

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie

Département Des Sciences Agronomiques



# THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

Spécialité : **Sciences Agronomiques**

Par

**Dalila AMOKRANE épouse NADJI**

Thème :

---

***Les potentialités d'une protection biologique des agrumes  
vis-à-vis des pucerons dans la région de Chlef***

---

Soutenue le ..../...../..... devant le jury composé de :

Mme. MEZIANE Ahmed Malika	Professeur	Université de Chlef	Président
Mr. MOHAMMEDI Ahmed	Professeur	Université de Chlef	Rapporteur
Mme. BENABBAS Ilham	Professeur	Université de Bab Ezzouar	Examineur
Mr. SETTI Benali	Professeur	Université de Chlef	Examineur
Mr. HAMADI Kamal	Professeur	Université de Bab Ezzouar	Examineur
Mme. BOUAFIA Samia	Professeur	Université de Ourgla	Examineur
Mr. BOUBKEUR Zoubir	Professeur	ENSA EL Harrach	invité

**2023-2024**

## *Dédicaces*

**A** la mémoire de mon père que Dieu l'accueille en son vaste paradis.

**A** ma très chère mère que Dieu nous la garde.

**A** ma très chère petite famille mon époux pour son soutien et mes enfants  
Khaled, Mounir et Lwiza pour leur patience, aide et encouragement.

**A** mes chers frères et sœurs

**A** mes beaux frères et mes belles sœurs

**A** mes nièces et neveux

**A** toute ma famille et ma belle famille

**A** toutes les personnes qui m'ont aidé et encouragé

**A** mes proches et amis (es).

*Dalila-Fariza*

## *Remerciements*

Tout d'abord, louange à « **Allah** » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à Dieu, le tout puissant, à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude de m'avoir donnée la force et la patience pour mener à terme ce travail.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse, professeur **Ahmed MOHAMMEDI**, de m'avoir encouragé à relancer le doctorat et de me faire profiter de son expérience, son savoir et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je tiens à remercier spécialement professeur **Malika MEZIANE AHMED**, qui m'a apporté son soutien moral et intellectuel inestimable tout au long de ma démarche. Elle a grandement facilité mon travail.

Mes sincères remerciements vont aux :

- **Mme. Malika MEZIANE AHMED**, professeur à l'UHBC pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury.

- **Mr. Ilhem BENABBAS**, Professeur au département de biologie à l'université Hourii Boumedienne Alger pour avoir accepté d'examiner ce travail.

- **Mr. Kamel HAMADI**, Professeur à l'université USTHB, pour avoir accepté d'examiner ce travail

- **Mr. Benali SETTI**, professeur à l'université HBC pour l'honneur qu'il m'a fait on faisant partie de ce jury.

- **Mme. Samia BOUAFIA**, professeur à l'université de Ourgla pour l'honneur qu'elle m'a fait on faisant partie de ce jury.

Je désire aussi remercier Samia BOUAFIA, doyenne de la faculté SNV de l'université de Ouargla et Aicha, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes analyses.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire : Samir ALI AROUS, Abderrezak TOUBAL, Khadiidja BOUDOUR, Meryem BELABBAS, Radhia IKHLEF, Ali MOHAMMED, Abdelaziz MEROUANE, Adda ABABOU, Amel GADDOUCHE, Malika MEZIANE BOUKHATEM, Tayeb ACHOUR, Zina MOKRANE.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de notre département et les intervenants professionnels de notre faculté et particulièrement les ingénieurs de laboratoire.

Un grand merci à ma princesse bien aimée Lwiza qui m'a comprise, soutenue et aidée, merci énormément.

Mes remerciements sont adressés particulièrement aux hommes de ma vie, mon mari et mes deux enfants Khaled et Mounir.

La cerise sur le gâteau : ma famille que je remercie pour leur affection et leur soutien et particulièrement ma chère mère que dieu la garde pour nous inchallah.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers mes amis(es) et collègues pour Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

À tous les étudiants que j'ai encadrés sur cette thématique, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

*Dalila AMOKRANE-NADJI*

# *Productions Scientifiques*

## *Publications Internationales*

1. **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Abdelhaq MAHMOUDI, Adda ABABOU. Interactions between aphids and aphidiphages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria). *Acta agriculturae Slovenica*, **120/1**, 1–13, Ljubljana 2024.
2. **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Mostafa EL HAOUARI, Said BETTAHAR, Adda ABABOU: Pesticide Plants: Diversity and Use in Crop Protection in a Southern Mediterranean Area: Case Study of Chlef in North-West Algeria. (*Journal of Chemical Health Risks*JCHR (2023) 13(4), 119-132 | ISSN:2251-6727, [www.jchr.org](http://www.jchr.org))
3. **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Meryem BELABBES, Hadjer TEGGER, and Abdelaziz MEROUANE: Aphicidal potential of the essential oil isolated from *pistacia lentiscus* against the larvae of *aphis spiraecola*, vector of multiple phytoviruses. (*Pakistan Journal of Phytopathology* ISSN: 1019-763X (Print), 2305-0284(Online) <http://www.pakps.com>)
4. **Dalila AMOKRANE**; Ahmed MOHAMMEDI; Radhia YEKHLEF; Djamel BELFENNACHE; Nacira DAOUDI ZERROUKI; Shaza H. ALY; Mohamed A. ELANANY Mohamed A. ALI: Insecticidal Activity, GC/MS analysis, and in silico Studies of *Juniperus phoenicea* Extracts against *Aphis spiraecola*. (*Universal Journal of Agricultural Research* [https://www.hrpub.org/journals/jour\\_info.php?id=04](https://www.hrpub.org/journals/jour_info.php?id=04))
5. **Dalila AMOKRANE**; Ahmed MOHAMMEDI; Malika MEZIANE and Radhia YEKHLEF: Study of the Insecticidal Effect of Essential Oils and Extracts of Two Medicinal Plants and Evaluation of Their Synergistic Potential *in Vivo*. (*Tob Regul Sci* 2023(1) :3983-3997 <https://www.tobreg.org/index.php/journal> )

## *Communications Internationales*

1- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Ilhem MAIDI et fatima HAMMOU ZERROUKI: Comparative study of the physico-chemical properties of extracts of cypress "*Cupressus sempervirens*" and evaluation of their insecticidal effect *in vivo* on aphids. (icnbral2023@univ-tebessa.dz, 24 au 26 /11/2023)

2- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Assia BENZAAMIA et Hana BELBOULA: Identification des inhibiteurs potentiels de HE à partir des constituants phytochimiques de *Juniperus phoenicea* par analyse CG/MS /MS et son activité insecticide sur *Aphis spiraecola* P.1914 (<https://www.univ-chlef.dz/ISBPP2023/>, 18-19/10/2023)

## *Communications nationales*

1- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI et Salima KOUIDER EL OUHED : Les pucerons ravageurs des agrumes et leurs ennemis naturels dans la région de Chlef (<https://fsnv.univ-ouargla.dz/JOSJEC-SNV> ,15mars\_2022)

2- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Samir BOUHRAOUA et Yacine AIT OUAMER: Activite Anti-Oxydante de L'huile Essentielle de deux plantes aromatiques : *Pistacia lentiscus* L et *Cupressus sempervirens*.

(<https://www.univ-chlef.dz/ar/wp-content/uploads/2022/11/depliant-2022.pdf> )

3- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI, Samir BOUHRAOUA et Yacine AIT OUAMER: Caractérisation physico-chimique et activité antimicrobienne de deux espèces aromatiques *Pistacia lentiscus* L et *Cupressus sempervirens* (

<https://www.univ-chlef.dz/ar/wp-content/uploads/2022/11/depliant-2022.pdf> )

4- **Dalila AMOKRANE**, Ahmed MOHAMMEDI et Asma SANAA: La biodiversité de la population aphidiennes et ses ennemis naturels dans les vergers d'agrumes de la région de chlef (cnabic1@univ-mascara.dz, 03/ 04 juin 2023)

## Résumé

Dans la région de Chlef, au centre de l'Algérie, la culture des agrumes joue un rôle crucial sur le plan socioéconomique. Notre objectif principal est de mieux comprendre les espèces aphidiennes et leurs auxiliaires liés à cette culture, ainsi que de développer une stratégie de lutte alternative aux pesticides chimiques par l'utilisation de biopesticides d'origine végétale.

Nous avons entrepris un suivi exhaustif dans les vergers d'agrumes de la région de Chlef afin de recenser, identifier et inventorier les différentes espèces entomofaunistiques, en mettant particulièrement l'accent sur les pucerons et leurs prédateurs. Cette étude, réalisée dans trois vergers, vise à analyser les interactions de prédation et de parasitisme en vue de favoriser le contrôle biologique de ces ravageurs redoutables.

Simultanément, nous avons inventorié les espèces végétales aromatiques présentes dans différents milieux de la région de Chlef (friche, garrigue ou forêt) et ayant l'effet pesticide susceptibles d'être utilisées comme moyen de lutte biologique vis-à-vis des ravageurs des cultures en général et des pucerons inféodés aux agrumes en particulier. Après, nous avons examiné la composition de l'huile essentielle extraite des feuilles de *Pistacia lentiscus* L et de *Juniperus phoenicea* L à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Nous avons évalué également son activité insecticide *in vitro* et *in vivo* contre les pucerons du genre « *Aphis* », considérés comme une menace sérieuse pour la production d'agrumes en Algérie. Cette partie de l'étude inclut une analyse du rôle des composés phénoliques (flavonoïdes) extraits des feuilles de ces deux plantes médicinales sur un facteur biotique, à savoir la mortalité du puceron.

L'inventaire faunistique a permis de répertorier 7 espèces de pucerons appartenant à la famille des Aphididae, réparties en 3 genres (*Aphis*, *Toxoptera* et *Myzus*). Parmi elles, cohabitent 34 espèces auxiliaires, comprenant 30 espèces de prédateurs et 4 espèces de parasitoïdes. Quant à la flore pesticide, 47 espèces végétales ont été identifiées. Elles se répartissent sur 21 familles botaniques différentes dont les plus représentées sont les lamiacées et les astéracées et un peu moins les apiacées et les cupressacées.

Les résultats de l'activité insecticide *in vitro* et *in vivo* indiquent une relation positive entre la concentration des composés phénoliques (flavonoïdes) et le taux de mortalité du ravageur ciblé, ainsi qu'une corrélation positive entre les métabolites secondaires des huiles essentielles et l'évaluation de leurs potentiels synergiques sur les populations du puceron des agrumes.

Enfin, cette étude souligne l'effet significatif des bioproduits à base d'huiles essentielles sur le puceron d'agrumes (*Aphis*). Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à la mise en place de stratégies de lutte et de prévention contre cette espèce nuisible, avec l'espoir de réduire l'utilisation des traitements chimiques, essentiels dans la lutte contre ce ravageur et d'autres nuisibles, tant dans la région de Chlef que dans l'ensemble de l'Algérie.

**Mots clés :** Entomofaune, Citrus, Plante pesticide, Lutte biologique, Puceron, Huiles Essentielles, Chlef.

## Abstract

In the region of Chlef, in the central part of Algeria, citrus cultivation plays a crucial role in the socio-economic landscape. Our main objective is to gain a better understanding of aphid species and their associated allies in this cultivation, as well as to develop an alternative strategy to chemical pesticides through the use of plant-based pesticides.

We have undertaken a comprehensive monitoring effort in the citrus orchards of the Chlef region to document, identify, and inventory various entomofaunal species, with a particular focus on aphids and their predators. Conducted over a year and across three orchards, this study aims to analyze predation and parasitism interactions, ultimately aiming for the biological control of these formidable pests.

Simultaneously, we have inventoried the aromatic plant species present in different environments in the Chlef region (fallow land, scrubland, or forest) and having a pesticide effect that can be used as a biological control method against crop pests in general and citrus aphids in particular. After, we have examined the composition of essential oil extracted from the leaves of *Pistacia lentiscus* L and *Juniperus phoenicea* L using gas chromatography coupled with mass spectrometry. We have also evaluated its *in vitro* and *in vivo* insecticidal activity against aphids of the genus "*Aphis*," considered a serious threat to citrus production in Algeria. This part of the study includes an analysis of the role of phenolic compounds (flavonoids) extracted from the leaves of these two medicinal plants on a biotic factor, namely, aphid mortality.

The inventory has identified 7 aphid species belonging to the Aphididae family, distributed among 3 genera (*Aphis*, *Toxoptera*, and *Myzus*). Among them, 34 auxiliary species coexist, including 30 predator species and 4 parasitoid species. Hemiptera represent the most abundant order in terms of individuals, with *Aphis gossypii* and *Aphis spiraecola* (*Hemiptera-Aphididae*) as the most represented species. As for the pesticide flora, 47 plant species have been identified. They are distributed over 21 different botanical families, of which the most represented are the Lamiaceae and Asteraceae, followed by the Apiaceae and Cupressaceae.

The results of the *in vitro* and *in vivo* insecticidal activity indicate a positive relationship between the concentration of phenolic compounds (flavonoids) and the mortality rate of the targeted pest, as well as a positive correlation between the secondary metabolites of essential oils and their potential synergistic effects on citrus aphid populations.

In conclusion, this preliminary study underscores the significant effect of essential oil-based bioproducts on *citrus* aphids (*Aphis*). These promising results pave the way for the implementation of strategies for combating and preventing this harmful species, with the hope of reducing the reliance on chemical treatments, which are essential in the fight against this pest and others, both in the Chlef region and throughout Algeria.

**Keywords:** *Entomofauna, Citrus, Plant pesticide, Biological control, Aphid, Essential oils, Chlef.*

# إمكانية الحماية البيولوجية للحمضيات ضد حشرة المن في منطقة الشلف

## ملخص

في منطقة الشلف، وسط الجزائر تلعب زراعة الحمضيات دورا اجتماعيا واقتصاديا كبيرا. هدفنا الرئيسي هو الفهم الجيد لأنواع المن ومرافقها المرتبطة بهذا المحصول، وكذلك تطوير استراتيجية مكافحة بديلة للمبيدات الحشرية الكيميائية وذلك من خلال استخدام المبيدات الحيوية ذات الأصل النباتي. لقد قمنا بمراقبة شاملة في بساتين الحمضيات بمنطقة الشلف من أجل تسجيل وتحديد وحصر أنواع الحشرات المختلفة، مع التركيز بشكل خاص على حشرات المن ومفترسيها. وتهدف هذه الدراسة، التي أجريت على مدى سنة واحدة وعلى مستوى ثلاثة بساتين، إلى تحليل التفاعلات بين الافتراس والتطفل بهدف المكافحة البيولوجية لهذه المتلفات الكبيرة للحمضيات. قمنا بالموازاة مع هذا، قمنا بحصر أنواع النباتات العطرية الموجودة في بيئات مختلفة بمنطقة الشلف (الأراضي القاحلة أو الشجيرات أو الغابات) والتي لها تأثير مبيد من المحتمل استخدامها كوسيلة للمكافحة البيولوجية ضد آفات المحاصيل بشكل عام وحشرات المن التي تعتمد على الحمضيات بشكل خاص. وبعد. قمنا بتحليل تركيبة الزيت العطري المستخرج من أوراق "بيستاسيا لاتيستيكوس" و"جينيبيروس فوينيسيا" وذلك باستخدام كروماتوغرافيا الغاز إلى جانب قياس الطيف الكتلي. في المختبر وعلى الكائن الحي أيضا، قمنا بتقييم خصائص هذا الزيت المبيدة ضد حشرات المن من جنس "افيس" والذي يعتبر تهديداً خطيراً لإنتاج الحمضيات في الجزائر. تضمن يتضمن هذا الجزء من الدراسة تحديد دور المركبات الفينولية (الفلافونويدات) المستخرجة من أوراق هذين النباتين الطبيعيين على نسبة القضاء على حشرة المن. تمكنا من خلال عملية الجرد من إدراج 7 أنواع من حشرات المن تنتمي إلى عائلة "الافيديدا"، مقسمة إلى 3 أجناس (افيس، توكسوبتيرا وميزوس) حيث يوجد 34 منها في تعايش منها 30 نوعاً مفترسا و4 أنواع طفيليا. تمثل نصفيات الأجنحة الترتيب الأكثر وفرة من حيث عدد الحشرات التي يضمها، حيث تعتبر "افيس قوسيبي" و"افيس سبيرايكولا" الأنواع الأكثر تمثيلا. أما بالنسبة لنباتات المبيدات فقد تم التعرف على 47 نوعا نباتيا. يتم توزيعها على 21 عائلة نباتية مختلفة، وأكثرها تمثيلاً هي الفصيلة الشفوية والنجمية وأقل قليلاً من الخيمية والكوريسية

تشير نتائج نشاط المبيدات الحشرية في المختبر وعلى الجسم الحي إلى وجود تناسب إيجابي بين تركيز المركبات الفينولية (الفلافونويد) ومعدل وفيات المتلفات المستهدفة، وكذلك وجود علاقة إيجابية بين المستقلبات الثانوية للزيوت العطرية وتقييم القدرات المحتملة لحشرة المن على اشجار الحمضيات. في الختام، تسلط هذه الدراسة الضوء على التأثير المعنوي للمنتجات الحيوية المعتمدة على الزيوت العطرية على حشرة الحمضيات (افيس). كما تمكن هذه النتائج الواعدة إيجاد طرق بديلة للمراقبة والوقاية ضد هذه الأنواع الضارة، على أمل الحد من استخدام المعالجات الكيميائية الأساسية في مكافحة هذه الحشرات وغيرها من الأنواع الضارة، سواء في منطقة الشلف أو في الجزائر كلها.

## الكلمات المفتاحية :

الحشرات، الحمضيات، الآفات، نباتات المبيدات، المكافحة البيولوجية، البيئة الحيوية، المن، الزيوت العطرية، الشلف.



# *Table des matières*

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

*Liste des abréviations*

*Liste des tableaux*

*Liste des figures*

**Introduction générale**

## **Chapitre I. Données bibliographiques sur les agrumes, les pucerons et les possibilités de lutte biologique**

I.1. Les agrumes .....	6
I.1.1. Situation économique.....	6
I.1.1.1. Dans le monde.....	6
I.1.1.2. En Algérie.....	8
I.1.1.3. Dans la wilaya de Chlef.....	10
I.1.2. Taxonomie des agrumes .....	11
I.1.3. Exigences pédoclimatiques et culturelles des agrumes.....	11
I.1.3.1. Exigences climatiques.....	11
- Température.....	11
- Pluviométrie .....	12
- Humidité.....	12
- Vent .....	12
I.1.3.2. Exigences pédologiques .....	12
I.1.4. Biologie des agrumes .....	13
I.1.4.1. Espèces et variétés des agrumes en Algérie .....	13
I.1.4.2. Stades phénologiques et développement des agrumes .....	13
I.1.4.3. Date de floraisons et de maturations des agrumes .....	15
I.2. Maladies et ravageurs des agrumes.....	15
I.2.1. Maladies fongiques .....	16
I.2.2. Maladies bactériennes .....	16
I.2.3. Maladies virales .....	17
I.2.4. Ravageurs des agrumes.....	17
I.3. Pucerons et moyens de lutte biologique.....	19
I.3.1. Taxonomie des pucerons.....	19
I.3.2. Caractéristiques des pucerons .....	21
I.3.2.1. Caractéristiques morphologiques des pucerons.....	21
I.3.2.2. Quelques critères d'identification des pucerons des agrumes.....	21

I.3.2.3. Caractéristiques nutritionnelles et régime alimentaire des pucerons.....	23
I.3.2.4. Caractéristiques biologiques des pucerons.....	24
- I.3.2.4.1. Reproduction chez les pucerons .....	24
- I.3.2.4.2. Cycle évolutif .....	24
I.3.2.5. Caractéristiques écologiques des pucerons .....	25
- I.3.2.5.1. Température.....	25
- I.3.2.5.2. Pluviométrie, humidité et vent .....	26
I.2.3. Dégâts causés par les pucerons .....	26
I.3.3.1. Dégâts directs .....	26
I.3.3.2. Dégâts indirects.....	27
- I.3.3.2.1. Miellat et fumagine .....	27
- I.3.3.2.2. Transmission de virus .....	27
I.3.4. Moyens de lutte biologique contre les aphides .....	27
I.3.4.1. Entomophages.....	28
- I.3.4.1.1. Prédateurs .....	28
a) Coccinellidae.....	28
b) Cecidomyiidae (Aphidoletes aphidimyza) .....	28
c) Syrphes (Episyrphus balteatus) .....	29
d) Chrysopes .....	29
e) Arachnides.....	30
- I.3.4.1.2. Parasitoïdes .....	30
- I.3.4.1.3. Agents pathogènes.....	31
a). Champignons Entomopathogènes .....	31
b). Bactéries.....	32
c). Virus .....	32
I.3.4.2. Plantes a effet aphicides .....	32

## **Chapitre II : Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels dans des vergers agrumicoles de la région de Chlef**

### **Article 1: Interactions between aphids and aphidophages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria)**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>36</b>
<b>2</b>	<b>MATERIALS AND METHODS .....</b>	<b>36</b>
2.2.1	Sticky yellow traps .....	36
2.2.2	Hand gathering of shoots .....	37
2.2.3	The yellow basins .....	37
2.3.1	Ecological diversity indices .....	37
2.3.2	Statistical analysis (AFC).....	38

