes. Université Libre de Bruxelles, 16.
- Detrain, C., & Prieur, J. (2023).** Influence des ennemis naturels et des mutualistes sur le choix de l'habitat chez les pucerons. (Mémoire de Master). Université de Bruxelles, Faculté des Sciences, 11.
- Dixon, A. F. G. (2021).** *Aphid Ecology: An Optimization Approach*. 2ème édition, Chapman and Hall, Londres, 102.
- El Moudjahid. (2025).** La filière des agrumes en Algérie: superficies et zones de production. Quotidien National d'Information, Alger, Algérie, 07.
- El-Sakhawy, M. H., El-Sakhawy, F. M., & Abdel-Mogib, M. (2025).** Effects of thymol and carvacrol on citrus leaves: Safety and efficacy. *International Journal of Agriculture and Biology*, Pakistan, 33(01), 15.
- Fan, Y., Sun, L., & Zhang, W. (2023).** Alarm pheromones and sensory systems in aphids: Behavioral and physiological responses. *Current Opinion in Insect Science*, Amsterdam, 56, 101-110.
- FAO. (2024).** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Situation mondiale de la production des agrumes: statistiques et perspectives. Rome, 45.
- FAO. (2021).** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Impact mondial des insectes nuisibles sur la croissance des plantes et la qualité des cultures. Rome, 42.
- FAO. (2020).** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. La santé des végétaux pour la sécurité alimentaire mondiale. Rome, 21.
- George, D. R., Sparagano, O. A. E., Port, G. R., & Okello, E. J. (2026).** Repellent efficacy of *Origanum vulgare* essential oil and its carvacrol content against ants. *Industrial Crops and Products*, 182, Amsterdam, Pays-Bas, 114-128.
- Giatropoulos, A., Pitarokili, D., Papaioannou, F., & Koliopoulos, G. (2023).** Neurotoxic effects of essential oils on the insect nervous system: A review of mechanisms. *Frontiers in*

Physiology, Suisse, 01(14), 112.

Gowda, M. T., Krishna, H., & Madhu, G. S. (2022). Soil-borne pests and diseases: Diagnosis and management. *International Journal of Plant Protection*, India, 15(1), 118-125.

Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2023). The Insects: An Outline of Entomology. 6ème Édition, Wiley-Blackwell, Oxford, 110.

Haddad, N., Khelil, M., Medjdoub, S., & Bissaad, F. Z. (2020). Biologie et impact des insectes piqueurs-suceurs sur les cultures maraichères. Université de Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 4.

Hakimi, S., Rahimi, M., & Zandi, P. (2024). Aphicidal activity of *Juniperus phoenicea* and *Mentha pulegium* essential oils. *International Journal of Pest Management*, Londres, 8.

Han, J. (2017). Chemical composition and biological activities of essential oils. 1ère Éd., Springer, Suisse, 310.

Harper, S. J., & Cowell, S. J. (2021). Citrus Tristeza Virus and its aphid vectors: Population dynamics and management. *Phytopathology*, 111(1), 22-30.

Hullé, M., Turpeau, E., & Chaubet, B. (2020). Les pucerons des cultures: Biologie et dégâts. Paris, 11.

Hullé, M., Turpeau, E., & Chaubet, B. (2020). Biologie et écologie des pucerons. Paris, 12.

Hullé, M., Turpeau, E., Chaubet, B., & Remaudière, G. (2006). Dynamique des populations de pucerons dans le bassin méditerranéen. *Revue Internationale d'Entomologie*, France, 42(12), 301.

Ibáñez, M., & Blázquez, M. (2018). Phytotoxic effects of essential oils on various plants: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, Pays-Bas, 112(01), 220.

INPV. (2023). Institut National de la Protection des Végétaux. Guide technique sur le contrôle phytosanitaire aux frontières et la surveillance des organismes nuisibles (Listes A1 et A2). Alger, 18.

INPV. (2023). Institut National de la Protection des Végétaux. Rapport annuel sur la situation phytosanitaire et les réseaux de surveillance des cultures stratégiques en Algérie. Alger, 17.

INPV. (2022). Institut National de la Protection des Végétaux. Liste des insectes ravageurs des plantes les plus prévalents en Algérie. Alger, 12.

Isman, M. B. (2020). Botanical insecticides: a global perspective. *Biopesticides International*, New Delhi, 16(1), 1-10.

ITAFV. (2024). (Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne). Rapport annuel sur l'arboriculture fruitière en Algérie. Alger, 24.

ITAFV. (2021). Classification et diversité botanique des principales espèces d'agrumes

cultivées en Algérie. Alger, 05.

ITAFV. (2021). Guide technique de l'agrumiculture en Algérie: Variétés et itinéraires techniques. Alger, 30.

ITAFV. (2021). Rapport technique sur la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella*. Alger, 18.

Ivens, A. B., Kronauer, D. J., & Boomsma, J. J. (2021). Trophic ecology of ant-aphid mutualism: Energy flow and colony fitness. *Ecology and Evolution, Hoboken*, 11(4), 1500-1515.

Jaouadi, S., Ghariani, S., Boukhris-Bouhachem, S., & Chermiti, B. (2023). Localisation et sites de nutrition des pucerons sur les plantes hôtes. (Thèse de Doctorat). Université de Tunis, Faculté Sciences, 11.

Jaquiere, J., Peccoud, J., Oger, P., & Simon, J. C. (2021). Adaptations génétiques et comportementales des pucerons aux variations environnementales. (Mémoire de Master). Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 11.

Jasrotia, P., Singh, P., & Kumar, R. (2022). Integrated management of citrus aphids: Challenges and opportunities. *Journal of Applied Entomology*, 146(3), 245-258.

Journal Officiel de la République Algérienne. (1995). Décrets exécutifs n° 95-387 et n° 95-405 relatifs au contrôle de la circulation des végétaux. Alger, 18.

Journal Officiel de la République Algérienne. (1987). Loi n° 87-17 relative à la protection des végétaux et à l'homologation des pesticides. Alger, 18.

Jousselin, E., & Elias, M. (2023). Évolution des groupes d'insectes phytophages. Montpellier, Université de Montpellier, Faculté des Sciences, 07.

Kafle, A., & Chung, H. (2025). Influence of food stimuli on the behavioral response of worker ants. *Journal of Chemical Ecology*, 51(02), New York, USA, 112-125.

Khaled, A., Bissaad, F. Z., & Kellouche, A. (2023). Valorisation des extraits végétaux dans la lutte biologique en Algérie. (Mémoire/Thèse). Université de Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 20.

Khaled-Gasmi, N., Boukhris-Bouhachem, S., & Chermiti, B. (2021). Natural repellents based on three botanical species essential oils as an eco-friendly approach against aphids. *South African Journal of Botany, Afrique du Sud*, 139(01), 435.

Khalfi, O., Boutabia, L., & Ghrieb, A. (2022). Étude des propriétés chimiques et biologiques de l'huile essentielle d'*Origanum vulgare* en Algérie. Mémoire de Master, Université de Tébessa, Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, 60.