<b>3</b>	<b>RESULTS.....</b>	<b>39</b>
3.1.1	The aphid fauna found in the study environ- ments .....	39
3.1.2	The total richness, and the relative abundance of aphid populations during the surveys con- ducted.....	39
3.1.3	Total richness, relative abundance, and occur- rence frequency of aphid species in the Chlef region .....	39
3.2.1	Aphidophages associated with aphids recorded in the study orchards.....	40
3.2.2	Richness, abundance, and dominance of the main aphidophages predators present in the citrus-growing environments surveyed .....	41
3.2.3	Diversity of aphidophages in the study environ- ments .....	43
<b>4</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>46</b>

### **Chapitre III: Plantes a effet pesticide dans la région de Chlef .**

#### **Article 2: Pesticide Plants: Diversity and Use in Crop Protection in a Southern Mediterranean Area: Case Study of Chlef in North-West Algeria**

ABSTRACT: .....	49
1.Introduction .....	49
2.Methods Study sites .....	50
2.1. Frequency calculation .....	50
2.2.Statistical analysis: Correspondence Analysis .....	50
3.Results .....	51
Distribution of inventoried plants by biological type: .....	53
4- Discussion .....	56
5.Conclusion.....	58
6 . References bibliographiques .....	58

### **Chapitre IV: Etude de l'effet aphicide des extraits et des huiles essentielles de quelques plantes pesticides présentes dans la région de Chlef**

#### **Article 3: APHICIDAL POTENTIAL OF THE ESSENTIAL OIL ISOLATED FROM PISTACIA LENTISCUS AGAINST THE LARVAE OF APHIS SPIRAECOLA, VECTOR OF MULTIPLE PHYTOVIRUSES**

ABSTRACT .....	64
1.INTRODUCTION.....	64
2.MATERIALS AND METHODS .....	65
2.1 Plant collection and preparation: .....	65
2.2 Insect material: .....	65
2.3 Essential oil extraction: .....	65
2.4 Determination of chemical composition .....	65
2.5 Insecticidal activity: .....	66
2.6STATISTICAL ANALYSIS .....	66

3. RESULTS AND DISCUSSION .....	66
3.1 Yield and chemical composition of essential oil:.....	66
3.2. Aphicidal activity: .....	69
4. CONCLUSION .....	69
5.REFERENCES .....	70
<b>Article 4: Insecticidal Activity, GC/MS Analysis, and <i>in silico</i> Studies of <i>Juniperus phoenicea</i> Essential Oil against <i>Aphis spiraecola</i></b>	
Abstract .....	73
<b>1. Introduction .....</b>	<b>74</b>
<b>2. Experimental .....</b>	<b>74</b>
2.1. Plant Material .....	75
2.2. Essential Oil Isolation.....	75
2.3. GC/MS Analysis.....	75
2.4. Insect Collection.....	75
2.5. Contact Insecticidal Activity of the Essential Oil.....	76
2.7. Statistical Analysis.....	76
<b>3. Results and Discussion .....</b>	<b>76</b>
2.6. In Silico Studies .....	76
3.1. Essential Oil Yield.....	76
3.2. Characterization of the Essential Oil by GC/MS .....	76
$\alpha$ -Pinene .....	80
$\delta^3$ -Carene Limonene Camphor.....	80
Isoborneol R=H Isobornyl acetate R=OCOCH <sub>3</sub> .....	80
$\alpha$ -Terpinyl acetate .....	80
Cadinene .....	80
3.4. Determination of LD <sub>20</sub> , LD <sub>50</sub> and LD <sub>90</sub> of Essential Oil of <i>J. phoenicea</i> Leaves ..	81
3.5. In Silico Studies.....	82
<b>4. Conclusions.....</b>	<b>84</b>
<b>Declaration of Interest Statement .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>84</b>
<b>Article 5: Study of the insecticidal effect of essential oils and extracts of two medicinal plants and evaluation of their synergistic potential <i>in vivo</i></b>	
Abstract .....	87
1.Introduction .....	88
2. Materials and methods .....	88
2.1. Plant material.....	88
2.2. Animal material.....	89
2.3. Extraction of essential oil.....	89
2.4. Chemical detection of secondary metabolites .....	89

2.5. Experimental protocol .....	89
2.6. Insecticide contact activity .....	90
2.7. Statistical analyses.....	90
3. Results and discussion.....	91
3.1. Essential oil yield .....	91
3.2. Phytochemical screening of the studied species .....	91
3.3. Evaluation of the insecticidal effect of essential oils and extracts of the plants (J. phoenicea, P. lantiscus and their synergistic potential).....	92
Discussion .....	93
3.4. Synergistic potential of different treatments .....	94
Discussion .....	95
3.5. Comparative effect of different treatments over time and mortality rates. ....	96
3.6. Corrected mortality .....	98
3.7. Determination of lethal times .....	99
4. Conclusion.....	99
5. Reference:.....	100
<b>Conclusion générale et perspectives .....</b>	<b>103</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>106</b>
<i>Annexes</i>	

## *Liste des abréviations*

<b>Abréviation</b>	<b>Signification</b>
TL	Temps letale
F.R.E.D.O.N	France réseau national intervient principalement sur des missions de surveillance du patrimoine
ACTA	Association de Coordination Technique Agricole
BBCH	échelle destinée à identifier les stades de développement phénologique d'un végétal. vient de l'expression allemande « Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und CHEmische Industrie
UE	Union européenne
CG/MS	Chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse
OEPP/CABI,	Organismes de quarantaine pour l'Europe, CAB International, Wallingford (GB).
HE	Huiles essentielles
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CRAAQ	Le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
Ext P, Ext Eq, Ext G,	Extrait pistachier, extrai aqueux, extrait genevrier
AQS	Indicateur de la qualité de l'audience
M.A.P.A,	Ministère de l'agriculture de pêche et de l'alimentation
M.A.D.R.	Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural
YARA	Yara France Société par actions simplifiées
NADH	Nicotinamide Adénine Dinucléotide
EO	Essential oil
LD	Dose Létale /Létal dose
NV	Nombre de vivants
NT	Nombre de morts
IBMSPSS	Statistical Package for Social Sciences

## *Liste des tableaux*

Tableau	Titre	Page
<i>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</i>		
<b>Tableau 01</b>	Classification des principaux producteurs d'agrumes et leurs pourcentages durant l'année 2016/2017 (Atlas Big 2018-2021).	<b>05</b>
<b>Tableau 02</b>	Wilayas productrices des agrumes et leurs superficies par région (ha) (D.S.A., 2021/2022).	<b>06</b>
<b>Tableau 03</b>	Superficie et production d'agrumes (D.S.A., 2021/2022).	<b>08</b>
<b>Tableau 04</b>	Taxonomie des agrumes selon Praloran (1971).	<b>08</b>
<b>Tableau 05</b>	Schéma du cycle phénologique des agrumes non remontants (oranges, mandarines, pamplemousses et pomelos) en climat méditerranéen (Cassin, 1976).	<b>11</b>
<b>Tableau 06</b>	Dates de floraison et de maturation de quelques variétés d'agrumes (Gauthier, 2008).	<b>12</b>
<b>Tableau 07</b>	Les principales maladies fongiques d'agrumes (Agagna, 2016).	<b>13</b>
<b>Tableau 08</b>	Les principales maladies virales d'agrumes (Agagna, 2016).	<b>14</b>
<b>Tableau 09</b>	Les principaux ravageurs des agrumes (Biche, 2012).	<b>15</b>
<b>Tableau 10</b>	La classification des aphides (Mohammedi – Boubekka, 2015).	<b>16</b>
<b>Tableau 11</b>	Espèces d'Aphides dans le bassin méditerranéen (Turpeau-Ait Ighil et al. 2023 ; D.S.A., 2022).	<b>17</b>
<i>PARTIE EXPERIMENTALE</i>		
<i>Chapitre II : Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels dans des vergers agrumicoles de la région de Chlef.</i> <i>Interactions between aphids and aphidiphages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria)</i>		
<b>Tableau 1</b>	The aphid fauna recorded in the three citrus orchards surveyed	<b>36</b>
<b>Tableau 2</b>	Specific richness and centile frequency of aphids during the surveys.	<b>36</b>
<b>Tableau 3</b>	Richness, abundance, and dominance of different aphids collected in citrus orchards in the Chlef region	<b>37</b>
<b>Tableau 4</b>	Abundance of aphid species during the different surveys	<b>37</b>
<b>Tableau 5</b>	List of aphidiphages associated with aphids in the study environments	<b>38</b>
<b>Tableau 6</b>	Richness, abundance, and dominance of the main predators collected in citrus orchards in the Chlef region.	<b>39</b>
<b>Tableau 7</b>	Temporal evolution of the numbers of aphidiphages during the prospection period	<b>39</b>
<b>Tableau 8</b>	Values of diversity indices for aphidophagous populations in citrus orchards	<b>40</b>
<i>Chapitre III: Les plantes pesticides présentes dans la région de Chlef</i>		

<i>Pesticide Plants: Diversity and Use in Crop Protection in a SouthernMediterranean Area: Case Study of Chlef in North-West Algeria</i>		
<b>Tableau 1</b>	Inventoried pesticide plants, their botanical families, their toxic parts, and their target insects	<b>48</b>
<b>Tableau 2</b>	Biological types of pesticide plants found in the study sites	<b>50</b>
<b>Tableau 3</b>	Frequency of each pesticidal plant found in each of the surveyed sites	<b>51</b>
<b>Chapitre IV : Etude de l'effet aphicide des extraits et des huiles essentielles de quelques plantes pesticides présentes dans la région de Chlef.</b>		
<i>Article 1: Aphicidal potential of the essential oil isolated from pistacialentiscus against the larvae of aphis spiraecola, vector of multiple phytoviruses</i>		
<b>Tableau 1</b>	The compounds detected in the essential oil obtained from the leaves of Pistacia lentiscus L.	<b>64</b>
<b>Tableau 2</b>	Average corrected mortality of individuals of A. spiraecola as a function of the concentration of the essential oil of P.lentiscus (ANOVA, P<0.001).	<b>66</b>
<i>Article 2: Insecticidal Activity, GC/MS analysis, and in Silico Studies of Juniperus phoenicea Essentail oil against Aphis spiraecola</i>		
<b>Tableau 1</b>	Chemical composition of essential oil isolated from Juniperus phoenicea leaves using GC/MS analysis	<b>75</b>
<b>Tableau 2</b>	Mean larval and adult mortality as a function of Juniperus phoenicea essential oil concentration.	<b>78</b>
<b>Tableau 3</b>	Lethal doses of essential oil of J. phoenicea leaves.	<b>79</b>
<b>Tableau 4</b>	Docking results in kcal/mole of the compounds against AchE (PDB ID: 6XYU).	<b>79</b>
<i>Article3: Study of the insecticidal effect of essential oils and extracts of two medicinal plants and evaluation of their synergistic potential in vivo</i>		
<b>Tableau1</b>	Secondary metabolites detected in the plants studied.	<b>88</b>



## Liste des figures

Figure	Titre	Page
<b><i>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE</i></b>		
<b>Figure 01</b>	Répartition géographique de la production mondiale des agrumes (FAO, 2014).	<b>03</b>
<b>Figure 02</b>	Répartition des zones productives des agrumes en Algérie ( <a href="https://agronomie.info/fr/production-des-agrumes-en-algerie/">https://agronomie.info/fr/production-des-agrumes-en-algerie/</a> ).	<b>05</b>
<b>Figure 03</b>	Répartition des verges d'agrumes dans la wilaya de Chlef (DSA, 2022).	<b>07</b>
<b>Figure 04</b>	Cycle phénologique des agrumes (Meier, 2001).	<b>10</b>
<b>Figure 05</b>	Morphologie d'un puceron aptère (A) et ailé (B) (Turpeau –Ait ighil et al., 2015).	<b>18</b>
<b>Figure 06</b>	Morphologie de l'aile (A), cauda (B) et l'antenne (C) : base d'identification des pucerons (Blackman et Eastop 2006)	<b>18</b>
<b>Figure 07</b>	Caractéristiques photomicrographie de la morphologie des différentes parties d'identification de <i>A. Gossypii</i> Glover et <i>A. Spiraecola</i> Patch	<b>19</b>
<b>Figure 08</b>	Caractéristiques de l'aile antérieure et antennes de <i>T. Citricida</i> et <i>T. Aurantii</i> (Afechtal 2012)	<b>20</b>
<b>Figure 09</b>	Détail des pièces buccales des pucerons (Brault et al ,2007)	<b>20</b>
<b>Figure 10</b>	Mode alimentaires des pucerons (Brault et al ,2007)	<b>20</b>
<b>Figure 11</b>	Cycle biologique des pucerons (Dewey, 2004)	<b>22</b>
<b>Figure 12</b>	(a et b) larve et adulte de <i>Coccinella septempunctata</i> . (c) adulte de <i>coccinella algerica</i> (photos originales 2022)	<b>25</b>
<b>Figure 13</b>	Larves d' <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (photo originale 2022).	<b>26</b>
<b>Figure 14</b>	Larves d' <i>Episyrphus balteatus</i> (photos originales de 2022).	<b>26</b>
<b>Figure 15</b>	adulte (b) Larve <i>Chrysoperla carnea</i> (photo originale de 2022).	<b>27</b>
<b>Figure 16</b>	Cycle de développement d'un hyménoptère parasitoïde primaire (Turpeau et al., 2018).	<b>28</b>
<b><i>PARTIE EXPERIMENTALE</i></b>		
<b><i>Chapitre II : Interactions between aphids and aphidiphages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria)</i></b>		
<b>Figure. 1</b>	Geographic location of the experimental sites	<b>33</b>
<b>Figure 2</b>	AFC applied to the populations of wingless aphids and their predators during the periods of prospections	<b>40</b>
<b><i>Chapitre III: Pesticide Plants: Diversity and Use in Crop Protection in a Southern Mediterranean Area: Case Study of Chlef in North-West Algeria</i></b>		
<b>Figure 1</b>	Geographic location of the region and study sites	<b>47</b>
<b>Figure 2</b>	Plant census and frequency estimation methods	<b>47</b>
<b>Figure 3</b>	Frequency of biological types in the study areas	<b>50</b>
<b>Figure 4</b>	Correlations of pesticidal plants – environments through CA	<b>53</b>
<b><i>Chapitre IV : Etude de l'effet apicide des extraits et des huiles essentielles de quelques</i></b>		

<i>plantes pesticides présentes dans la région de Chlef.</i>		
<i>Article.1: Aphicidal potential of the essential oil isolated from pistacialentiscus against the larvae of aphis spiraeicola, vector of multiple phytoviruses</i>		
<b>Figure 1</b>	Chromatogram of the essential oil of Pistacia lentiscus L.	<b>63</b>
<i>Article2. Insecticidal Activity, GC/MS analysis, and in Silico Studies of Juniperus phoenicea Essentail oil against Aphis spiraeicola</i>		
<b>Figure 1</b>	schema for illustration of the steps of the current work	<b>72</b>
<b>Figure 2</b>	GC Chromatogram of the essential oil isolated from Juniperus phoenicea leaves	<b>74</b>
<b>Figure 3</b>	Pie chart demonstrate the distribution of volatile components in percentage within the essential oil of J. phoenicea leaves	<b>77</b>
<b>Figure 4</b>	Chemical structures of the Major constituents identified in essential oil isolated from leaves of Juniperus phoenicea using GC/MS analysis	<b>77</b>
<b>Figure 5</b>	Average mortality percentage of A. spiraeicola larvae and adults using essential oil of J. phoenicea at different concentrations.	<b>78</b>
<b>Figure 6</b>	Overlay of the co-crystallized pose (green) and the re-docked pose (pink) of ZAI inside AchE (PDB ID: 6XYU) during validation (RMSD = 0.56 and 0.41 Å for A: MOE and B: Vina, respectively)	<b>79</b>
<b>Figure 7</b>	2D and 3D interactions of ZAI, $\sigma$ -cadinene, (E)-Caryophyllene and $\alpha$ -Terpinyl acetate in AchE.	<b>80</b>
<b>Figure 8</b>	Hydrogen bonds with distances of $\alpha$ -Terpinyl acetate with GLU80 and TRP83 in AchE.	<b>81</b>
<i>Article 3 : Study of the insecticidal effect of essential oils and extracts of two medicinal plants and evaluation of their synergistic potential in vivo</i>		
<b>Figure1</b>	Experimental device in the citrus orchard.	<b>87</b>
<b>Figure 2</b>	Mortality rate of aphids treated with essential oils over time	<b>89</b>
<b>Figure 3</b>	mortality rate of aphids treated with acetone extracts over time	<b>89</b>
<b>Figure 4</b>	mortality rate of aphids treated with methanolic extracts over time	<b>89</b>
<b>Figure 5</b>	Mortality rate of aphids treated with aqueous extracts over time.	<b>89</b>
<b>Figure 6</b>	Aphids mortality rate as a function of essential oils after 24 hours	<b>91</b>
<b>Figure 7</b>	Aphids mortality rate as a function of acetone extrats after 24 hours	<b>91</b>
<b>Figure 8</b>	Aphids mortality rate as a function of methanolic extracts after 24 hours	<b>92</b>
<b>Figure 9</b>	Aphids mortality rate as a function of aqueous extracts after 24 hours	<b>92</b>
<b>Figure 10</b>	Boxplots of the aphid mortality rate according to the treatments at different exposure times	<b>94</b>
<b>Figure11</b>	Corrected mortality (CM)	<b>95</b>
<b>Figure 12</b>	TL20, TL50, and TL90 in hours for each treatment used	<b>96</b>

## **Introduction générale**

Les agrumes revêtent une importance économique significative dans de nombreux pays notamment en Algérie, agissant à la fois en tant que culture à vocation commerciale, étant un produit d'exportation majeur et générateur d'emplois et d'activités économiques, tant dans le secteur agricole que dans des branches annexes telles que le conditionnement et la transformation (INVA, 2022). En effet, l'agrumiculture est pratiquée dans environ 168 pays, ce qui en fait une filière agricole d'une grande valeur à l'échelle mondiale (FAO, 2022) dont la Chine, le Brésil et les USA sont les plus importants producteurs (Clam, 2007). Le Bassin méditerranéen est la deuxième zone de diversification des agrumes. Son industrie occupe une place prépondérante dans le commerce international, représentant jusqu'à 60% du total des échanges commerciaux (WU, 2015)

En Algérie, la production annuelle totale d'agrumes est estimée à 13 417 540 quintaux, avec une moyenne de rendement de 224 quintaux par hectare. Selon une note de l'Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne (2017), la superficie totale du verger agrumicole national s'étend sur 67 190 hectares, dont 59 935 hectares sont exploités à des fins commerciales. Le verger agrumicole est reparti à travers les wilayas d'Annaba, Skikda, Oran, Relizane, Mascara, Mostaganem, Chlef, Blida, Alger et Tipasa.

La wilaya de Chlef est considérée comme l'une des principales zones de production d'agrumes en Algérie et occupe la deuxième place en termes de potentiel de verger agrumicole avec une superficie de 6663 ha (MADRP, 2021) précédée par la région de Mitidja dont la superficie est plus de 18.000 ha (Bellabas, 2010).

Les agrumes se montrent particulièrement vulnérables aux maladies cryptogamiques ainsi qu'à divers ravageurs, entraînant des dommages sur les fruits et, par conséquent, influant sur la rentabilité des vergers d'agrumes en Algérie. Les insectes, en particulier les pucerons, jouent un rôle significatif dans la diminution du rendement, constituant un groupe d'insectes largement répandu à l'échelle mondiale.

Les dommages occasionnés par les pucerons sont nombreux à savoir : l'affaiblissement de la plante, l'avortement des fleurs, l'enroulement et une chute des feuilles réduisant la surface photosynthétique, le développement de nombreuses espèces de champignons saprophytes provoquant des fumagines sur la couche de miellat excrété par les pucerons et d'autre part par la transmission de phytovirus (Delorme, 1997).

L'Algérie a lancé, depuis 2012, un programme de rajeunissement agrumicole consistant en l'arrachage graduel des vieilles plantations et à leur replantation en vue de nouvelles plantations. Ces jeunes plantations sont les plus menacées par les pucerons, notamment le puceron vert des agrumes *Aphis spiraecola*, car la croissance des plants est fortement entravée en cas de forte

pullulation. Ces insectes vivent en colonie et sucent la sève des végétaux qu'ils attaquent (INRAE, 2023).

La lutte chimique est la plus utilisée contre les pucerons et les autres ravageurs des agrumes. Malheureusement, l'utilisation massive de ces produits chimique présente des risques potentiels pour la santé de l'homme et de l'environnement. Les problèmes de résistance et de nocivité des insecticides de synthèse ont conduit à la nécessité de trouver des alternatives plus efficaces et plus saines.

Heureusement, la nature offre des moyens de protection biologique très diversifiés vis-à-vis de ces déprédateurs, en l'occurrence, les ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes), les micro-organismes pathogènes (bactéries, champignons, virus et protozoaires) et certains végétaux qui contiennent des composants dotés de propriétés pesticides. La plupart de ces agents demeurent inconnus ou du moins mal exploités malgré les résultats positifs générés par l'utilisation de la lutte biologique dans la protection des cultures vis-à-vis des ravageurs mais aussi en atténuant les effets indésirables de ces substances sur l'environnement et la santé humaine.

C'est dans ce contexte que le présent travail a pour objectif d'identifier les potentialités de protection biologique vis-à-vis des pucerons des agrumes dans la région de Chlef, autrement dit, nous visons à rechercher et à faire connaître les agents biologiques existant dans la région d'étude et qui peuvent servir d'une manière directe ou indirecte dans la lutte biologique vis-à-vis de ces redoutables déprédateurs.