- Khellaf, N. (2021).** Évaluation de la sécurité alimentaire et des politiques de protection des végétaux en Algérie. Annaba, 17.
- Koli, P. (2023).** Management of sucking insect pests through integrated approach: A review. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, India, 11(2), 142-149.
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2021).** Essential Oils as Green Pesticides: Potential and Constraints. *Biopesticides International*, New Delhi, 4(1), 63-84.
- La Ghoiter, H., & Hanichi, A. (2023).** Sustainable protection strategies against aphids in Mediterranean orchards. *Agricultural Sciences*, Wuhan, 14(2), 88-102.
- Latif, R., & Nawaz, T. (2025).** Classification et catégories des biopesticides: des agents microbiens aux plantes incorporant des protecteurs (PIP). Islamabad, 21.
- Layek, U., Kundu, A., & Mondal, A. (2022).** Feeding behavior and honeydew production in aphids: Impacts of host plant quality. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Dordrecht, 170(5), 412-425.
- Lemoine, C., Gauffre, B., & Shykoff, S. (2020).** Chemical composition of aphid honeydew and its role in multi-trophic interactions. *Journal of Chemical Ecology*, New York, 46, 560-572.
- Leybourne, D. J., Valentine, T. A., & Bos, J. I. B. (2021).** Mécanismes d'alimentation des pucerons et processus d'insertion du stylet dans le phloème. (Thèse de Doctorat). Université de Dundee, Faculté des Sciences, 12.
- Lubertazzi, D. (2022).** Dépendance chimique et reconnaissance médiatisée par les hydrocarbures cuticulaires. Harvard Press, Boston, 15.
- MADR. (2025).** Répartition variétale et zones de production des agrumes en Algérie: Campagne 2024-2025. Alger, 14.
- MADR. (2025).** Rapport annuel sur les indicateurs de rendement et de production agrumicole. Alger, 08.
- MADR. (2025).** Statistiques agricoles: Superficies et productions de la campagne 2024-2025. Alger, 12.
- MADR. (2023).** Statistiques agricoles: Superficies et productions. Alger, 15.
- MADR. (2023).** Stratégies nationales pour la protection des cultures stratégiques (Céréales, Pomme de terre et Palmier). Alger, 18.
- Maghreb Émergent. (2023).** Pertes agricoles et sécurité alimentaire en Algérie: Enjeux et perspectives. Rapport économique, Alger, 10.
- Mannino, G., Maffei, M. E., & Bossi, S. (2018).** Terpenoids from *Origanum* modulate anti biogenic amines and locomotor behavior. *Phytochemistry*, Oxford, UK, 152, 145-155.

- Mebarki, C. (2020).** Importance économique des insectes ravageurs des agrumes en Algérie. Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 28.
- Meddour, R., Sahar, O., & Derridj, A. (2023).** Flora of Algeria: Medicinal and aromatic species inventory. 1ère Edition, University of Tizi Ouzou Press, Tizi Ouzou, 112.
- Mekonnen, T., Tefera, T., & Abraham, A. (2024).** Efficacité des huiles essentielles contre les pucerons des agrumes. (Mémoire/Thèse). Université d'Addis-Abeba, Faculté des Sciences, 22.
- Merdji, A., & Guemache, S. (2023).** La filière des agrumes en Algérie: Croissance et performances de la saison 2023-2024. *Revue d'économie agricole*, Alger, 12, 45-58.
- Mias, M., Skrijelj, R., & Mitrovic, P. (2017).** Biodiversité des cochenilles et des pucerons dans les vergers d'agrumes. Symposium International d'Agriculture (Agrosym), Bosnie-Herzégovine, 10-12 Octobre, 415.
- Morsy, S. M., Sayed, A. M., & Abdel-Galy, F. M. (2021).** Impact du mutualisme sur la croissance des colonies de pucerons et la production de miellat. (Mémoire/Thèse). Université du Caire, Faculté des Sciences, 28.
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2025).** Lamiaceae Essential Oils: Chemistry and Bioactivity. 1ère Éd., CRC Press, États-Unis, 185.
- OMS. (2023).** Organisation Mondiale de la Santé. Risques sanitaires liés à l'exposition aux pesticides chimiques et importance des alternatives biologiques. Genève, 20.
- Pai, A., Shanker, C., & Rao, P. A. (2022).** Potential of plant-based essential oils as eco-friendly management against agricultural pests. *Journal of Biological Control*, India, 36(2), 85-94.
- Parmentier, T., Bouillon, S., & Dekoninck, W. (2021).** Transport des pucerons vers de nouvelles pousses et installation des colonies. University of Ghent Gand, 16.
- Parmentier, T., Bouillon, S., & Dekoninck, W. (2021).** Manipulation comportementale et stimulation de la production de miellat par les fourmis. University of Gand, 15.
- Pavela, R., & Benelli, G. (2024).** Les biopesticides d'origine végétale: définition, modes d'action et perspectives pour une agriculture durable. (Mémoire/Thèse). Université de Prague, Faculté des Sciences, 20.
- Pavela, R., & Benelli, G. (2021).** Essential oils as eco-friendly biopesticides: Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*, Londres, 26(2), 128-140.
- Pavela, R., Morshedloo, M. R., & Lupidi, G. (2023).** Mode of action and application of botanical insecticides for sustainable pest control. *Plants*, Bâle, 12(3), 567.
- Perilla-Henao, L. M., & Casteel, C. L. (2020).** Plant-Insect-Virus Interactions: A