Ce manuscrit commence par une synthèse bibliographique qui introduit les notions clefs utilisés et discutés dans les différents travaux de la thèse, suivi d'un travail expérimental comprenant trois parties. La première concerne l'inventaire de la faune aphidienne présente dans les vergers d'agrumes de la région de Chlef et les ennemis naturels qui lui sont associés. La deuxième partie est réservée à l'inventaire des plantes pesticides présentes dans la région d'étude et enfin, une troisième partie consacrée à l'étude de l'effet pesticide *in vitro* et *in vivo* des extraits et des huiles essentielles de certaines des plantes présentes dans la région d'étude.

## 1. Objectifs et hypothèses

### 1.1. Objectifs principaux du projet (OP)

Les principaux objectifs du présent travail peuvent se résumer comme suit :

**OP 1** : Recensement, d'une part la faune aphidienne responsables des dégâts causés sur les agrumes et d'autre part leurs ennemis naturels qui leur sont associés et qui contribuent à la régulation biologique de leurs populations.

**OP2** : Recensement des plantes à effet pesticide ou insecticide présentes dans la région d'étude (Chlef) dans le but de les préserver, de les cultiver, de valoriser leur utilisation en tant que biopesticide dans la protection des cultures en général et des agrumes en particulier vis-à-vis des ravageurs en général et des pucerons en particulier.

**OP 3** : Etudier l'effet de deux plantes pesticides à savoir *Juniperus phoenicea* et *Pistacia lentiscus* L. Des expériences *in vivo* et *in vitro* ont été réalisées afin de voir l'effet de deux extraits à savoir les huiles essentielles et extraits polyphénoliques de ces deux plantes sur la mortalité de ce ravageur.

### 1.2. Hypothèses de recherche (H)

**H1** : Les résultats de l'inventaire faunistique réalisé dans nos vergers d'étude mettent en évidence une diversité au sein des groupes d'animaux recensés, notamment les insectes. D'une part, les pucerons d'agrumes, actuellement reconnus comme responsables de dégâts directs dans les vergers d'agrumes, et d'autre part, les auxiliaires qui leur sont associés. La relation entre les aphides et leurs ennemis naturels dans les vergers d'agrumes de la région de Chlef peut révéler l'émergence des uns et des autres à différentes périodes, des interactions de prédation et de parasitisme à impact marqué dans la régulation des populations des ravageurs, des corrélations et des affinités entre certaines espèces plutôt que d'autres, des préférences des prédateurs et parasitoïdes pour certains pucerons plutôt que d'autres ainsi que d'autres phénomènes ou du moins des interactions qui peuvent être notés à travers les résultats de cette modeste étude.

**H2** : Les trois zones explorées de la région de Chlef (zone littorale, zone de plaines et zone de montagne), à travers l'inventaire des plantes pesticides qui forment la flore de cette région, représente une ressource significative et une base de données pour les chercheurs et les agriculteurs qui veulent s'investir dans la valorisation de ces plantes dans le cadre de la protection biologique des cultures.

**H3** : Les feuilles de Pistachier (*Pistacia lentiscus*) et de Genévrier rouge (*Juniperus*

*phoenicea*), récoltées dans la région de Chlef, caractérisée par un climat méditerranéen subhumide au nord et un climat continental au sud, froid en hiver et chaud en été, sont des sources de biomolécules particulièrement intéressantes. Ces biomolécules peuvent présenter un potentiel insecticide contre de redoutables ravageurs, notamment les pucerons, représentant une menace sérieuse pour la production d'agrumes en Algérie.

### **1.3. Justifications**

L'intensification de la production agrumicole ne peut se concevoir sans tenir compte des problèmes des ravageurs associés à cette culture. De ce fait, il est nécessaire de les connaître pour pouvoir mettre en place des mécanismes de lutte adéquats. La dynamique et la diversité des bioagresseurs dans un verger d'agrumes ont attiré l'attention de plusieurs auteurs, notamment Chapot et Delucchi (1964), Biche et Sellami (1999), Stary (1988), Saharaoui et al., (2001), Berchiche (2004), Zaabta (2016) et Ait Amar et al., (2022). Parmi les déprédateurs potentiels des agrumes, les pucerons sont souvent mentionnés comme les plus redoutables (Aroun, 2015 et Benoufella-Kitous, 2015). La place qu'occupe l'agrumiculture dans la région de Chlef tant sur le plan agricole que sur le plan économique ainsi que l'importance des pucerons parmi les ravageurs de cette culture a suscité notre intérêt pour la présente étude.

Vu les répercussions de la lutte chimique sur l'environnement en général et la santé de l'homme en particulier, Tous les spécialistes se penchent actuellement sur les méthodes de lutte biologique et durable. Afin de réussir une protection biologique d'un agrosystème, il est surtout nécessaire de comprendre les interactions et les connections qui relient les agents biotiques les uns aux autres, notamment celles qui sont bénéfiques à la culture. Delà, il ressort que l'étude des populations animales, ou du moins entomofauniques dans un agroécosystème présente un intérêt en termes d'effet sur la biodiversité (Vitousek *et al.*, 1997). Ainsi, il a été noté que, la préservation et l'utilisation de la diversité des êtres vivants sont essentielles pour relever les défis mondiaux auxquels nous sommes confrontés, car la biodiversité est un facteur déterminant de la santé des écosystèmes, en conséquence, elle agit sur l'augmentation de la production alimentaire (FAO, 2018). Les interactions de prédation et de parasitisme ayant à limiter naturellement les populations aphidiennes et les dommages qu'elles occasionnent doivent être valorisées. Plusieurs articles examinés ont quantifié dans une série d'analyse ce contrôle biologique des insectes nuisibles. On cite : Barbagallo et Patti (1986), Snyder and Ives (2003), Kalushkov & Hodek (2004), Frank et al. (2005), Straub (2006), lamari *et al.*, (2011), Satar (2014), Benoufella-Kitous (2015), Aroun (2015), Gómez-Marco et al. (2015), Hüllé (2019) et Sarker *et al.*, (2019), Herrbach (2022). Suite à cela, une étude relative à la connaissance des ennemis naturels des pucerons dans nos milieux d'étude a été indispensable pour une éventuelle utilisation en lutte biologique ou du moins pour une simple préservation.

L'établissement d'une liste de plantes à effet pesticide qui pourra être utilisée comme moyen de lutte alternatif aux pesticides commerciaux causant d'énormes dégâts sur l'écosystème et la santé humaine sera l'un des résultats de cette étude. La littérature scientifique étudiant les végétaux à effet pesticide sur la régulation des insectes phytophages sont très rares. Ainsi, la plupart des travaux se limitent à l'étude des plantes aromatiques et médicinales, pourtant, une grande partie d'entre elles peuvent servir de biopesticides. Parmi ces études, nous citons celles de Aidoud (1983), Beloued (1998), Amoatey et Acquah (2010), Benzara (2011), Döring (2014), Daferera et al. (2000), Finch *et al.*, (2000) et de Belabbes *et al.*, (2020).

L'Algérie par sa position géographique, est riche en plantes aromatiques et médicinales. Le lentisque ou 'Darw' ou encore le génévrier sont parmi les plantes qui présentent plusieurs effets biologiques. Ceux-ci ont fait l'objet de plusieurs études à travers le monde. Parmi ces études, nous pouvons citer El-Sawi (2007), Bouzouita et al (2008), Achak *et al.*, (2008), Alzand et al. (2014), Amalich et al. (2016), Fadel *et al.*, (2016), Harmouzi (2016) et Elmhalli (2021). L'effet insecticide de ces plantes a été étudié sur la processionnaire du pin *Thaumetopoa pityocampa* (Rabie, 2019), *Tribolium castaneum* (Bachrouch, 2010) et *Tribolium confisum* (Bouzouita *et al.*, 2008) d'où l'intérêt d'étudier son efficacité vis à vis des pucerons ravageurs des agrumes.

# **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**



## Chapitre I. Données bibliographiques sur les agrumes, les pucerons et les possibilités de lutte biologique

### I.1. Les agrumes

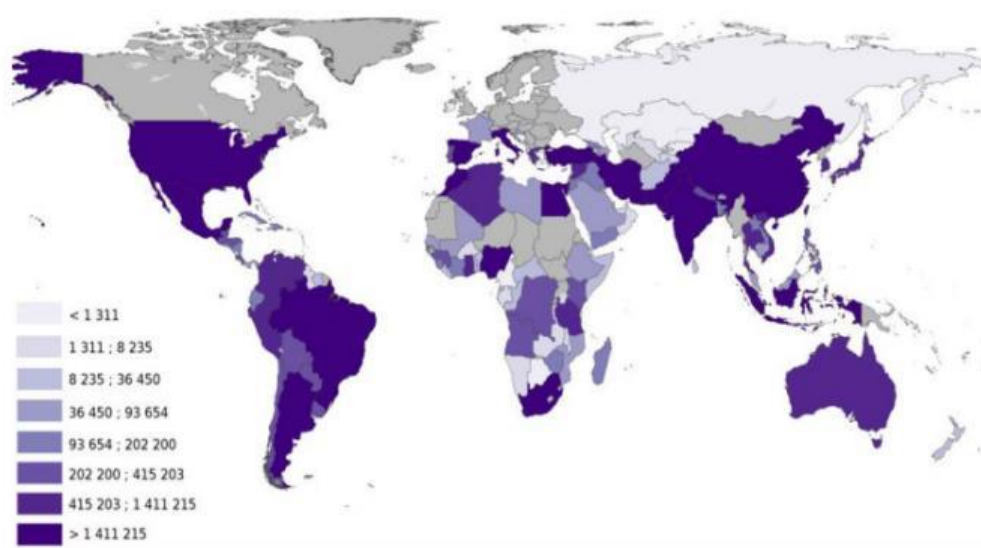
Les agrumes sont répartis sur les cinq continents, mais leur origine est centrée sur l'Asie du Sud-Est sous des climats chauds et humides. Le mot agrume provient du latin *acrumen* (aigre) et était donné dans l'antiquité aux arbres à fruits acides. En botanique, les agrumes appartiennent à la famille des Rutacées et sont répartis en 3 genres : *Fortunella* (Kumquat), *Poncirus* (Oranger trifolié) et *Citrus* (majorité des agrumes) (Cassan, 2008)

#### I.1.1. Situation économique

Les agrumes revêtent une importance cruciale pour de nombreux pays en raison de leur impact économique significatif. Ils génèrent des revenus appréciables en tant que fruits sur le marché commercial et en tant que matière première pour divers dérivés tels que le jus, la confiture, etc.

##### I.1.1.1. Dans le monde

D'après FAO.(2014),le nombre de pays producteurs d'agrumes dans le monde (Figure 01) augmente progressivement et la croissance des agrumes a été observée dans presque toutes les régions du monde, principalement dans les régions méditerranéennes et tropicales où cette production est possible.



**Figure 01** : Répartition géographique de la production mondiale des agrumes (FAO, 2014).

Les agrumes sont les fruits les plus produits au monde. La production mondiale en agrumes est considérée comme l'une des plus importantes dans le domaine agricole (Torquato et *al.*, 2017). La production mondiale d'agrumes, toutes espèces confondues, s'élève à plus de 110 millions de tonnes par an, sur une superficie d'environ 7,5 millions d'hectares. Les oranges représentent environ 60 % de la production totale d'agrumes. Les tangerines, mandarines, clémentines et satsumas représentent 23 % du volume mondial. Environ 13,7 millions de tonnes de citrons et de limes, ainsi que 4,4 millions de tonnes de pamplemousses et de pomelos, sont produites annuellement (YARA, 2023).

Les principaux pays producteurs sont le Brésil avec 18,5 millions de tonnes, cultivant ainsi un quart de la production mondiale d'agrumes, dont 75 % sont transformés en jus. La Chine et les États-Unis sont également d'importants producteurs avec respectivement 17,6 et 11 millions de tonnes (<https://agritrop.cirad.fr/>).

Environ 22 millions de tonnes d'agrumes sont produites dans la région méditerranéenne, principalement pour la consommation de fruits frais. L'Espagne, l'Italie, l'Égypte, la Turquie et la Grèce sont les principaux producteurs. Plus de 90 % de la production mondiale d'agrumes frais est consommée dans le pays d'origine. Selon Gautier (2023), la région méditerranéenne est la plus grande exportatrice de fruits frais. Les principaux importateurs sont l'Allemagne, la France, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

Parmi les différents types d'agrumes cultivés dans le monde, selon la FAO (2014), les oranges prédominent avec une part de 52 %. Les petits agrumes occupent la deuxième place avec une production de 20,6 millions de tonnes, soit 21 % de la production totale d'agrumes. Ensuite viennent les citrons verts et les citrons, d'autres agrumes, et enfin les pamplemousses. Ces derniers occupent la dernière place avec une production de 6,1 millions de tonnes.

Les principaux pays producteurs d'agrumes dans le monde, comme le montre le Tableau 01, sont la Chine en tant que premier producteur avec un rendement de 15 240,3 Kg/ha et un volume de 41,9 millions de tonnes. Elle est suivie par le Brésil avec un rendement de 27 582,2 Kg / ha. L'Inde occupe la 3ème position avec 12,5 millions de tonnes, suivie par le Mexique (8,4 millions de tonnes) et les États-Unis (7,03 millions de tonnes). L'Espagne se classe sixième, suivi par la Turquie et l'Égypte. Quant à la Tunisie, l'Algérie et le Maroc leur part dans la production mondiale sont respectivement de 0,5, 1,4, 2,2 millions de tonnes (Atlas Big 2018-2021).

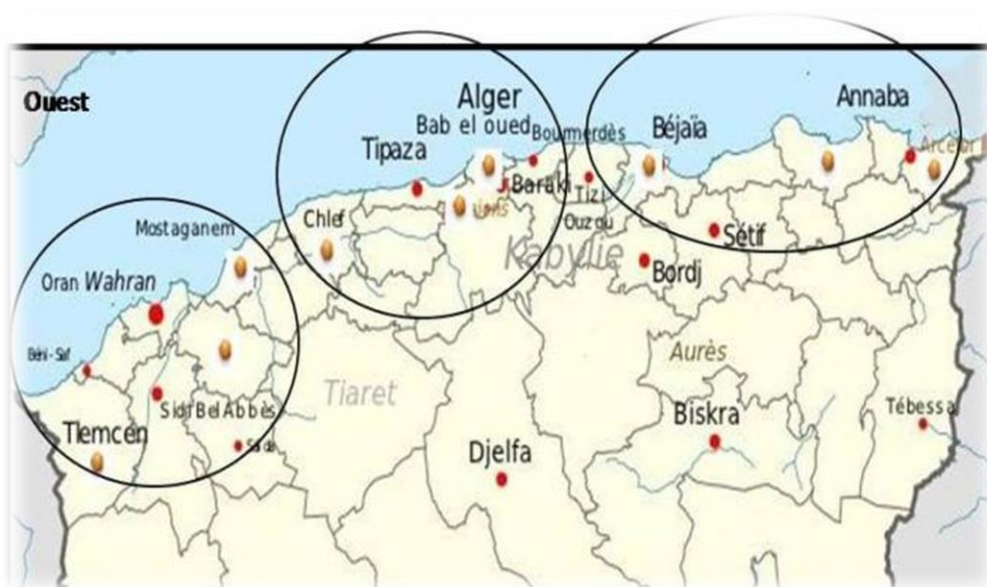
**Tableau 01** : Classification des principaux pays producteurs d'agrumes (Atlas Big 2018-2021).

Pays	Production (tonnes)	Production par personne (Kg)	Superficie (en hectares)	Rendement (Kg / Hectare)
Chine	41 905 490	30,064	2 749 648	15 240,3
Brésil	19 273 659	91,984	698 772	27 582,2
Inde	12 546 000	9,387	970 597	12 926,1
Mexique	8 437 589	67,643	594 816	14 185,2
USA	7 038 334	21,474	279 006	25 226,4
Espagne	6 777 999	145,266	297 615	22 774,4
Turquie	4 902 052	60,661	143 674	34 119,3
Égypte	4 675 660	47,957	193 727	24 135,3

### I.1.1.2. En Algérie

Les principales zones productrices d'agrumes actuelles en Algérie sont mentionnées dans la figure 02 : Blida, Chlef, Tipaza, Relizane, Mascara, Mostaganem et Alger (Koutti, 2017).

Dans les dix années précédant l'indépendance, la production annuelle d'agrumes était d'environ 400 000 tonnes. Ainsi, l'Algérie est classée 10<sup>ème</sup> au monde et est l'un des plus grands producteurs de la région méditerranéenne, selon une source Ali arous (2020).



**Figure 02** : Répartition des zones productives des agrumes en Algérie.

<https://agronomie.info/fr/production-des-agrumes-en-algerie/>

L'Est Algérien reste une région où les agrumes n'ont pas connu un développement important, plus de la moitié des vergers se trouvent au centre du pays (tableau 02).

**Tableau 02** : Wilayas productrices des agrumes et leurs superficies par région (ha) (D.S.A., 2021/2022).

Ouest		Centre		Est		Sud	
Wilaya	Surface (ha)	Wilaya	Surface (ha)	Wilaya	Surface (ha)	Wilaya	Surface (ha)
<b>Tlemcen</b>	2491	Chlef	5760	Jijel	327	Biskra	85
<b>Mostaganem</b>	4488	Bejaia	2075			Skikda	2353
<b>Mascara</b>	4256	Blida	16583	Annaba	521		
<b>Oran</b>	230	Bouira	414			Guelma	874
<b>Ain Témouchent</b>	483	Tizi-Ouzou	1343	El-Taref	2092		
<b>Relizane</b>	4539	Alger	5088			Illizi	93
<b>Totale</b>	<b>16487</b>	Media	53	<b>6167</b>	<b>1425</b>		
		Boumerdès	2072				
		Tipaza	3725				
		Ain-Defla	2344				
		<b>Totale</b>	<b>39457</b>				

Selon les exigences pédoclimatiques les agrumes sont essentiellement localisés dans les zones potentielles de production :

- La plaine de la Mitidja : 43%
- Le périmètre de la Mina et Bas- Chélif : 27%
- Le périmètre de Bounamoussa (Annaba) et la plaine Saf-Saf (Skikda) : 10%
- Le périmètre de la Habra (Mascara) : 07%

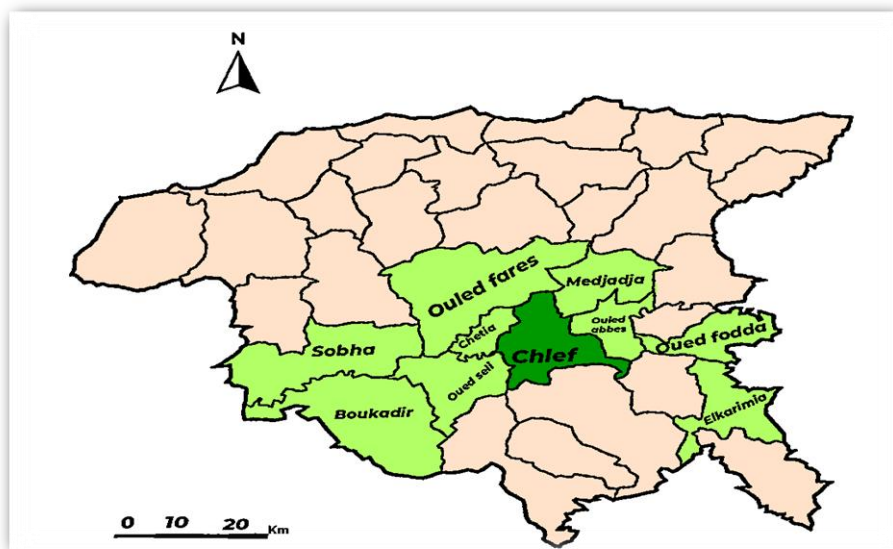
L'Algérie, pendant la période coloniale, a été caractérisée par une bonne production d'agrumes. Ensuite, elle a connu une baisse remarquable, qui n'est même pas en mesure de satisfaire les besoins des consommateurs.

Cette production a augmenté rapidement à partir des années 1990, puis s'est stabilisée entre 2005 et 2008, pour ensuite diminuer en 2009. Selon Khen (2014), elle s'est à nouveau stabilisée pendant ces dernières années.

### I.1.1.3. Dans la wilaya de Chlef

La wilaya de Chlef dispose d'une superficie agrumicole de 6.388 hectares en 2017, contre 4.672 hectares recensés en 2009. Le rendement moyen à l'hectare se situe entre 210 et 250 quintaux (D.S.A, 2022). Selon Bencherki (2017), il existe une vingtaine de variétés, les plus connues étant «Washington Navel», la «Thompson Navel» pour les oranges et «Double fine» et «Clémentine» pour les mandarines. Malgré l'abondance du produit, les prix des agrumes, notamment des oranges, ne sont pas à la portée des petits portefeuilles, sachant qu'un kilo d'oranges se vend au palier de 120-180 DA pour la plupart des lots de fruits sur le marché de la wilaya.