Multitrophic Perspective. New York, 10.

Perri, M. S., Sullivan, D. J., & Vinson, S. B. (2017). The "push-pull" strategy in biological control: Diverting protectors to enhance natural enemy efficacy. *Biological Control*, 110, Amsterdam, Pays-Bas, 75-88.

Petrakis, P. V. (2022). Host plant quality and aphid reproduction: the role of essential amino acids. (Mémoire de Master). Université d'Athènes, Faculté des Sciences, 11.

Radev, Z., & Dzhurmanski, A. (2023). Bioinsecticidal Effect of *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* Essential Oil Vapours on *Myzus persicae*. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*, Bulgarie, 76(03), 455.

Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2022). Biopesticides d'origine végétale. 2ème édition, Lavoisier, Paris, 34.

Sabri, A., Vandermoten, S., & Bragard, C. (2021). Intestinal filtration process and honeydew excretion in aphids: A physiological study. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, Oxford, 130, 103-115.

Saharaoui, L., & Hemptinne, J. L. (2022). Dynamique des populations de pucerons et impact sur le rendement des agrumes. Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 18.

Saharaoui, L., & Hemptinne, J. L. (2021). Diversité et structure des communautés de pucerons dans les vergers d'agrumes. Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 18.

Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, Londres, 3(3), 430-439.

Seifert, B. (2023). The Ants of Central and North Europe. 1ère Éd., IUTRA Verlags- und Vertriebsgesellschaft, Allemagne, 450.

Sentis, A., Hemptinne, J. L., & Magro, A. (2021). Cycles de vie complexes et alternance entre reproduction sexuée et asexuée (parthénogenèse). Université de Toulouse, Faculté des Sciences, 13.

Simon, J. C., Stoeckel, S., & Tagu, D. (2020). La reproduction des pucerons: Flexibilité biologique et stratégies d'adaptation. (Mémoire/Thèse). Université de Rennes, Faculté des Sciences, 13.

Smargiassi, S., Gutierrez, L., & Lihoreau, M. (2025). Alternative sugar sources as a tool to disrupt ant-aphid mutualism. *Journal of Pest Science*, 98(02), Berlin, Allemagne, 412-425.

Soltani, A. (2025). Typologie et classification des biopesticides en Algérie: vers une gestion

durable des bioagresseurs. (Mémoire/Thèse). Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 21.

Soni, R., & Sharma, A. (2021). Synergie entre biopesticides et ennemis naturels dans les agroécosystèmes. (Mémoire/Thèse). Université de New Delhi, Faculté des Sciences, 25.

Stadler, B., & Dixon, A. F. G. (2023). Mutualism: Ants and their Insect Partners. 1ère Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 88.

Tak, J. H., & Isman, M. B. (2025). Inhibition of acetylcholinesterase by lipophilic essential oils in aphids. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, San Diego, 180, 105-118.

Tegelaar, K., & Etxebeste, I. (2022). Ant protection against ladybird predators in aphid colonies. *Biological Control*, Amsterdam, 165, 104-115.

Tena, A., & Garcia-Mari, F. (2022). Situation actuelle de *Ceratitis capitata* et les dégâts sur les agrumes dans le bassin méditerranéen. (Mémoire/Thèse). Université de Valence, Faculté des Sciences Agronomiques, 09.

Tena, A., & Garcia-Mari, F. (2022). Impact de la soustraction de sève sur le rendement des agrumes. (Mémoire/Thèse). Université de Valence, Faculté des Sciences Agronomiques, 14.