Les principales zones de culture d'agrumes sont situées dans le bassin de l'Oued Chlef (Haut, Moyen et Bas Chlef). Elle est limitée au Nord-Est par le plateau de Djendel et circonscrite au Nord par le massif de Dahra et celui de Zakkar, et au sud par les contreforts de l'Ouarsenis (Figure. 03). À partir de l'Ouarsenis, elle pénètre dans la plaine de la Mina dans son Sud-ouest. La partie ouest de la plaine appartient au bassin versant de la Mina. La zone de production comprend 10 communes de la wilaya de Chlef (Ali Arous, 2020).



**Figure 03** : Répartition des verges d'agrumes dans la wilaya de Chlef (DSA, 2022).

Selon les prévisions des services agricoles, la production d'agrumes (tableau 03) dans la wilaya de Chlef devrait atteindre 1 487 675 quintaux, toutes variétés confondues (oranges, citrons, pamplemousses, mandarines et bigarades), durant la campagne en cours (Bencherki, 2017).

**Tableau 03** : Superficie et production d'agrumes (D.S.A., 2021/2022).

	TOTAL AGRUMES			
	Superficie complantée (ha)	Superficie en rapport (ha)	Production (quintaux)	Superficie totale d'agrumes (ha)
<b>Colonnes</b>	19	20	21	3
<b>Total des Exploitations</b>	1823,98	1 639,00	491 990,00	6 685,0
<b>Fermes Pilotes</b>	202,00	187,00	43 306,50	141,0

### I.1.2. Taxonomie des agrumes

De nombreux travaux (Swingle, 1948, Tanaka, 1954, Chapot, 1955, Hume, 1957 et Hadgson, 1967), ont été menés au cours du 20<sup>ème</sup> siècle pour classer les différentes variétés et espèces. Il est admis que les agrumes sont répartis en trois genres botaniques compatibles entre eux (tableau 04) : Poncirus, Fortunella et Citrus. Ces trois genres appartiennent à la tribu des Citreae. Le genre Citrus, qui regroupe la plupart des espèces d'agrumes cultivées, compte, selon les taxonomistes, de 16 (Praloran, 1971) à 156 espèces (Tanaka, 1954).

**Tableau 04** : Taxonomie des agrumes selon Praloran (1971).

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotyledoneae
<b>Sous classe</b>	Archichlonideae
<b>Ordre</b>	Geraniales
<b>Famille</b>	Rutaceae
<b>Sous famille</b>	Aurantioideae
<b>Tribu</b>	Citreae
<b>Sous tribu</b>	Citrinae
<b>Genre</b>	<i>Citrus, Fortunella, Poncirus</i>

### I.1.3. Exigences pédoclimatiques et culturelles des agrumes

#### I.1.3.1. Exigences climatiques

##### - Température

Du point de vue climatique, les agrumes sont très sensibles aux variations thermiques et exigent des températures élevées pendant la croissance et la maturation des fruits (Singh et Rajam, 2009). Ces mêmes auteurs ont également noté que des températures moyennes de 20 °C la nuit et 35 °C le jour sont nécessaires pour une croissance optimale de ces espèces. L'exposition de certaines espèces de Citrus à des températures élevées peut réduire leur niveau de photosynthèse (Guo *et al.*, 2003 ; Guo *et al.*, 2006).

De plus, cela peut induire une faible production, l'apparition de taches et même une diminution de la qualité des fruits (Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996).

Par ailleurs, il est à mentionner que les agrumes sont généralement classés parmi les cultures moyennement sensibles au froid. Ils sont vulnérables aux dommages du froid à des températures inférieures à  $-2\text{ °C}$  (El-Otmani, 2005). Tandis que des températures inférieures à  $9\text{ °C}$  peuvent partiellement détruire la charpente des arbres et provoquer des éclatements des cellules des fruits d'orangers en cours de maturation (ITAF, 1995b).

#### - **Pluviométrie**

Les besoins en eau des agrumes sont estimés à environ 1200 mm/an, répartis sur toute l'année (El Macane *et al.*, 2003). Toutefois, il est à noter qu'ils ne supportent pas les zones tropicales très humides (Hill, 2008).

#### - **Humidité**

Elle ne semble pas avoir un effet direct sur les agrumes eux-mêmes. En revanche, elle a des incidences sur le développement de certains parasites, la fumagine et les moisissures (Loussert, 1989). Néanmoins, elle peut affecter certains aspects physiologiques, tels que la photosynthèse (Khairi et Hall, 1976). Certains ravageurs comme les cochenilles peuvent proliférer en colonies importantes (Rebour, 1950).

#### - **Vent**

Dans la région soumise à des vents fréquents, les agrumes doivent être protégés par des rideaux brise-vents (Rebour, 1966) parce que l'action mécanique du vent peut provoquer des blessures sur les fruits par frottement ou par transport des grains de sable. De plus, le vent accroît les besoins en eau des plantes, augmentant très sensiblement l'évaporation potentielle (ITAF, 1995a).

### **I.1.3.2. Exigences pédologiques**

Selon Loussert (1989) et ITAF (1995c), l'obtention de bons rendements dépend de la nature du sol. Selon Deravel D'esclapon (1990), pour les agrumes, les terres à texture argilo-sablo-limoneuse avec un taux de calcaire compris entre 5 et 10%, et un pH idéal de 6,5 à 7 sont préférables.

Les agrumes sont particulièrement sensibles à l'hydromorphie. L'implantation de vergers se fait idéalement sur des sols filtrants, sans excès de calcaire et suffisamment riches en matière organique (Imbert *et al.*, 2006).



## I.1.4. Biologie des agrumes

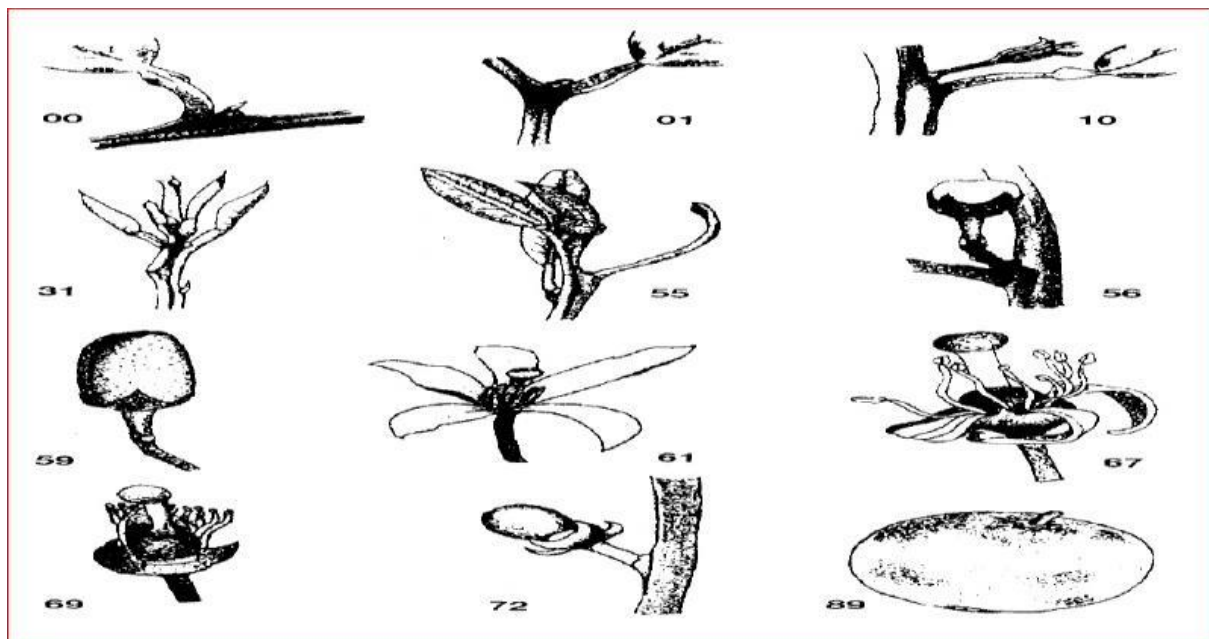
### I.1.4.1. Espèces et variétés des agrumes en Algérie

D'après Virbel-Alonso (2011), les variétés d'agrumes sont très nombreuses, car de nouveaux hybrides apparaissent régulièrement sur les marchés de l'agrumiculture des pays du bassin Méditerranéen.

En Algérie, le verger agrumicole est constitué de tous les groupes Citrus, avec une prédominance des oranges qui occupent à elles seules 73% de la surface agrumicole totale, suivies du groupe des clémentiniers avec 16% de la surface agrumicole, puis du groupe des citronniers avec 6,9%, des mandariniers avec un taux de 4%, et en dernière place, le groupe des pomelos avec 0,1% de la superficie totale (M.A.D.R., 2013).

### I.1.4.2. Stades phénologiques et développement des agrumes

D'après Meier (2001), les agrumes sont des arbres fruitiers à feuilles persistantes. Les différents stades phénologiques par lesquels passent les agrumes sont résumés dans l'échelle BBCH (figure 04).



**Figure 04:** Cycle phénologique des agrumes (Meier, 2001).

**Légende :**

**00** : Début de dormance : stade de dormance, **01** : Début du gonflement des bourgeons : stade développement des bourgeons, **10** : Séparation des premières feuilles : stade de développement des feuilles, **31** : Début de la croissance des pousses : stade développement des pousses, **55** : Les fleurs sont visibles mais encore fermées : stade d'apparition de l'inflorescence, **56** : Les pétales s'allongent les sépales entourent la moitié de la corolle (stade bouton blanc) : stade de développement de l'inflorescence, **59** : La plupart des fleurs avec des pétales formant une boule creuse : stade d'apparition de l'inflorescence, **61** : Début floraison (environ 10% des fleurs sont ouvertes) : stade de floraison, **67** : Les fleurs sont flétries (la majorité des pétales sont tombés) : stade de floraison, **69** : Fin floraison (tous les pétales sont tombés) : stade de floraison, **72** : Le fruit vert est entouré par les sépales en forme d'une couronne : stade de développement du fruit, **89** : Le fruit a atteint la maturité demandée pour la consommation avec son goût et sa consistance caractéristique : maturation du fruit et de la graine.



Vannière en 2012 rapporte que les différents stades phénologiques ont été établis en fonction de la saison (tableau 05). Le cycle de vie de ces arbres commence par une phase de repos, suivie d'un débourrement, où les bourgeons se développent et les feuilles se forment, suivies d'une floraison. La chute physiologique correspond à une phase naturelle de réduction de charge où l'arbre s'allège d'une partie de sa production et peut ainsi fournir des fruits de plus gros calibre Cassin, (1976).

**Tableau 05** : Schéma du cycle phénologique des agrumes non remontants (oranges, mandarines, pamplemousses et pomelos) en climat méditerranéen (Cassin, 1976).

Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin
Saison froide						Saison chaude						Saison froide					
			Floraison		Chute Physiol.	Croissance active du fruit			Récolte précoce		Récolte de saison			Récolte tardive			
Période de récolte selon variété																	
O. Hamlin (n-1)									Orange Hamlin								
	Orange Valencia (cycle n-1)										Orange Valencia late						

Selon Boukhobza (2016), la croissance végétative se manifeste sur les jeunes ramifications au cours des trois périodes suivantes :

- **La première pousse de sève au printemps (de la fin février au début mai)** : C'est la prédominante, elle est la plus importante, non seulement par le nombre et la longueur des rameaux émis, mais aussi par le fait qu'elle génère les pousses fructifères (boutons floraux, puis fleurs).
- **La pousse estivale (juillet-août)** : Elle est plus ou moins vigoureuse en fonction des températures, des irrigations et de la vigueur des arbres. En général, cette pousse est moins importante que les pousses de printemps et d'automne.
- **La pousse automnale (octobre-fin novembre)** : Elle assure le renouvellement des feuilles.

Ces trois pousses citées résultent de trois flux de sève qui régissent le développement végétatif de l'arbre. Ces flux se traduisent par une intense activité d'absorption au niveau du système racinaire et une intense activité de synthèse chlorophyllienne au niveau de la frondaison (Benoufla-Kitous, 2005).

En hiver, il n'y a pas d'entrée en dormance des arbres, mais simplement un ralentissement de leur activité végétative (Boudjamaa-Gamaz, 2021).

### I.1.4.3. Date de floraisons et de maturations des agrumes

D'après Jacquemond *et al.*, (2009), le stade de floraison, qui dure un mois et demi à deux mois, commence par le processus d'induction florale. Il évolue d'un état végétatif à un état reproducteur et se termine par la différenciation florale, marquée par la formation des ébauches florales à l'intérieur du bourgeon (tableau 06). Selon Praloran (1971), la maturation des agrumes est atteinte lorsque les fruits sont au stade de maturité optimal, et généralement, c'est à ce moment-là qu'ils sont cueillis.

**Tableau 06 :** Dates de floraison et de maturation de quelques variétés d'agrumes (Gauthier, 2008).

Divers	Floraison												Maturité											
	Mois												Mois											
Variété	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Citronnier 4 saisons																								
Citronnier 4 saisons																								
Clémentinier																								
Kumquat																								
Mandarinier																								
Oranger																								
Pamplemoussier																								
Calamondin																								

## I.2. Maladies et ravageurs des agrumes

Les agrumes, de par leur diversité, sont sujets à plusieurs types de maladies physiologiques et parasitaires occasionnées par des virus, viroïdes, phytoplasmes, ou d'autres procaryotes endocellulaires (Aubert et Vullin, 1997).

Plusieurs cas de ces maladies graves provoqués par les viroses paraissent occuper le premier plan par leur gravité et leur impact économique.

Roistacher (1995) rapporte que les agrumes sont les plus affectés par les agents transmissibles qui entraînent la mort de l'arbre. Dans le cas des variétés et des associations tolérantes, ces affections passent inaperçues (Praloran, 1971). Cependant, elles entraînent parfois un important ralentissement de la végétation et une diminution des rendements (Roistacher, 1995). Parmi les maladies graves dévastatrices des vergers agrumicoles à travers le monde sont la Tristeza et le greening « Huanglongbing » (Bové, 2006). Ces deux maladies virales sont transmises par des insectes vecteurs. L'agent du greening « Liberibacter » n'a pas été signalé dans la région méditerranéenne (OEPP/CABI, 1996).

### I.2.1. Maladies fongiques

Les principales maladies fongiques des agrumes sont la phéoamulariose, la tavelure et la gommose (Tableau 07). Les dommages causés par ces maladies peuvent être considérés comme importants en fonction de leur effet sur la durée de vie des arbres ou des pertes de production causées par l'atteinte des jeunes feuilles, branches et fruits (Agagna, 2016). Elles peuvent être provoquées par au moins un des trois agents pathogènes des genres *Elsinoe* et *Sphaceloma*. Les pertes majeures commencent dans la pépinière et se propagent jusqu'à ce que l'arbre atteigne la production. Toutes les parties de la plante peuvent être attaquées, mais comme ce parasite reste dans le sol, les organes souterrains et les cimes des arbres sont plus sensibles (Golda, 2011).

**Tableau 07** : Les principales maladies fongiques d'agrumes (Agagna, 2016).

Maladies	Pathogène	Symptômes
Gommose (pourriture des racines)	<i>Phytophthora</i>	Dépérissement de l'arbre, jaunissement des feuilles, mise à fruit anarchique et chancre gommeux à la base du tronc
Pourridiés	<i>Armillaria mellea</i>	Dépérissement brutal de l'arbre, sous l'écorce des racines et dans le sol présence d'un réseau de filaments d'aspect cotonneux d'abord blanchâtres puis bruns.
Greasy spot	<i>Mycosphaerella citri</i>	Taches d'aspect grasseux brun foncé surtout visible sur la face inférieure du limbe.
Trachéomycose	<i>Deuterothoma</i>	Dessèchement des extrémités des branches et défoliation partielle.

### I.2.2. Maladies bactériennes

Parmi toutes les maladies bactériennes touchant les agrumes, citons principalement celles qui affectent majoritairement la région méditerranéenne, propice à cette culture.

**-La galle** : L'infection provoque un petit gonflement d'un côté de la feuille et une dépression de l'autre côté ; puis des pustules brunes apparaissent sur la peau des fruits, qui se transforment en bouchons provoqués par *Elsinoe fawcetti* (ACTA, 2008).

**-Les tâches noires** : Causées par *Guignardia citricarpa*, elles affectent les feuilles et les fruits. Les symptômes de cette maladie ne sont pas visibles à l'œil nu, rendant le fruit invendable (Bounouira, 2020).

**-Citrus canker (le chancre citrique)**: Aussi appelé chancre bactérien des agrumes ou chancre asiatique des agrumes. Les symptômes de cette maladie, selon Bové (2006), sont causés par *Xanthomonas axonopodis Citri*. Le pied d'agrumes devient moins vigoureux, et les fruits sont moins beaux s'ils ne tombent pas prématurément avec les feuilles. Les importations d'agrumes depuis l'Asie contribuent à la propagation de la bactérie.

- **Citrus greening** : La maladie du dragon jaune, également appelée Huang Long Bing (HLB), verdissement des agrumes, greening ou encore maladie des pousses jaunes, est une maladie bactérienne. Des insectes-piqueurs porteurs de bactéries issues de *Candidatus liberibacter spp.* infestent la plante, bloquant la circulation de la sève ; les feuilles jaunissent, les fruits deviennent difformes et restent verts, et l'arbuste finit par mourir sans possibilité de traitement (Guellier, 2021).

### I.2.3. Maladies virales

Les dommages causés par des maladies virales (Tableau 08), telles que le psoriasis et la tristéza, sont fréquents, surtout dans les vieilles plantations (Agagna, 2016).

**Tableau 08** : Les principales maladies virales d'agrumes (Agagna, 2016).

Maladies	Virus	Symptômes	Lutte
Virales	<i>Citivirus vialoris</i>	Desquamation de l'écorce sur une partie du tronc et des branches.	La maîtrise de ces maladies passe par l'obtention de matériel sain et par l'utilisation d'association porte greffe/greffon compatible et de variétés résistantes, pas de lutte chimique.
		Apparition d'échancrure et d'invagination plus ou moins profondes.	
		Réaction d'incompatibilité au niveau de la greffe plus ou moins important de l'arbre	
		Tous ces symptômes ne sont pas visibles en même temps et sont en général longs à maintenir	
		Psorose écailleuse	
		Psorose olvéolaire	
		Psorose en poche	
Exocortis			
Cachexie			
Xyloporose			
Tristéza			

### I.2.4. Ravageurs des agrumes

Les principaux ravageurs des agrumes sont les mouches des fruits (*Diptera* et *Tephritidae*), les thrips (*Scirtothrips spp.*), les cochenilles (*Aonidiella spp.* *Unapsis spp.*), les pucerons (*Aphis gossypii* et *Toxoptera citricida*), les aleurodes (*Diaphorina citri*, *Trysoza erytrae*) (Tableau 09). Ils causent différents types de dommages aux plantes. Certains se nourrissent de la plante, provoquant des déformations des feuilles et des fruits (pucerons, cochenilles, psylles) ; d'autres sécrètent des substances toxiques pour les plantes ou peuvent attirer les fourmis et provoquer la fumagine. Ils sont également vecteurs de maladies virales transmises par des pucerons, comme le Tristéza (*Citrus Tristéza cloterovirus*) (Golda, 2011). Les ravageurs sont appelés également des organismes animaux qui s'attaquent aux cultures et aux produits stockés, causant des dommages économiques aux dépens des agriculteurs (xylophages) soit par un mode de vie parasitaire, soit indirectement s'ils sont vecteurs de maladies virales (Chapot et Vittorio, 1996). **Tableau 09** : Les principaux ravageurs des agrumes (Biche, 2012).

Ravageurs	Nom scientifique	Nom commun	Dégâts
<b>Insectes</b>	<i>Aonidiella aurantii</i>	Poux de Californie	Attaquent les feuilles, les rameaux et les fruits. Développement de la fumagine, chute des feuilles et dépérissement des fruits
	<i>Lepidosaphes beckii</i>	La cochenille moule	
	<i>Lepidosaphes glowerit</i>	La cochenille virgule	
	<i>Chrysomphalus dictyospermi</i>	Poux rouge de Californie	
	<i>Parlatoria ziziphi</i>	Poux noir de l'oranger	
	<i>Parlatoria pergandei</i>	Cochenille blanche	
	<i>Icerya pushasi</i>	La cochenille australienne	
	<i>Coccus hesperidum</i>	Cochenille plate	
	<i>Ceroplastes sinensis</i>	Cochenille chinoise	
	<i>Pseudococcus citri</i>	La cochenille farineuse	
	<i>Aphis sprtaecola</i>	Puceron vert des citrus	Avortement des fleurs et déformation des très jeunes feuilles. Développement d'abondantes colonies de pucerons sur les parties jeunes des arbres
	<i>Aphis gossypit</i>	Puceron vert du cotonnier	
	<i>Toxoptera aurantii</i>	Puceron noir des agrumes	
	<i>Myzus persicae</i>	Puceron vert du pêcher	
<i>Aleurothrixus floccosus</i>	L'aleurode floconneux	Provoque des souillures importantes ainsi que le développement de la fumagine	
<i>Dialeurodes citri</i>	L'aleurode des citrus	Provoque des nuisances et développe de la fumagine	
<i>Phyllocnistis citrella</i>	Mineuse des agrumes	Attaque les feuilles et les jeunes pousses	
<i>Ceratitis capitata</i>	Mouche méditerranéenne des fruits	Provoque la pourriture des fruits	
<b>Nématodes</b>	<i>Tylenchulus semipenetrans</i>	Nématode des agrumes	Croissance ralentie des arbres. Pas de symptômes spécifiques de cette espèce
<b>Acariens</b>	<i>Tetranychus cinnabarinus</i>	Acarien tisserand	Provoque des nécroses. Décoloration et chute des feuilles, des fruits et des bourgeons.
	<i>Hemitarsonne muslatus</i>	Acarien ravisseur	
	<i>Aceria sheldoni</i>	Acarien des bourgeons	

### I.3. Pucerons et moyens de lutte biologique

#### I.3.1. Taxonomie des pucerons

Selon Bouhadiba (2014) et Mohammedi – Boubekka, (2015), la classification des pucerons des agrumes est illustrée dans le tableau 10 ci-dessous :


**Tableau 10** : La classification des aphides.

<b>Super ordre</b>	<i>Hémiptéroïdes</i>
<b>Ordre</b>	<i>Hémiptères</i>
<b>Super famille</b>	<i>Aphidoïdea</i>
<b>Famille</b>	<i>Aphididae</i>
<b>Sous famille</b>	<i>Aphidinae</i>
<b>Tribu</b>	<i>Aphidini</i>
<b>Genre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Aphis</i>,</li> <li>- <i>Toxoptera</i>,</li> <li>- <i>Myzus</i></li> </ul>

Plusieurs espèces de pucerons peuvent attaquer les agrumes et des différences se manifestent en fonction des conditions environnementales. Cependant, Il existe un certain nombre (Tableau 11) qui sont répons dans le bassin méditerranéen.



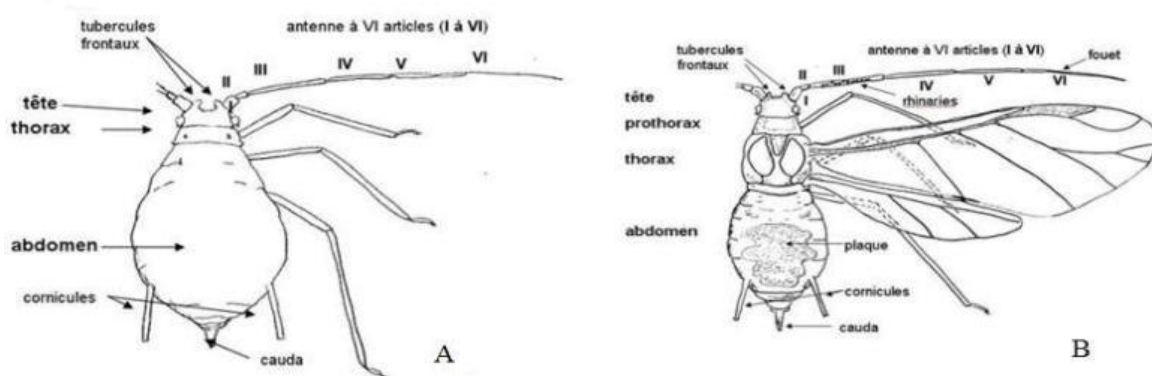
**Tableau 11** : Espèces d'Aphides dans le bassin méditerranéen (Turpeau-Ait Ighil et al., 2023 ).

Puceron	Caractéristiques	Figureure
<i>Aphis spiraecola</i>	<p>Les femelles ailées, mesurent 1,8 mm de long, avec la tête, le thorax et les cornicules bruns, mais l'abdomen est du même vert que les feuilles tendres des agrumes.</p> <p>Les femelles aptères, longues de 1,5 mm, sont complètement vertes, sauf la tête, brunâtre, et les cornicules brunes</p>	
<i>Toxoptera aurantii</i>	<p>L'adulte de couleur brun-noirâtre à noir, avec des cornicules et une cauda noires.</p> <p>Les ailés : sont caractérisées par leur nervure médiane qui se bifurque d'ordinaire une seule fois. Ce puceron mesure environ 3 mm de long</p>	
<i>Aphis gossypii glover</i>	<p>Il est à 1,2 à 2,2 mm.de longueur</p> <p>Aptères : jaunâtre à vert sombre, cornicules très foncées et cauda plus pâle.</p> <p>Ailés : vert à vert foncé, antennes de la longueur du corps, cornicules noires, cauda plus claire.</p>	
<i>Toxoptera citricidus</i>	<p>munis de cornicules et d'une cauda. pattes sont beiges et genoux sont noirs. La taille des pucerons adultes varie de 1 à 3 mm de longueur.</p>	
<i>Aphis fabae</i>	<p>Il est à 1,5 à 2,6 mm.</p> <p>Aptère : noir mat à verdâtre, les nymphes sont identifiables avec trois paires de taches blanches cireuses sur l'abdomen.</p> <p>Ailé : sombre, antennes courtes, cornicules courtes et noires, cauda courte et noire.</p>	
<i>Aphis nerii</i>	<p>1,5 à 2,6 mm de long.</p> <p>Aptère : jaune pâle à jaune doré, avec des cornicules droites et noires, cauda courte et noire.</p> <p>Ailé : jaune avec des cornicules droites et noires et une cauda noire.</p>	
<i>Myzus persicae</i>	<p>Il est à 1,2 à 2,5 mm.</p> <p>Aptère : vert pâle à vert jaunâtre, tubercules frontaux convergents, cornicules très légèrement renflées, assez longues et bien définis.</p> <p>Ailé : vert clair avec une plaque sombre sur l'abdomen échancrée latéralement et perforée, tubercules frontaux proéminents et convergents, ses antennes sont longues et pigmentées.</p>	

### I.3.2. Caractéristiques des pucerons

#### I.3.2.1. Caractéristiques morphologiques des pucerons

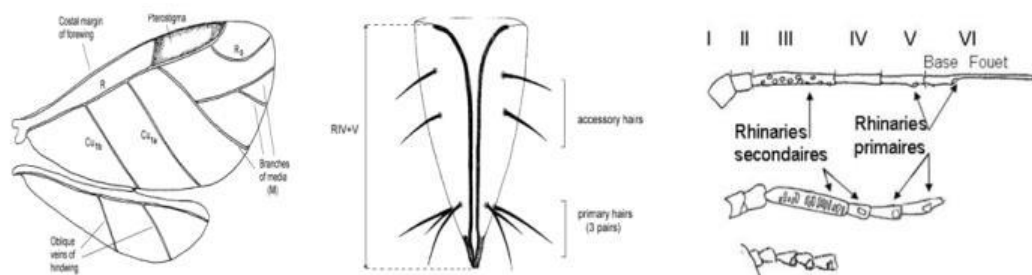
Les pucerons sont de petite taille, mesurant entre 1 et 10 mm (Dixon, 2012 ; Sullivan, 2008), mais la majorité des espèces ne dépassent pas les 3,5 mm de longueur (Blackman and Eastop, 1984). Le corps est généralement de forme ovale, comprenant une tête immobile possédant une paire d'antennes, des yeux composés et un rostre qui est composé de stylets grâce auxquels le puceron perce le mésophylle de la feuille pour atteindre les vaisseaux du phloème de la plante (Agarwala, 2007). Le thorax comprend trois paires de pattes et des ailes chez la forme ailée (Figure. 05) ; l'abdomen peut avoir une forme variable (allongée à ronde), une coloration variable (pigmentation claire ou foncée), se terminant par une cauda (queue) qui prend des formes et des couleurs différentes en fonction de l'espèce. L'abdomen porte en général une paire de cornicules dont la longueur, la forme, la couleur et l'ornementation varient en fonction de l'espèce (Hullé, 1998 ; Turpeau-Ait Ighil *et al.*, 2011 ; Vilcinskis, 2016).



**Figure 05 :** Morphologie d'un puceron aptère (A) et ailé (B) (Turpeau –Ait ighil *et al.*, 2015).

#### I.3.2.2. Quelques critères d'identification des pucerons des agrumes.

Généralement, pour déterminer les espèces des aphides qui causent des dégâts sur les agrumes, Blackman et Eastop en 2006 (annexe 02) s'appuient sur trois parties morphologiques de l'insecte aptère et ailé relativement précis à savoir : les ailes, les antennes et le cauda (Figure 06)



**Figure 06 :** morphologie de l'aile (A), cauda (B) et l'antenne (C) : base d'identification des pucerons (Blackman et Eastop 2006)

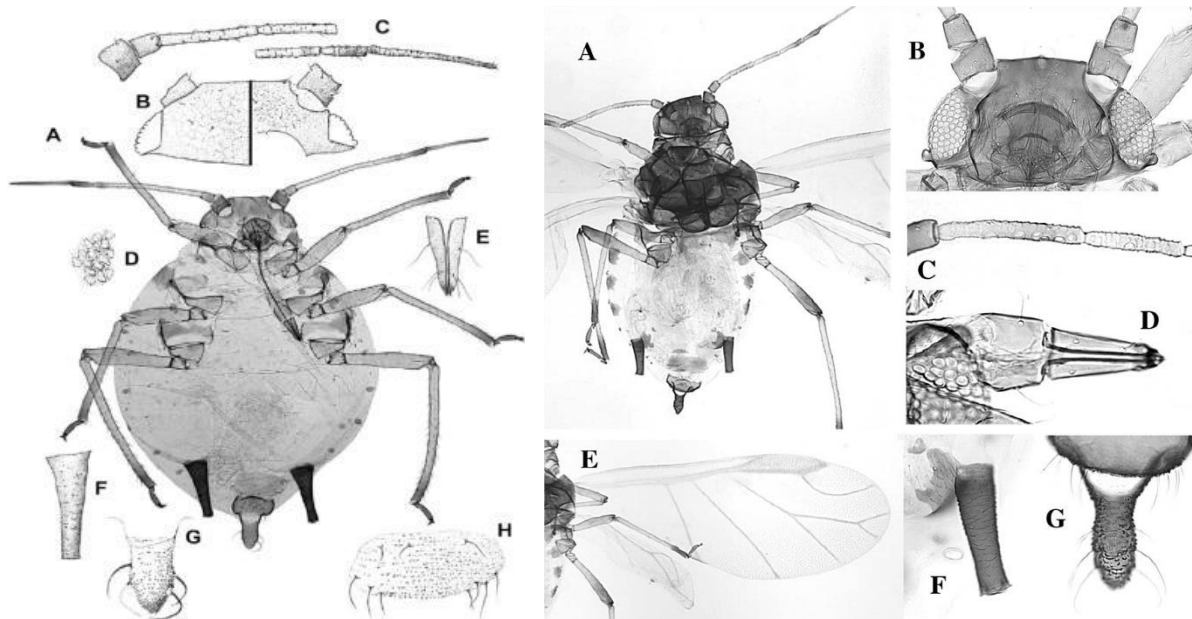


Les critères de la clé de détermination utilisée dans la détermination des espèces

- La forme, la couleur et la longueur du corps.
- La forme du front et des tubercules frontaux.
- La forme et la longueur des antennes.
- La forme et le nombre d'articles antennaires.
- Le nombre des sensorias primaires et secondaires sur les antennes.
- La longueur du processus terminale.
- La nervation des ailes spécialement la nervure médiane et la bifurcation.
- La forme et la longueur des cornicules.
- La forme de la queue et le nombre des soies caudales.
- La présence de taches et de plaques de cire.

Parfois des caractéristiques biologiques ou comportementales des aphides, ainsi que la plante hôte complètent ces caractères morphologiques

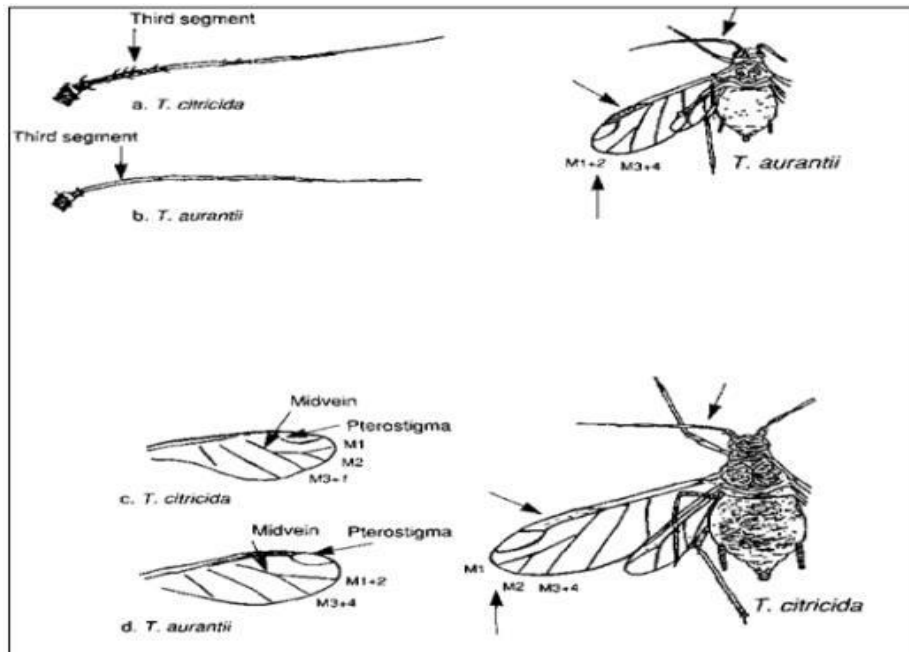
Les caractéristiques de différentes parties des différents Aphis les plus réponsés dans les vergers d'agrumes algériens sont illustrées dans les figures 07 et 08.



*Aphis gossypii*. A, Entire specimen. B, Head (left half-dorsal, right half ventral). C, Antenna. D, Thoracic reticulation. E, Ultimate rostral segments. F, Siphunculus. G, Cauda, (dashes represent likely position of broken seta). H, Genital plate ( Favret & Miller 2011)

*Aphis spiraecola* alate. A body, B head, C antennal segment III and IV, D rostral segments IV and V, E wings, F siphunculus, G cauda. Fig. 23. *Aphis spiraecola* alado. A cuerpo, B cabeza, C segmento antenal III y IV, D segmentos rostrales IV y V, E alas, F sifunculo, G cauda, (Turpeau et al 2020).

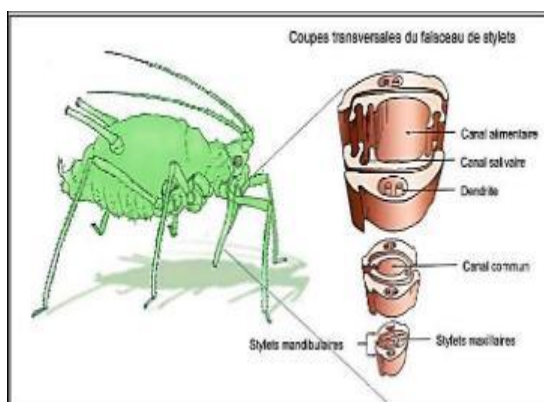
**Figure 07 :** Caractéristiques photomicrographie de la morphologie des différentes parties d'identification de *A. Gossypii* Glover et *A. Spiraecola* Patch



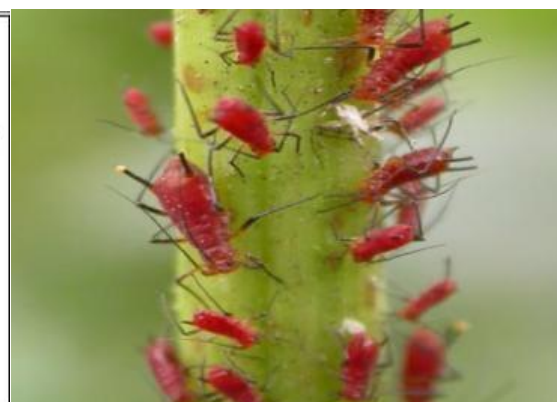
**Figure 08 :** Caractéristiques de l'aile antérieure et antennes de *T. Citricida* et *T. Aurantii* (Afechtal 2012)

### I.3.2.3. Caractéristiques nutritionnelles et régime alimentaire des pucerons

Les pucerons sont complètement dépendants de leur plante hôte car ce sont tous des phloémophages (Dedryver *et al.*, 2010). Ce sont des insectes piqueurs-suceurs (Harmel *et al.*, 2010). Dixon (2012) rapporte qu'ils se nourrissent de la sève du phloème en utilisant leurs stylets qui percent les parois de la plante et pénètrent les tissus jusqu'aux vaisseaux, puis ingèrent la sève (Figures.09 et 10). Les pucerons ont la capacité de nuire à la défense et à la nutrition de la plante en causant des dommages directs (spoliation) ou indirects par la transmission de virus (Field *et al.*, 2017). Ils rejettent un liquide sucré appelé le miellat (Sauvion, 1995 ; Turpeau *et al.*, 2023).



**Figure.09 :** Détail des pièces buccales des pucerons



**Figure. 10 :** Mode alimentaires des pucerons (Brault *et al.*, 2007).

### **I.3.2.4. Caractéristiques biologiques des pucerons**

Les pucerons sont hémimétaboles, les œufs sont minuscules, à peu près sphériques. Habituellement gris foncé ou noir, ils mesurent environ 0,5 à 1 mm de long et sont pondus en groupe ou isolément selon les espèces (Sutherland, 2006). Les différents stades larvaires ressemblent aux adultes aptères mais de petite taille, et certains caractères sont parfois moins prononcés (F.R.E.D.O.N, 2008).

#### **- I.3.2.4.1. Reproduction chez les pucerons**

Les pucerons sont dotés d'une capacité de multiplication très élevée : 40 à 100 descendants au stade L1 (1er stade larvaire) par femelle, ce qui équivaut à 3 à 10 pucerons par jour pendant plusieurs semaines (F.R.E.D.O.N, 2008).

Selon Benoit (2006), une femelle aphide (comme le puceron vert du pêcher ou le puceron cendré du chou) est capable d'engendrer jusqu'à 30 à 70 larves.

#### **- I.3.2.4.2. Cycle évolutif**

Le cycle de vie d'un puceron est complexe et varie selon les espèces et la saison, alternant entre des formes ailées et aptères, sexuelles ou parthénogénétiques (femelles vivipares ou ovipares) (Vilcinskas, 2016). La complexité du cycle de vie des pucerons, avec l'alternance entre générations parthénogénétiques et d'autres sexuées, est probablement due à une adaptation aux changements saisonniers et à l'approvisionnement alimentaire (Michalik *et al.*, 2013).

Les pucerons ont deux cycles de vie (Figure. 11). Le premier ancêtre est dit holocyclique : De la fin de l'hiver à la fin de l'été, les colonies de pucerons sont constituées exclusivement de femelles parthénogénétiques ( $2n$ ) produisant des descendants femelles diploïdes qui sont des clones de la mère, sans fécondation. Durant cette phase, la taille des colonies augmente de façon extrêmement rapide, puisqu'une femelle est en âge de se reproduire en moins de 15 jours après quatre stades larvaires. Ce mode de reproduction explique en grande partie la nuisibilité de ces insectes (Navasse, 2016). À la fin de l'été, apparaissent des femelles sexupares. Autrement dit, elles produisent des mâles et des femelles fertiles. Ces nouveaux mâles et femelles fertiles se reproduisent par fécondation à l'automne. Les femelles fertiles pondent leurs œufs au début de l'hiver. L'éclosion des œufs donne naissance à des femelles dites fondatrices qui sont généralement aptères et qui engendrent plusieurs générations parthénogénétiques appelées fondatrigènes (Hardie, 2017). Ce type de cycle est appelé cycle complet ou holocyclie, qu'il soit monoecique ou hétéroecique (Michalik *et al.*, 2013).

Le deuxième cycle, plus simplifié, est appelé anholocyclique : Il n'y a pas de partie de reproduction sexuée. Les pucerons ne se reproduisent que par parthénogénèse tout au long de l'année. La plupart des espèces de pucerons ont une partie de la population entièrement cyclique et une autre partie non entièrement cyclique (Ferey et Buisset, 2014). La capacité des pucerons à produire des individus ailés sous l'effet d'une surpopulation, de la détérioration de la qualité alimentaire de la plante hôte ou d'autres facteurs permet à ces insectes de quitter la plante hôte pour assurer leur alimentation (Agarwala et Das, 2012).