Tena, A., & Garcia-Mari, F. (2022). Pertes agricoles et économiques dues aux ravageurs et aux maladies des agrumes. Valence, 09.

Tollavian, A., Raymond, B., & Martinez, J. L. (2023). Risques environnementaux et développement de résistances aux pesticides synthétiques chez les ravageurs. (Mémoire/Thèse). Université de Lyon, Faculté des Sciences, 17.

Tollavian, A., Raymond, B., & Martinez, J. L. (2023). Hygiène des colonies: Maintien de la santé des pucerons et de la plante hôte. (Mémoire/Thèse). Université de Lyon, Faculté des Sciences, 16.

Tollavian, A., Raymond, B., & Martinez, J. L. (2023). La sécrétion de cire chez les pucerons: une barrière protectrice contre les ennemis naturels. (Mémoire de Master). Université de Lyon, Faculté des Sciences, 12.

Tragust, S. (2021). Comportement social et défensif de la fourmi noire des jardins (*Lasius niger*). *Journal of Insect Behavior*, Allemagne, 34(05), 88.

Vantaux, A., Roux, O., & Lihoreau, M. (2021). Nature trophique de la relation: Consommation de sève et excrétion de miellat. Université Montpellier, 15.

Vantaux, A., Roux, O., & Lihoreau, M. (2021). Consommation du miellat et prévention de l'accumulation de fumagine sur les feuilles. (Mémoire/Thèse). Université de Montpellier, Faculté des Sciences, 16.

Vosteen, L. P., Weisser, W. W., & Kunert, G. (2022). Communication chimique et

production de phéromones d'alarme au sein des colonies de pucerons. (Thèse de Doctorat).

Université de Wageningen, Faculté des Sciences, 12.

Wadi, S., Ali, M., & Abbas, F. (2023). Olfactory and gustatory sensilla in ants: Identification and functional analysis. *Microscopy Research and Technique*, Hoboken, 86(4), 450-462.

Wang, Z., Liu, Y., & Chen, J. (2024). Aptitude of oregano essential oil to disrupt the biological cycle of *Aphis gossypii*. *Journal of Applied Entomology*, Allemagne, 148(01), 55.

Werrie, P. (2022). Évaluation de l'innocuité et de l'efficacité des huiles essentielles en protection des cultures. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 210.

Zamuner, M., Silva, G., & Rodrigues, A. (2023). Safety of *Origanum vulgare* oil on citrus foliage. Global Congress on Plant Protection, Brésil, 15-18 Mai, 88.

Zhang, S., Wang, Y., & Zhang, X. (2024). Volatiles from essential oils of three Lamiaceae plants repel the winged cotton aphid, disturb its feeding behavior and reduce its fecundity. *Pest Management Science*, Royaume-Uni, 80(04), 1884.

Zhu, J., Wang, L., & Zhang, W. (2024). Sélection de la plante hôte et comportement alimentaire des pucerons mécanismes moléculaires et physiologiques. (Thèse de Doctorat). Université de Pékin, Faculté des Sciences, 11.

Zhu, X., Wang, Y., & Chen, J. (2024). Déplacement des pucerons vers des abris et optimisation de l'approvisionnement en nourriture. (Mémoire/Thèse). Université de Pékin, Faculté des Sciences, 16.

Zhu, X., Wang, Y., & Chen, J. (2024). Utilisation de barrières physiques et de pièges à phéromones pour éviter les résidus chimiques en agriculture biologique. (Mémoire/Thèse). Université de Pékin, Faculté des Sciences, 18.

Zhu, X., Wang, Y., & Chen, J. (2023). Aphid feeding behavior and ant-aphid interactions: Impacts on plant health. *Journal of Pest Science*, Berlin, 96, 789-802.

Zouidi, M., Bissaad, F. Z., & Kellouche, A. (2023). Impact des prélèvements de sève sur la croissance et la vigueur des agrumes. Université d'Alger, Faculté des Sciences Agronomiques, 25.