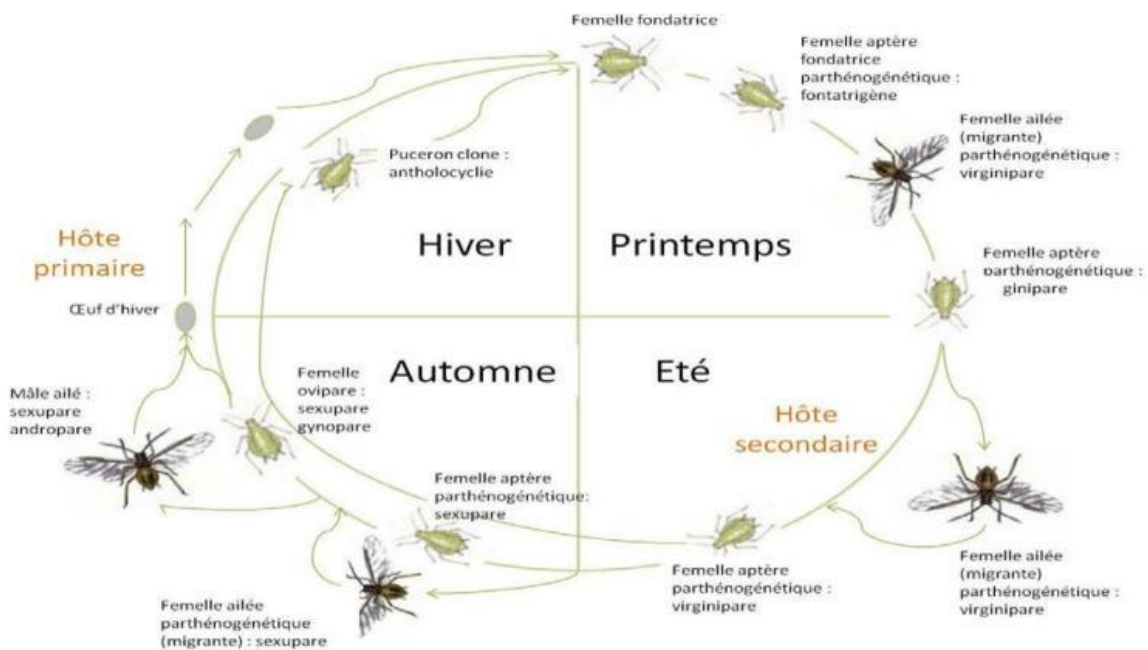


Figure 11 : Cycle biologique des pucerons (Dewey, 2004)

### I.3.2.5. Caractéristiques écologiques des pucerons

#### - I.3.2.5.1. Température

D'après Dajoz (2003), la température est un facteur climatique qui détermine la physiologie et le comportement des insectes. Elle influence la plupart des processus physiologiques (Chown & Nicolson, 2004) et représente un facteur dominant affectant les phytophages (Bale *et al.*, 2002). Les réponses des pucerons à la température sont semblables à celles d'autres insectes (Awmack et Leather, 2007). Chez les aphides, la température détermine la durée de vie reproductive, la durée de vie totale et la fécondité des femelles (Melaku *et al.*, 1990 ; Collier et Finch, 2007). Il a également été démontré que les températures hivernales et printanières déterminent la date et l'importance de l'infestation des cultures par les ailés émigrants au printemps (Harrington *et al.*, 2007). Par ailleurs, la température de l'hiver est un

facteur dominant qui affecte la phénologie de certaines espèces de pucerons (Zhou *et al.*, 1995).

De plus, les températures automnales basses sont responsables de la formation des femelles sexuées (Dixon 2010). En revanche, les températures élevées peuvent conduire à l'inhibition de la formation des pucerons mâles (Lees, 1959). En outre, la température de l'air a des effets marquants sur l'activité des pucerons vecteurs des virus, ainsi que sur le développement des plantes hôtes des virus (Katis *et al.*, 2007).

#### - **I.3.2.5.2. Pluviométrie, humidité et vent**

La quantité des précipitations et leur répartition au cours de l'année ont une grande importance pour les végétaux et leurs bioagresseurs. Les fortes pluies peuvent réduire les populations aphidiennes et la propagation des phytovirus (Katis *et al.*, 2007). De plus, les variations des précipitations sont corrélées avec l'abondance de certaines espèces aphidiennes (Li et Harris, 2001 ; Stack Whitney *et al.*, 2016).

D'après Lebbal (2017), l'humidité relative de l'air est moins déterminante pour la biologie des aphides comparativement à la température. À une certaine limite, elle agit sur la fécondité (Leather, 1985) et le vol des pucerons (Zhang *et al.*, 2008). En outre, elle peut affecter indirectement leurs pullulations, car elle favorise le développement des champignons entomopathogènes (Völkl *et al.*, 2007).

Le vent a une importance aussi bien pour les plantes que pour les ravageurs (Belloum, 1992). Les mouvements de l'air peuvent déterminer la trajectoire de déplacement des petits insectes (Schowalter, 2006), y compris les aphides (Tamaki & Smith, 1972). Les pucerons sont parmi les insectes qui se laissent transporter par le vent sur de longues distances. Ils peuvent parcourir jusqu'à 2,7 km par heure (Pettersson *et al.*, 2007). Cependant, les ailés retardent leurs premiers vols lorsque la vitesse du vent est élevée (Irwin *et al.*, 2007), et par conséquent, la transmission des phytovirus sera affectée (Katis *et al.*, 2007).

### **I.2.3. Dégâts causés par les pucerons**

Les dégâts causés sont de deux types :

#### **I.3.3.1. Dégâts directs**

Affaiblissement de la plante par la spoliation de sève élaborée dont les pucerons se nourrissent et qui entraîne l'enroulement des feuilles, une croissance réduite, une mauvaise fructification et/ou des effets toxiques dus à l'injection de salive provoquant la production de galles, la déformation et la décoloration des tissus végétaux (Dedryver *et al.*, 2010).

### **I.3.3.2. Dégâts indirects**

Ils sont principalement dus à la transmission de virus et au développement d'un champignon saprophyte.

#### **- I.3.3.2.1. Miellat et fumagine**

Les produits non assimilés de la digestion de la sève, riches en sucre, sont éjectés sur la plante sous forme de miellat (Tanya, 2002). Cette substance peut contrarier l'activité photosynthétique de la plante, soit directement en bouchant les stomates (M.A.P.A., 2007), soit indirectement en favorisant le développement de champignons saprophytes.

Ces champignons provoquent des fumagines qui entravent la respiration et l'assimilation chlorophyllienne ou souillent les parties consommables (fruits par exemple) et les rendent ainsi impropres à la commercialisation (Tanya, 2002).

#### **- I.3.3.2.2. Transmission de virus**

Les pucerons occupent un rôle de premier plan dans la dissémination des maladies virales, tant par le nombre de virus qu'ils sont susceptibles de transmettre que par le nombre d'espèces impliquées. Près de 200 espèces d'aphides ont été reconnues vectrices. L'une d'entre elles, *Myzus persicae*, est capable, à elle seule, de transmettre plus de 120 maladies. Dans le cas des maladies virales, seuls quelques individus suffiront pour entraîner des dégâts irréversibles (Remaudière, 1997; Hull, 2002). *Toxoptera citricida* transmet le virus de la Tristesa qui était responsable de la perte de sept millions d'arbres d'oranger au Brésil (Eastop, 1977), et Starý (1967) rapporte que plus de 15 millions d'arbres d'agrumes ont été détruits par ce même virus en Amérique du Sud.

### **I.3.4. Moyens de lutte biologique contre les aphides**

La lutte biologique consiste en l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour lutter contre les organismes nuisibles à la production végétale. Son efficacité a été prouvée avec certains insectes tels que *Coccinella septempunctata* L. ou *Chrysoperla carnea* Stephen, ainsi qu'avec des champignons entomopathogènes et les biopesticides, les outils biotechniques et la lutte autocide. Cette méthode est respectueuse de l'environnement (Aboussaid *et al.*, 2007).

Depuis l'émergence de preuves d'impacts négatifs de produits chimiques synthétiques sur l'environnement et de problèmes de toxicité pour les mammifères, les options biologiques sont redevenues intéressantes. Les biopesticides suscitent un regain d'intérêt à mesure que la pression sur les méthodes de lutte chimique augmente (Nollet et Singh Rathore, 2015). Le nombre de biopesticides qui concurrencent les pesticides synthétiques actuels est relativement faible, mais la tendance est à l'augmentation. Selon Nollet et Singh Rathore (2015), plus de 1400 produits décrits comme des biopesticides sont vendus dans le monde

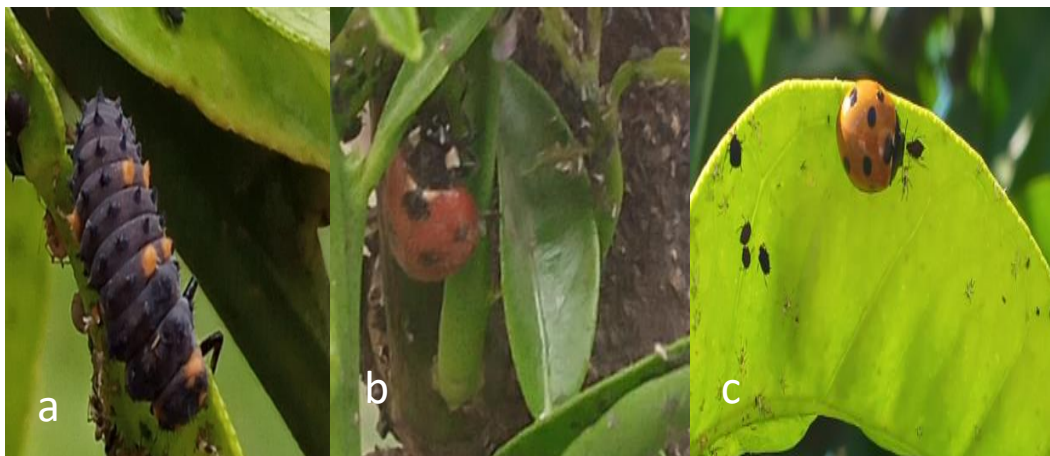
### I.3.4.1. Entomophages

#### - I.3.4.1.1. Prédateurs

Les prédateurs de pucerons se nourrissent de leurs proies et exercent ainsi une pression plus directe sur les populations (Hance *et al.*, 2017). Ils appartiennent à différents ordres et familles, dont les plus importants sont les Coléoptères (*Coccinellidae*), les Diptères (*Syrphidae*), les Neuroptères (*Chrysopidae*), les Dermaptères et les Hémiptères (Turpeau-Ait Ighil *et al.*, 2018a). Chez certaines familles comme les *Coccinellidae*, les formes larvaires et adultes sont prédatrices, tandis que chez d'autres comme les *Syrphidae*, *Cecidomyiidae* et *Chrysopidae*, seules les larves le sont (Brodeur *et al.*, 2017).

#### a) *Coccinellidae*

Les coccinelles sont très variables (figure.12), 65% sont aphidiphages. Elles développent généralement qu'une génération par an, le stade larvaire dure un mois (Bouhroua, 1987 ; Maameri, 2013). En cas de forte attaque de pucerons, la coccinelle ne s'adapte pas. En revanche, elle est précoce au printemps et donc capable de combattre efficacement les premières pullulations de pucerons (Bakroun, 2012).



**Figure 12 :** (a et b) larve et adulte de *Coccinella septempunctata*. (c) adulte de *coccinella algerica* (photos originales 2022)

#### b) *Cecidomyiidae* (*Aphidoletes aphidimyza*)

Les adultes chez ces espèces se nourrissent de pollen. Leur corps est fin. Ce sont de petites mouches de 2,5 mm (Bakroun, 2012). Les larves sont efficaces en été et à l'automne. Elles sont rouges et assez difficiles à voir (Figure 13). Leur développement larvaire est de 3 à 6 jours. Une larve du genre *Aphidoletes* peut consommer de 7 à 20 pucerons par jour (Ronzon, 2006).

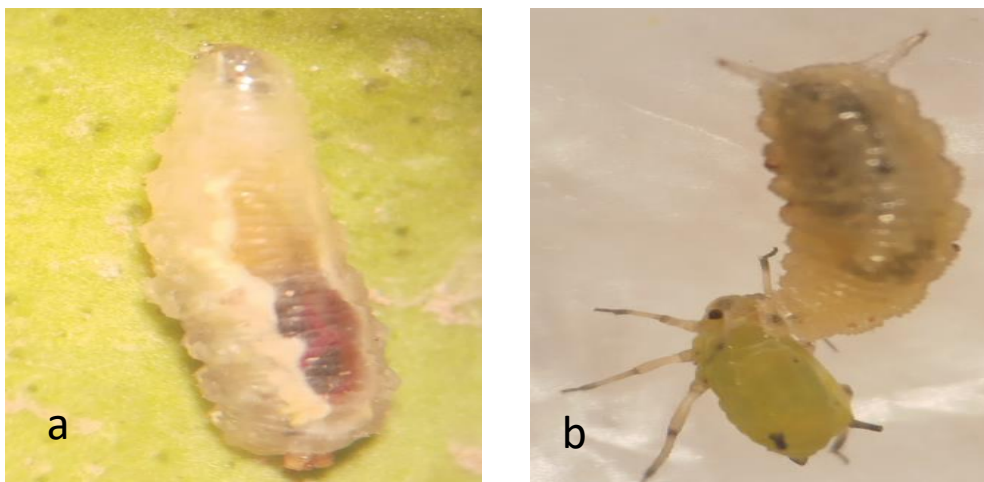




**Figure 13 :** Larves d'*Aphidoletes aphidimyza* (photo originale 2022).

### c) Syrphes (*Episyrphus balteatus*)

Les adultes se nourrissent de pollen et de nectar. Leur corps est souvent rayé de jaune et noir, ressemblant à de petites guêpes (Figure 14) (Bignon, 2008). Les syrphes se reconnaissent facilement à leur vol stationnaire et rapide. La voracité larvaire est de l'ordre de 500 pucerons en seulement 10 à 12 jours. Le bagage enzymatique de la larve est particulièrement riche, ce qui lui permet d'affronter des espèces de pucerons très diverses (Sarhou, 2006).



(a) Larve

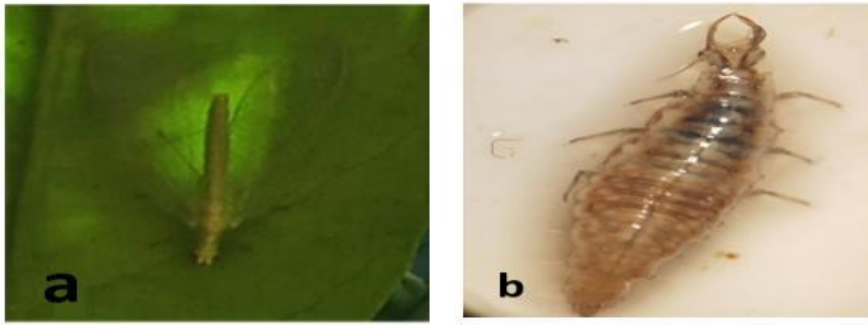
(b) Larve attaquant le puceron

**Figure 14 :** Larves d'*Episyrphus balteatus* (photos originales de 2022).

### d) Chrysopes

L'espèce la plus fréquente est la chrysope verte commune *Chrysoperla carnea* (Figure15). Elle est considérée comme la plus efficace et elle est largement utilisée en lutte biologique en Europe et en Amérique du nord (Tauber *et al.*, 2000 ; Capinera, 2008).





**Figure 15 :** (a) adulte (b) Larve *Chrysoperla carnea* (photo originale de 2022).

#### e) Arachnides

- **Les acariens :** Les acariens prédateurs sont de la famille des Phytoséiidae, appelés également «Typhlodrome». Leur corps est en forme de poire et une coloration qui varie de blanc jaunâtre à rougeâtre selon les espèces ou selon leur nourriture. Les acariens sont souvent utilisés en lutte biologique (*Neoseiulus californicus* et *Phytoseiulus persimilis*) (Ronzon, 2006).

- **Araignées :** Ils chassent ou fabriquent un piège. Leur rôle exact dans la lutte antiparasitaire n'est pas bien connu (Grauby, 2023).

- **Les opilions :** Ils ne produisent pas de soie. Ils sont généralement nocturnes et se nourrissent de petits animaux vivants ou morts (Ronzon, 2006).

#### - I.3.4.1.2. Parasitoïdes

Les parasitoïdes se distinguent des prédateurs par leur phase de vie libre : œufs, larves et nymphes sont parasites, l'individu adulte est libre (Bignon, 2008).

Ils appartiennent à deux ordres d'insectes : les Diptères, comprenant les familles *Bombylidae* et *Tachinidae*, ainsi que des Hyménoptères (*Ichneumonidae*, *Chalcidoidea*, *Serphoidea*, *Braconidae*) (Boualem *et al.*, 2014).

Les Hyménoptères parasitoïdes forment un groupe très vaste et très diversifié avec près de 200 000 espèces décrites (Hassel et Waage, 1984).

Les Diptères déposent les œufs sur les feuilles et sont ingérés par l'hôte (Bouhroua, 1987 ; Maameri, 2013). Ce sont des insectes holométaboles qui se développent dans leurs hôtes (*endoparasitoïdes*) ou sur eux (*ectoparasitoïdes*) (Hare et Wesloh, 2009).

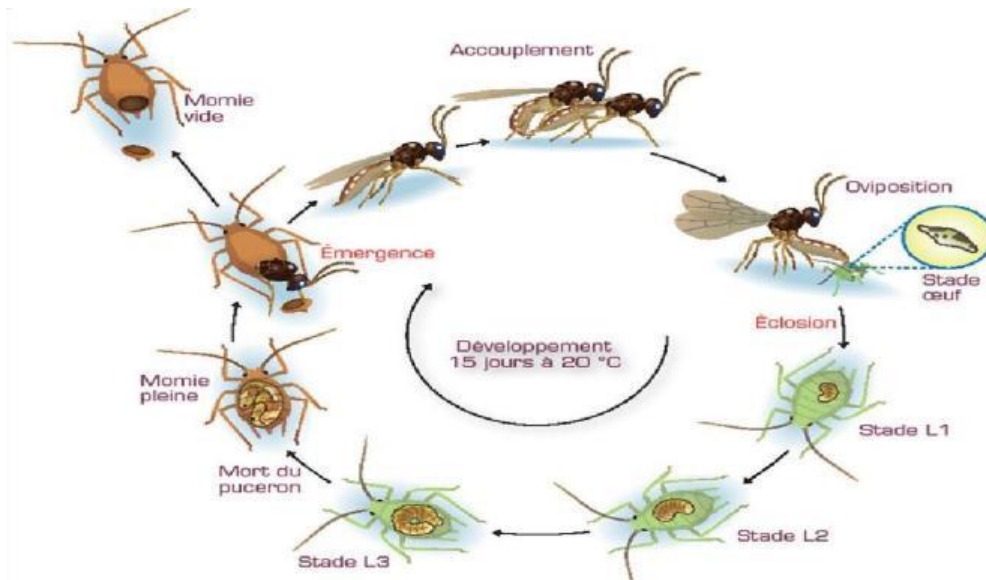
Ils tuent leur hôte et déposent leurs œufs sur ou dans le cadavre de celui-ci, donc ils se développent sur un hôte paralysé ou mort, ce sont donc des parasites polyphages (figure 16). Ils sont généralement des *endoparasitoïdes* (Debras, 2007).

Les hyménoptères ont quatre ailes transparentes. Leurs pièces buccales sont de type broyeur ou de type lécheur avec des mandibules toujours fonctionnelles. Ils ont une

métamorphose complète. De nombreuses espèces sont carnivores à l'état larvaire et nectarivores à l'état adulte (Villemant, 2006).

Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons se répartissent en deux catégories : les parasitoïdes primaires et les hyperparasitoïdes (parasitoïdes secondaires). Les parasitoïdes primaires comprennent deux familles : les *Aphelinidae* et les *Braconidae*. Les hyperparasitoïdes se répartissent en cinq familles :

1. Pteromalidae (*Chalcidoidea*),
2. Encyrtidae (*Chalcidoidea*),
3. Eulophidae (*Chalcidoidea*),
4. Megaspilidae (*Ceraphronoidea*)
5. Charipidae (*Cynipoidea*) (Turpeau *et al.*, 2018).



**Figure 16 :** Cycle de développement d'un hyménoptère parasitoïde primaire (Turpeau *et al.*, 2018).

#### - I.3.4.1.3. Agents pathogènes

##### a). Champignons Entomopathogènes

Les entomophthorales sont des champignons saprophytes qui se retrouvent sur les tissus de plantes en déclin. D'après Gannibal *et al.* (2007) et Mao *et al.* (2010), ces champignons étaient des agents pathogènes communs sur un certain nombre de plantes. Ils sont placés dans la classe des Zygomycètes (Agarwala, 2012).. Dedryver (2010) cite six familles dont trois, les *Ancylistaceae*, les *Entomophthoraceae* et les *Neozygitaceae* qui contiennent 223 espèces pathogènes d'insectes, dont 26 sur pucerons.

Le puceron est tué par une toxine qu'émet le champignon. Le mycélium envahit la cavité du puceron, qui devient alors une momie (Rajamani et Negi, 2021). Le développement des colonies de puceron d'après Remaudière *et al.* (1981) est fréquemment menacé par l'infection des champignons entomopathogènes qui sont leur première cause de mortalité. En effet ces

champignons et leurs métabolites affectent la biologie de l'insecte en plusieurs traits tels que: la survie, le développement, la fécondité et la prise de nourriture (Amiri *et al.*, 1999 ; Ekesi *et al.*, 2001 ; Ganassi *et al.*, 2006).

#### **b). Bactéries**

Certains types de bactéries, tels que *Bacillus thuringiensis* qui est un micro-organisme qui vit à l'état naturel dans les sols, sont utilisés pour lutter contre les insectes nuisibles en produisant des toxines spécifiques qui les tuent. Ces bactéries à Gram+ produisent, durant leurs phases stationnaires de croissance, des protéines cristallines appelées delta-endotoxines ou protoxines Cry, agissent sur les membranes de l'intestin moyen des insectes. L'organisme comporte des inclusions protéiniques qui sont libérées dans l'intestin de l'organisme visé, avec pour effet la paralysie de l'intestin et une interruption de l'alimentation. Perturbateur, d'origine microbienne, de l'intestin moyen des insectes (CRAAQ, 2023).

#### **c). Virus**

Certains virus, tels que le virus de la polyédrose nucléaire de *Helicoverpa armigera*, sont utilisés pour infecter et tuer les insectes cibles. Chamont en 2020 rapporte que les baculovirus sont des virus spécifiques des insectes et sont des éléments importants dans la régulation des populations d'insectes ravageurs des cultures et à ce titre peuvent être utilisés comme biopesticides.

Deux formes virales, génétiquement identiques mais structurellement différentes, sont nécessaires pour avoir un cycle complet d'infection. La forme dite « virion inclus » infecte les cellules de l'intestin moyen après ingestion par l'hôte. Une forme dite « virion bourgeonnant » transmet l'infection de cellule en cellule (Deravel *et al.*, 2013). Les corps d'inclusions sont composés de protéines cristallines dissoutes par le pH alcalin de l'estomac des larves, les virions sont libérés. L'infection primaire qui débute dans l'intestin moyen produit les formes bourgeonnantes qui progressent de la membrane basale jusqu'aux tissus de l'hôte. (SenthilNathan, 2015).

#### **I.3.4.2. Plantes a effet aphicides**

Des nouvelles solutions commencent à être proposées pour lutter contre ce ravageur, et de nombreuses études développent l'utilisation de biopesticides. Les biopesticides font référence à des produits contenant des agents de lutte biologique tels que des organismes naturels ou des substances dérivées de matériaux naturels (animaux, plantes, bactéries ou certains minéraux), y compris leurs gènes ou métabolites, pour combattre les organismes nuisibles, tels que le puceron (Sporleder et Lacey, 2013).

Les plantes produisent des substances actives ayant des propriétés insecticides, aseptiques ou encore régulatrices de la croissance des plantes et des insectes. Le plus souvent, ces substances actives sont des métabolites secondaires qui, à l'origine, protègent les végétaux des herbivores (Jovana *et al.*, 2014).

Le mode d'action des biopesticides botaniques, d'après Almalah (2015), varie considérablement d'un produit à l'autre. Ils sont utilisés comme répulsifs, dissuasifs et provoquent la déshydratation, tandis que d'autres extraits provoquent la suffocation. D'autre part, certains produits naturels aident les cultures à renforcer leur système immunitaire en développant une résistance systémique acquise, comme ils produisent un effet d'abattement rapide sur les insectes en bloquant les canaux sodiques dans les axones des nerfs et arrêtent la respiration dans les mitochondries en bloquant la fonction NADH de la chaîne respiratoire.

Les biopesticides présentent à la fois des avantages et des inconvénients. Voici quelques points principaux à considérer (Kumar *et al.*, 2021).

***Les avantages :***

- Action sélective, ciblant spécifiquement les organismes nuisibles tout en minimisant les effets sur les organismes bénéfiques (Singh *et al.*, 2018).
- Durables et se dégradent plus rapidement dans l'environnement (Manchandrade, 2019).
- Ne laissent pas de résidus sur les cultures, ce qui peut être bénéfique pour la sécurité alimentaire et la santé humaine (Isman, 2006).
- Ne développent pas une résistance chez les organismes nuisibles (Glare et Caradus et Gelernter *et al.*, 2012).

***Les inconvénients :***

- Efficacité variable et association à des mesures supplémentaires pouvant être nécessaires (Essiedu *et al.*, 2020).
- Durée de vie limitée nécessitant souvent des applications plus fréquentes (Pretty, J. *et al.*, 2006).
- Sensibilité aux conditions environnementales, ce qui peut affecter leur efficacité (Duan *et al.*, 2008).
- Coûts plus élevés (Hilbeck *et al.*, 2012).
- Limitations de formulation pouvant rendre leur utilisation plus complexe (Pretty *et al.*, 2006).

# **PARTIE EXPERIMENTALE**

## **Chapitre II : Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels dans des vergers agrumicoles de la région de Chlef**

**Introduction :** La wilaya de Chlef, en raison de sa situation géographique privilégiée, se positionne parmi les régions les plus prolifiques en matière de production d'agrumes dans le pays. Elle couvre une superficie totale de 6663 hectares (MADRP, 2021). Les agrumes de Chlef sont fréquemment confrontés à divers ravageurs et maladies, les pucerons étant parmi les plus redoutables en raison de leur polyphagie étendue et de leur potentiel biotique élevé dans les conditions méditerranéennes.

**Objectif :** On vise par cette étude le recensement des pucerons prédateurs des agrumes ainsi que les aphidiphages qui leur sont associés, dans l'une des plus vastes régions agrumicoles d'Algérie. afin de valoriser les interactions de prédation et de parasitisme ayant pour finalité le contrôle biologique de ces ravageurs redoutables.

**Matériel et méthodes :** Les prospections sont réalisées deux fois par mois durant une année entière. Pour l'échantillonnage, nous avons utilisé les pièges jaunes englués, les bassines jaunes et la détermination visuelle.

**Résultats :** Cette étude nous a permis d'identifier sept espèces de pucerons et 34 espèces d'aphidiphages dont 30 espèces de prédateurs et 4 espèces de parasitoïdes. Les pucerons les plus abondants sont *A. spiraecola*, *A. gossypii*, tandis que les aphidiphages les plus fréquents sont *Episyrphus balteatus*, *Chrysoperla carnea*, *Coccinella septempunctata*, *Aphidoletes aphidimyza* et *Lysiphlebus fabarum*. En termes de fréquence, les aphidiphages sont dominés par les coccinelles, suivis de chrysopes, puis les syrphes, ensuite les punaises et les cécidomyies en dernière position. La diversité de la faune aphidiphage n'est pas très importante mais les valeurs les plus élevées sont notées vers la fin du mois d'avril. Les activités de prédation dans la région d'étude s'étendent de la fin mars jusqu'au mois de novembre. Les aphidiphages associés aux pucerons se répartissent entre généralistes et spécialistes. Ces derniers présentent des préférences pour certaines proies plutôt que d'autres, au cas d'une diversité aphidienne selon des facteurs intrinsèques mais aussi extrinsèques.

**Conclusion :** Cette étude ouvre la voie à des investigations ultérieures sur l'impact de la prédation exercée par chacun de ces entomophages sur les pucerons ravageurs des agrumes, facilitant ainsi le contrôle de ces populations par la mise en œuvre de stratégies durables de lutte biologique.

Cette étude a été publiée dans la revue «Acta agriculturae slovenica»

# Article 1: Interactions between aphids and aphidophages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria)

Dalila AMOKRANE<sup>1, 2, 3</sup> Ahmed MOHAMMEDI<sup>1, 2</sup>, Abdelhaq MAHMOUDI<sup>1, 2</sup>, Adda ABABOU<sup>2, 4</sup>

Received December 09, 2023; accepted January 11, 2024.  
Delo je prispelo 9. decembra 2023, sprejeto 11. januarja 2024.

## Interactions between aphids and aphidophages in citrus orchards in the Chlef region (North West of Algeria)

**Abstract:** The objective of this study is to inventory and identify the different species of aphids and aphidophages associated with them in citrus orchards in the Chlef region (Algeria) in order to promote predation and parasitism interactions for the ultimate purpose of biological control of these formidable pests. Surveys are conducted twice a month for an entire year. For sampling, we used yellow sticky traps, yellow pans, and visual determination. This study allowed us to identify seven species of aphids and 34 species of aphidophages, including 30 predator species and 4 parasitoid species. The most abundant aphids are *Aphis spiraecola* (Patch, 1914) and *Aphis gossypii* (Glover, 1877), while the most common aphidophages are *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), *Coccinella septempunctata* (Linné, 1758), *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847) and *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896). In terms of frequency, aphidophages are dominated by ladybugs, followed by lacewings, then syrphids, then bugs, and aphid midges in last place. The diversity of the aphidophages fauna is not very important, but the highest values are observed towards the end of April. Predation activities in the study area extend from the end of March to November. Aphidophages associated with aphids are divided into generalists and specialists. Specialist aphidophages show preferences for certain prey over others, in the case of aphid diversity according to both intrinsic and extrinsic factors.

**Key words:** aphids, aphidophages, citrus, natural enemies, Chlef region

## Interakcije med listnimi ušmi in afidofagi v nasadih citrusov v regiji Chlef (severozahod Alžirije)

**Izvleček:** Cilj te raziskave je bil popisati in identificirati različne vrste listnih uši in z njimi povezane afidofage v nasadih citrusov v regiji Chlef (Alžirija), da bi spodbudili interakcije plenjenja in parazitizma za končni namen biotičnega zatiranja teh nevarnih škodljivcev. Raziskave so potekale dvakrat mesečno skozi celo leto. Za vzorčenje smo uporabili rumene lepljive pasti, rumene posode in vizualno določanje. Ta študija nam je omogočila identifikacijo sedmih vrst listnih uši in 34 koristnih vrst, vključno s 30 vrstami plenilcev in 4 vrstami parazitoidov. Najštevilčnejši vrsti listnih uši sta *Aphis spiraecola* (Patch, 1914) in *Aphis gossypii* (Glover, 1877) medtem, ko so najpogostejši plenilci *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758), *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847) in *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896). Glede na pogostnost prevladujejo med plenilci polonice, sledijo jim čipkarke, nato trepetavke, nato plenilski hrošči, na zadnjem mestu so plenilske hrčice. Raznolikost afidofagne favne ni zelo pomembna, vendar so največje vrednosti opažene proti koncu aprila. Dejavnosti plenjenja na območju študije trajajo od konca marca do novembra. Afidofagi, povezani z listnimi ušmi, se delijo na generaliste in specialiste. Afidofagi specialisti kažejo preferenco za določen plen, v primeru raznolikosti listnih uši glede na notranje in zunanje dejavnike.

**Gljučne besede:** listne uši, afidofagi, agrumi, naravni sovražniki, Chlef regija

1 Department of Agronomic Sciences, Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Chlef, Algeria

2 Laboratory of Natural and Local Bioresources, Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Chlef, Algeria

3 Corresponding author, e-mail: dalila\_amokrane@yahoo.fr

4 Department of Biological Sciences, Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Chlef, Algeria



# 1 INTRODUCTION

Citrus fruits are one of the most important fruit tree crop in the world. They are cultivated in 168 countries on an area of 12.7 million hectares (FAOSTAT, 2022).

Algeria, due to its geographical location, is one of the world's leading producers of citrus fruits. The country has a total area of 77,895 ha with a production of 2 million tons (MADR, 2021).

Chlef is one of the most productive regions in the country, unfortunately, this crop hosts several pests and diseases. Aphids are considered to be not only among the most formidable pests of citrus (Ait-Amar et al., 2022), but also among the main vectors of phytopathogenic viruses (De Moya-Ruiz et al., 2023). They are phytophagous and all piercing-sucking. This mode of nutrition can lead to various reactions in the plant, both to the bite and to the toxicity of the saliva (Herrbach, 2022). Their honeydew allows the development of fungi that hinder the photosynthesis of the plant and its chlorophyll state (Hullé et al., 1999). In turn, aphids provide food for a variety of predatory species. This natural chain helps to maintain biological balance. This balance can be disrupted by the decline in the diversity of entomophages. It is in this approach that Straub & Snyder (2006) decline the importance of the relationship between the biodiversity of predators and biological control of bio-aggressors, as studies have shown that predators can complement or interfere with each other (Snyder & Ives, 2003; Finke & Denno, 2004).

In our study region, this auxiliary fauna is unfortunately poorly studied and still poorly known. In this context, the present study consisted of a survey of the predators of aphids on citrus as well as the aphidophages associated with them in one of the largest citrus-growing regions of Algeria. This opens the way for other studies on the impact of the predation of each of these entomophages on citrus pest aphids and facilitates the control of these pest populations by the implementation of sustainable biological pest management strategies.

# 2 MATERIALS AND METHODS

## 2.1 DESCRIPTION OF THE STUDY SITES

Three sites were selected for this study, the first orchard is a clementine orchard of the Montreal variety, 15 years old and located in Ouled Fares (Latitude: 36.2328, Longitude: 1.24028 36° 13' 58" North 1° 14' 25" East). It is located at an altitude of 136 meters and covers an area of 7 hectares. The second orchard is a Thomson Navel

orange orchard, 21 years old and located in Ouled Abbas (Latitude: 36.2167, Longitude: 1.48333 36° 13' 0" North, 1° 28' 60" East). It is located at an altitude of 151 meters and covers an area of 3 hectares. The third orchard is a Washington Navel orange orchard, 19 years old and located in Labiodh Medjadja (Latitude: 36.25, Longitude: 1.4 36° 15' 0" North, 1° 24' 0" East) (Fig 1). It is located at an altitude of 196 meters and covers an area of 5 hectares. Chlef's climate is warm and temperate, of the Mediterranean type (Köppen classification: Csa). All three orchards are irrigated by a drip irrigation system that also provides fertilizer and pesticide applications. The soils in the study area (Chlef) are generally characterized by a high degree of homogeneity and agricultural aptitude, and are predominantly clay-loam (ABH; Chelliff Zahrez, 2003).

## 2.2 SAMPLING METHOD

This study was conducted between September 2021 and August 2022 in 3 citrus orchards in the Chlef region. This study consists of identifying and classifying the different types of aphids and their natural enemies present in citrus orchards in the study region. For this, we used three sampling methods, which are described below and we spread the prospections over the whole year in order to offer ourselves the chance to find more insects and other auxiliary arthropods regardless of their biological characteristics.

### 2.2.1 Sticky yellow traps

The installation of traps allows to follow the flight activity of the different species and to know precisely which periods of the year this activity will take place. The

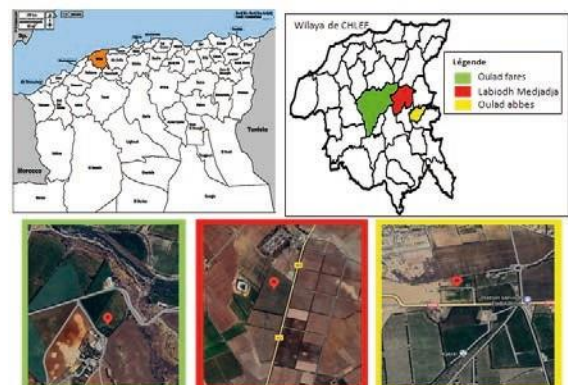


Figure 1: Geographic location of the experimental sites



flight phase of aphids plays an important role in the dispersal of species, in the search for host plants, and in the transmission of viral diseases.

In order to control all of these phenomena, it was necessary to carry out an air sampling by capturing winged aphids with freely moving yellow sticky traps (Hullé, 2010). Five yellow traps per orchard were placed at the four cardinal corners and in the center for a representative sampling of the orchard. Every 15 days (2 weeks), the previously installed traps are retrieved at the same time that new traps are installed in other parts of the orchard, so that the sampling is spread over the entire study area. Each retrieved trap is wrapped in a transparent plastic film to preserve all the trapped insects. In the laboratory, aphids and aphidophagous insects are collected and placed in test tubes filled with 70 °C ethyl alcohol for later identification.

## 2.2.2 Hand gathering of shoots

To count and identify the different species of aphids, their developmental stages, and their natural enemies, we carried out hand-gathering of shoots. To do this, at each sampling (2 per month), 10 trees are randomly selected and distributed across the different orientations of the orchard. From each tree, 5 shoots are randomly collected along the entire diagonal of the orchard (east, west, north, south, and center) and transported in transparent bags to the laboratory, where immediate identification is undertaken before the plants dry out. Individuals whose identification is difficult or doubtful are preserved for later identification or confirmation.

## 2.2.3 The yellow basins

These are circular plastic basins 20 cm in diameter that were placed at the level of the trees between the leaves and branches at an average height of 1 m above the ground. The basins were filled to  $\frac{3}{4}$  with soapy water, which helped to fix the insects inside the basins. This type of trap captures not only winged aphids, but also their natural enemies, notably parasitoid Hymenoptera and other predatory insects. The trapped insects were collected every month in small plastic tubes containing 75 % alcohol, and counting and identification were carried out in the laboratory.

## 2.3 METHOD OF DATA ANALYSIS

### 2.3.1 Ecological diversity indices

To interpret the results, we based our analysis on the calculation of ecological indices of composition, such as total richness (S), centile frequency, and constancy, as well as ecological indices of structure, such as the Shannon-Weiner index  $H'$ , evenness, and Simpson's index.

#### 2.3.1.1 Ecological indices of composition

- Total richness:

According to Guillaum et al. (2009), richness tells us about the elements present in a given space. It is expressed by the number of species of the population considered in a given ecosystem (Ramade, 1984).

- Relative abundance of centile frequency (%):

According to Dajoz (1985), it is the percentage of individuals of a species compared to the total number of individuals. It is calculated by the following formula:

$$F.C.\% = \frac{ni}{N} \times 100$$

With: ni: Number of individuals of a species and N: Total number of individuals.

- Coefficient of abundance-dominance or frequency of occurrence

It is expressed as a percentage of the number of statements containing species  $i$  taken into consideration, divided by the total number of statements (Dajoz, 2003).

$$C = \frac{i}{N} \times 100$$

C: is the number of statements containing the species studied and N: is the total number of statements carried out.

Depending on the value of C, the following categories are distinguished:

- Very frequent or omnipresent species if  $C = 100\%$ .

- Constant species if  $75\% < C < 100\%$ .
- Regular species if  $50\% < C < 75\%$ .
- Accessory species if  $25\% < C < 50\%$ .
- Accidental species if  $5\% < C < 25\%$ .
- Rare species if  $C < 5\%$ .

### 2.3.1.2 Ecological structure indices

- The Shannon-Weaver diversity index

The Shannon-Weaver diversity index is considered to be the best index of diversity; it is calculated as follows (Blondel, 1979; Barbault, 1993):

$$H' = \sum p_i \log_2(p_i)$$

$H'$  is the diversity index expressed in bits, and  $p_i$  is the proportional abundance or percentage abundance of a present species ( $p_i = n_i/N$ ). Thus, a community will be more diversified the larger the  $H'$  index is. The maximum diversity ( $H'_{max}$ ) corresponds to the highest possible value of the population and translates to a heterogeneous population for which all individuals of all species are distributed equally.

It is calculated by the following formula:

$$H'_{max} = \log_2(S)$$

$S$ : is the total richness or the total number of species present.

- The Pielou evenness index

The Shannon index is often accompanied by the Pielou evenness index ( $J$ ), or equipartition index ( $E$ ) (Blondel, 1979). It is expressed as the ratio between the observed diversity and the theoretical maximum diversity and is calculated as follows:

$$E = H'/H_{max}$$

$E$  being the evenness,  $H'$  is the observed diversity index and  $H'_{max}$  is the maximum diversity index expressed in bits.

The value of  $E$  varies from 0 to 1. It tends towards 0 when the population is composed of a few species and many individuals. When this value tends towards 1, it translates to a population represented by many species with approximately the same number of individuals. The

high diversity values reflect the presence of a large number of aphidophages in the agrosystems studied, so biological regulation of aphid pests by their natural enemies would be of great benefit.

- The Simpson index

The Simpson index measures the probability that two individuals selected at random belong to the same species and is defined by the formula:

$$L = \sum n_i(n_i-1)/N(N-1)$$

Where  $N_i$  is the number of individuals of the given species and  $N$  is the total number of individuals.

This index is inversely proportional to diversity. As a result, another formulation has been proposed to establish an index directly representative of heterogeneity by subtracting the Simpson index from its maximum value. This new formulation constitutes the Simpson diversity index, which is expressed by the formula  $D = 1 - L$ . Therefore, this index varies from 0 (minimum diversity) to 1 (maximum diversity) (Ramade, 1984).

### 2.3.2 Statistical analysis (AFC)

The results of the presence-absence of the different species of aphids and those of the entomophages during the surveys carried out in the study environments were the subject of a correspondence factor analysis (AFC) using a trial version of XISTAT. This latter allows the structure of the data to emerge, the way in which the modalities of each variable are situated in relation to each other, in a differential and relational way. According to Escoffier and Pages (2008), correspondence factor analysis can, on different types of data, describe the dependence or correspondence between two sets of characters. For the present study, this analysis allows us to investigate the affinities between aphid species and the aphidophagous insects that are associated with them in the agrosystems studied during the survey period. In other words, we can identify the aphids that are most preferred by each predator, the impact of predation by a given natural enemy at a given time or period, or the interactions between aphidophagous species (competition, association, etc.). This information is necessary for the selection of effective auxiliaries for use in one of the desired biological control methods (conservation, introduction, or augmentation) or for their use in an integrated pest management process.

### 3 RESULTS

#### 3.1 THE APHIDS

##### 3.1.1 The aphid fauna found in the study environments

Through our surveys conducted over a full year, seven different species of aphids distributed over three different genera were identified. The genus *Aphis* is represented by *Aphis spiraeicola*, *Aphis gossypii*, *Aphis faba* and *Aphis nerii* (Boyer De Fonscolombe, 1841).

The genus *Toxoptera* is represented by *Toxoptera citricida* (Kirkaldy 1907) and *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe, 1841). Finally, the genus *Myzus* is represented by *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Table 1).

##### 3.1.2 The total richness, and the relative abundance of aphid populations during the surveys conducted

The results of Table 3 on the specific richness, dominance, and centile frequency of citrus-damaging aphids in the Chlef region showed that the greatest infestations are noted during the autumn and spring periods. In fact, at the end of October, we recorded a very large aphid population reaching 5074 individuals (17.37 %). This population declines significantly before starting to increase again to reach very high levels exceeding 8000 individuals (28.45 %) by the end of May, then they disappear again from the end of June. It should be noted that during the periods from December to February and from the end of June to the end of September, aphids were completely absent in the study areas.

##### 3.1.3 Total richness, relative abundance, and occurrence frequency of aphid species in the Chlef region

The results of Table 2 show that *Aphis gossypii* and

**Table 2:** Specific richness and centile frequency of aphids during the surveys

Date	Taxa_S	Effective	frequency %
10 /9	0	0	0
25 /9	2	8	0,03
10 /10	5	666	2,28
25 /10	6	5074	17,37
10 /11	2	928	3,18
25 /11	1	65	0,22
10 & 25 /12	0	0	0
10 & 25 /1	0	0	0
10 & 25 /2	0	0	0
10 /3	0	0	0
25 /3	2	776	2,66
10 /4	3	386	1,32
25 /4	8	1215	4,16
10 /5	7	7609	26,05
25 /5	8	8311	28,45
10 /6	6	4171	14,28
25 /6	0	0	0
10 & 25 /7	0	0	0
10 & 25 /8	0	0	0
Total	6	29209	100

**Table 1:** The aphid fauna recorded in the three citrus orchards surveyed

Families	Subfamilies	Tribe	genus	Species
Aphididae	Aphidinae	Aphidini	<i>Aphis</i>	<i>Aphis spiraeicola</i> (Patch, 1914) <i>Aphis gossypii</i> (Glover, 1877) <i>Aphis nerii</i> (Boyer De Fonscolombe, 1841) <i>Aphis fabae</i> (Scopoli, 1763)
			<i>Toxoptera</i>	<i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841) <i>Toxoptera citricida</i> (Kirkaldy 1907)
		Macrosiphini	<i>Myzus</i>	<i>Myzus persicae</i> (Sulzer, 1776)

*Aphis spiraecola* are the two most abundant species in citrus orchards in the Chlef region, with a richness of 12,933 and an abundance of (50.16 %) for the first species, and a richness of 12,585 corresponding to an abundance of (48.81 %) for the second. The other species are much less abundant, with a richness not exceeding 147 individuals and rates below 1 %.

In terms of occurrence, *Aphis. gossypii* and *Aphis. spiraecola* were found to be regular species, *T. aurantii* was found to be an accidental species, while the other species are rare in our study areas.

## 3.2 APHIDOPHAGES

### 3.2.1 Aphidophages associated with aphids recorded in the study orchards

Thirty-four species of aphidophages that accompany aphids in their emergence and are involved in the biological regulation of their populations were also identified (Table 5). They are divided into 30 predators and 4 parasitoids, composed mainly of insects and dominated by beetles (13 species), hymenopterans (6 species), an

**Table 3:** Richness, abundance, and dominance of different aphids collected in citrus orchards in the Chlef region

Settings	A. spiraecola	A. gossypii	T. aurantii	M. persicae	A. fabae	T. citricida	A. nerii
Richness	14257	14651	167	102	17	4	11
Abundance (%)	48,81	50,16	0,57	0,35	0,06	0,01	0,04
Constancy	Accessory	Accessory	Accessory	Accidental	Accidental	Rare	Accidental

**Table 4:** Abundance of aphid species during the different surveys

Date	Species							Total
	A. spiraecola	A. gossypii	T. aurantii	M. persicae	A. fabae	T. citricida	A. nerii	
10/9	0	0	0	0	0	0	0	0
25/9	2	6	0	0	0	0	0	8
10/10	274	380	12	0	0	0	0	666
25/10	2799	2231	26	18	0	0	0	5074
10/11	491	405	21	11	0	0	0	928
25/11	27	38	0	0	0	0	0	65
10 & 25/12	0	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/1	0	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/2.	0	0	0	0	0	0	0	0
10/3	0	0	0	0	0	0	0	0
25/3	277	496	3	0	0	0	0	776
10/4	127	245	6	8	0	0	0	386
25/4	299	884	17	15	0	0	0	1215
10/5	3783	3760	31	22	9	0	4	7609
25/5	4313	3909	42	28	8	4	7	8311
10/6	1865	2297	9	0	0	0	0	4162
25/6	0	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/7.	0	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/8	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	14257	14651	167	102	17	4	11	29209

hemipterans (5 species). The most widespread are the hoverfly *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776), the green lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), the ladybugs *Coccinella septempunctata* (Linné, 1758) and *Coccinella algerica* (Kovàr 1977), the gall midge *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847), and a parasitic hymenopteran, *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896).

### 3.2.2 Richness, abundance, and dominance of the main aphidophages predators present in the citrus-growing environments surveyed

To calculate the indices of composition related to predators, we found it useful to limit ourselves to the most abundant and efficient species. In terms of richness

**Table 5:** List of aphidophages associated with aphids in the study environments

Class	Order	Family	Species	Status		
Arachnida	Araneae	Araneidae	<i>Araneus diadematus</i> (Clerck,1757)	Predator		
			Araneidae sp	Predator		
Insecta	Mantodea	Mantidae	<i>Mantis religiosa</i> (Linné, 1758)	Predator		
			<i>Sphodromantis</i> sp. (Stal, 1871)	Predator		
			<i>Iris oratoria</i> (Linné, 1758)	Predator		
	Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i> (Linné, 1758)	Predator		
			Anisolabidae	<i>Anisolabis</i> sp. (Fieber, 1853)	Predator	
	Hemiptera	Lygaeidae	<i>Lygaeus</i> sp. (Fabricius, 1794)	Predator		
			Anthocoridae	<i>Anthocoris</i> sp. (Fallen, 1814)	Predator	
			<i>Orius</i> sp. (Wolff, 1811)	Predator		
			<i>Cardiastethus</i> sp. (Fieber, 1860)	Predator		
			Geocoridae	<i>Geocoris</i> sp. (Fallén, 1814)	Predator	
	Coleoptera	Carabidae	Carabidae sp	Predator		
			<i>Brachinus</i> sp. (Weber, 1801)	Predator		
			<i>Chlaenius</i> sp.1 (Bonelli, 1810)	Predator		
			<i>Harpalus attenuatus</i> (Steph, 1828)	Predator		
			<i>Ophonus pubescens</i> (Mull, 1776)	Predator		
			<i>Acinopus</i> sp. (Dejean, 1821)	Predator		
			<i>Agonum</i> sp. (Bonelli, 1810)	Predator		
			<i>Zabrus distinctus</i> (Lucas, 1842)	Predator		
			Staphylinidae	<i>Ocypus olens</i> (Muller,1764)	Predator	
				<i>Anthophagus</i> sp. (Grav, 1802)	Predator	
				Coccinellidae	<i>Coccinella septempunctata</i> (Linné, 1758)	Predator
					<i>Coccinella algerica</i> (Kovàr 1977)	Predator
				<i>Scymnus</i> sp. (Kugelann, 1794)	Predator	
Diptera			Syrphidae	<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776)	Predator	
	Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847)	Predator			
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)	Predator			
Hymenoptera	Vespidae	<i>Vespa germanica</i> (Fabrice, 1793)	Predator			
		<i>Vespidae</i> sp. (Latreille, 1802)	Predator			
	Braconidae	<i>Aphidius colemani</i> (Viereck, 1912)	Parasitoid			
		<i>Lysiphlebus fabarum</i> (Marshall, 1896)	Parasitoid			
		Ichneumonidae	<i>Ichneumonidae</i> sp.1 (Latreille, 1802)	Parasitoid		
		<i>Ichneumonidae</i> sp. 2	Parasitoid			

**Table 6:** Richness, abundance, and dominance of the main predators collected in citrus orchards in the Chlef region

Settings	Predators						Total
	Hoverflies	Lacewings	Ladybugs	Midges	Bugs	Others	
Richness	1	1	3	1	5	19	30
Abundance	65	75	100	4	45	30	319
Frequency%	20.37	23.51	31.35	1.25	14.11	9.4	100
Constancy	regular	regular	regular	Accidental	Accessory		

and frequency, ladybugs are the most numerous with 100 individuals (31.35 %), followed by lacewings with 75 individuals (23.51 %), then hoverflies with 65 individuals (20.37 %), then bugs with 45 individuals (14.11 %), and finally gall midges with only 4 individuals, or 1.25 %. Other generalist predators that can have an impact on aphid control are also present, with a total of 30 individuals (9.4 %), distributed over 19 different species (Ta-

ble 6). As for the monthly frequency of these auxiliaries, it appears that ladybugs and hoverflies appear first in March and disappear last at the end of October, with high numbers in April and May. As for lacewings, they only appear from the end of April and disappear late in mid-November. As for bugs, gall midges, and other predators, their presence is limited only to spring and a little less in summer (Table 7)

**Table 7:** Temporal evolution of the numbers of aphidophages during the prospection period

Date	Hoverflies	Lacewings	Ladybugs	Midges	Bugs	Others	Total
10/9	2	3	3	0	0	0	8
25/9	1	2	2	0	0	0	5
10/10	0	1	5	0	0	0	6
25/10	1	0	4	0	0	0	5
10/11	0	2	0	0	0	0	2
25/11	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/12	0	0	0	0	0	0	0
10 & 25/1	0	0	0	0	0	0	0
10/2	0	0	0	0	0	0	0
25/2	0	0	0	0	0	0	0
10/3	2	0	0	0	0	0	2
25/3	4	0	8	1	0	0	13
10/4	8	0	10	2	11	0	31
25/4	7	11	12	1	10	7	48
10/5	8	15	9	0	7	5	44
25/5	10	12	8	0	7	5	42
10/6	5	6	7	0	5	7	30
25/6	6	8	12	0	4	2	32
10/7	4	5	7	0	1	3	20
25/7	3	4	4	0	0	1	12
10/8	2	2	5	0	0	0	9
25/8	3	3	4	0	0	0	10
Total	65	75	100	4	45	30	319

### 3.2.3 Diversity of aphidophages in the study environments

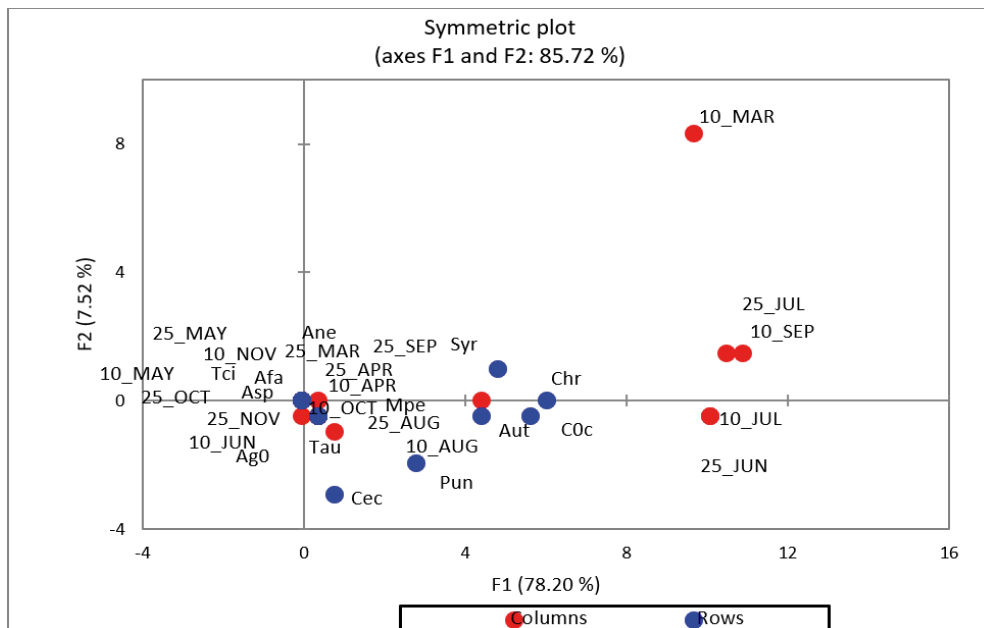
The diversity of aphidophage was translated by calculating the Simpson, Shannon-Wiever, and Equitability indices (Table 8). The values of these indices show that the highest diversity of aphidophage is observed at the end of April, with  $D = 0.59$ ,  $H = 2.42$ , and  $E = 0.49$ . This diversity then regresses until it becomes zero in November, before increasing again from the beginning of March.

### 3.3 TEMPORAL DISTRIBUTION OF WINGLESS APHIDS AND THEIR NATURAL ENEMIES THROUGH AN AFC

For the study of the temporal evolution of the different species of aphids as well as their natural enemies, on the one hand, and the interactions that could exist between them, on the other hand, we carried out an AFC, from which we retained the results of the first two axes, which explain 85.72 % of variability. The positive side of axis 1 shows a correlation between syrphids, ladybugs, and lacewings, which are in turn correlated with *Myzus persicae* and the end of March. The second axis shows, on the positive side, a correlation between *Aphis spiraeicola*, *Aphis fabae*, *Toxoptera citricida*, and *Aphis nerii*, which are in turn correlated with the March-April period. On the negative side of the same axis, the interaction of the aphids *Toxoptera aurantii* and *Aphis gossypii* with

**Table 8:** Values of diversity indices for aphidophagous populations in citrus orchards

Date	Simpson_1-L	Shannon_H	Evenness Index
10-sept	0,35	1,07	0,19
25-sept	0,31	1,05	0,17
10-oct	0,33	1,01	0,11
25-oct	0,3	0,9	0,1
10-nov	0,21	0,7	0,08
25-nov	0	0	0
10 & 25/12	0	0	0
10 & 25/1	0	0	0
10-févr	0	0	0
25-févr	0	0	0
10-mars	0,21	0,7	0,08
25-mars	0,39	1,13	0,24
10-avr	0,42	1,21	0,31
25-avr	0,59	2,42	0,49
10-mai	0,54	2,38	0,41
25-mai	0,52	2,37	0,4
10-juin	0,43	1,24	0,35
25-juin	0,45	1,25	0,36
10-juil	0,41	1,21	0,31
25-juil	0,37	1,12	0,23
10-août	0,35	1,09	0,2
25-août	0,36	1,11	0,22



**Figure 2:** AFC applied to the populations of wingless aphids and their predators during the periods of inspections



gall midges and bugs during the period from August to November (Fig. 2) stands out.

## 4 DISCUSSION

In this study, the aphid fauna recorded is represented by seven species, the most widespread of which are *Aphis gossypii* and *Aphis spiraecola*, unlike *Toxoptera aurantii*, *Aphis fabae*, *Aphis nerii*, *Myzus persicae*, and *Toxoptera citricida* which were found in limited colonies. Aphids that are specialized in citrus are numerous. Barbagallo and Patti (1986) cited 17 species, but few of these species can have an economic impact on citrus production.

The abundance of *A. gossypii* and *A. spiraecola* reflects their cosmopolitanism and their polyphagy. The first is one of the main pests of citrus in many Mediterranean countries (Kavallieratos et al., 2002; Satar et al., 2014). In addition to these direct damages by feeding on tender shoots and flowers, it is responsible for the transmission of citrus tristeza virus. (Marroquín et al., 2004; Compra et al., 2000). As for the latter, it can, in addition to citrus, infest *Prunus* fruit trees in many Mediterranean countries (Ben Halima-Kamel and Ben-Hamouda, 2005). It is a key pest of *Citrus x. clementina* Tanaka in Spain, Algeria, France and Italy (Gomez-Marco, 2015). According to Mostefaoui et al. (2014), its abundance on the Clementine variety could be explained by a better tolerance to high levels of proline in the foliage.

In terms of species, predators are more numerous than parasitoids among natural enemies. However, the parasitism rate observed in aphid populations reflects the abundance of parasites in terms of numbers.

It is known that a parasitoid can only control a single host individual, unlike predators, of which a single individual can ingest a large number of pests. In fact, it has been proven that *Coccinella septempunctata* can consume 469 to 725 individuals of *Myzus persicae* in 17 to 19 days (Aroun, 2015), a syrphid larva can consume 400 to 700 aphids during its lifespan of 8 to 15 days (Deguine and Leclant, 1997) and a *Chrysoperla carnea* larva consumes 300 to 450 individuals of *Aphis craccivora* (Paulian, 1999).

The parasitoids encountered are four in number. It is worth noting that 29 species of aphid parasitoids are known in Algeria to date (Laamari et al., 2011). In our study areas, the most abundant parasitoid is *Lysiphlebus fabarum*, although Laamari et al. (2011) noted that *Aphidius matricariae* is the most frequent in aphid mummies in Algeria. *L. fabarum* was first reported in Algeria in 1993 in Mostaganem, (Guenaoui and Mahiout, 1993). It is associated with a wide range of host aphids worldwide (Stary, 1988). In Algeria, the sexual strain was found on 9 species of aphids associated with 18 species

of host plants (Laamari et al., 2011). In Iran, 47 species of aphids have been reported as being parasitized by this species (Rakhshani et al., 2013).

Predators are mainly composed of insects, most of which are beetles. They even dominate the entomofauna associated with citrus fruits in the study region (Mohammedi et al., 2019). In terms of headcount; they are dominated by ladybugs, followed by lacewings and then hoverflies, although their abundance fluctuates according to the species' life cycle and the rate of prey presence. In Algeria, the fauna of ladybugs includes 48 species, of which 46 are biological control agents that can play a role in plant protection against certain pests (Sahraoui, 2017). However, 21 species that prey on citrus pests in a region of Algeria have been identified, of which Scymninae and Coccinellinae are quantitatively dominant (Sahraoui and Hemptinne, 2009).

Ladybugs are recognized as excellent predators of aphids at all stages of their life, they constitute the essential entomophagous group in the regulation of aphid populations. (Sahraoui et al., 2001). Their density increases with that of their prey (Sahraoui and Hemptinne, 2009). The presence of natural enemies is linked to climatic conditions, food availability (aphids) and species richness of the flora.

In addition to ladybugs, hoverflies are also known for their predation on aphids. The most widespread species is *Episyrphus balteatus*, but other species such as *Sphaerophoria scripta*, *Syrirta pipiens* and *Eristalis tenax* are also abundant in a region of northeastern Algeria (Djellab et al., 2013). The larvae of hoverflies, especially those of *Episyrphus balteatus*, are also important predators for the control of aphids. Some predators show a preference for certain prey over others. Indeed, it has been shown that the effect of different prey species on the feeding capacity of *E. balteatus* larvae is higher on *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* than on *A. craccivora* (Hong and Hung, 2010).

The diversity of aphidophages varies from season to season according to the life cycle of each species involved, as well as their reaction to variations in environmental conditions and prey availability. In fact, this diversity becomes important in the spring, but it regresses in the summer and autumn and becomes zero in the winter before appearing with low values at the beginning of spring. This translates to the life cycle of insects in general, which depends heavily on climatic conditions. Therefore, most insects die before the arrival of winter, and few of them hibernate in different shelters (Mohammedi, 2015). In addition, in temperate regions, adaptation to winter conditions is an important trait of the biological cycle that can influence their ecological and evolutionary success (Raymond et al, 2013). Some species of ladybugs, such as



*C. algerica* Kovár, 1977, *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777), and *P. subvillosus* Sturm, 1837, emerge from hibernation a little earlier and start laying eggs in early spring, and even earlier if climatic conditions become favorable. This is in contrast to the small-sized species (*Scymnini*, *Platynaspini*, *Hyperaspini*), which begin their reproductive activities late and last until summer (Ben Halima-Kamel et al., 2011). Some authors think that the diversity of predator species has no effect on the strength of aphid suppression. Thus, for the biological control of aphids, conservation strategies that target the main predator species will be more effective than those that target the diversity of predators (Straub and Snider, 2006). In addition, the nature of prey can even influence the biological evolution of some predators, since it has been shown that females of *C. septempunctata* fed with *A. pisum* and *S. avenae* laid twice as many eggs as those fed with *A. fabae* and *A. craccivora* (Kalushkov and Hodek, 2004). Therefore, to succeed in biological control by conservation, it is necessary to know the effective entomopathogen and then act on the parameters that are favourable to it.

The AFC has identified affinities between aphid species and their potential predators. A large diversity of natural enemies coexist and share the same food (Sahraoui and Hemptinne, 2009; Sahraoui et al., 2015). In addition, it should be noted that the behaviour, abundance, and distribution of predators can be influenced by the physical characteristics of the habitat (Ben Halima Kamel et al, 2011), but also by the nature of the prey, regardless of its density. In fact, correlations between aphids and aphidophages, translating predation activities, are noted during the period from the end of March to November. The present analysis (AFC) also revealed a strong correlation between the ladybugs present, the hoverfly (*E. balteatus*) and the lacewing (*Chrysoperla carnea*) with *Myzus persicae*, unlike the bugs and the aphid midge (*Aphidoletes aphidimyza*) which showed a correlation with *Toxoptera aurantii* and *Aphis gossypii*. The choice of prey by the predator, in the case of aphid diversity, depends on both intrinsic and extrinsic factors. Thus, it has been shown that *C. septempunctata* showed higher predation efficiency for *Aphis craccivora*, *A. fabae* and *A. gossypii* than for other species (Sarker et al., 2019). On the other hand, *Acyrtosiphon pisum* Harris, 1766 and *Megoura viciae* Buckton, 1876 were more attractive to *E. balteatus*, while *Aphis fabae* and all other aphids were less attractive. Similarly, the consumption of these two aphids increases the fecundity of the predator (Almohamad et al., 2007). It was also mentioned that the type of adjacent habitat and the identity of the predator affect the direction of predator movement. Thus, information on predator movement can be used to design the distribution of crops and natural habitats in agricultural landscapes

that maximize pest control services (Samaranayake and Costamagna, 2019). Even crop-associated plants are of great effect in the biological control of certain pests, as it has been shown that the sugar content of Mediterranean flowering plants, especially the trehalose content of pollen and nectar as a food resource for adult *Chrysoperla carnea*, has a positive impact on the fecundity and longevity of this insect predator (Gonzales et al., 2016).

The preservation and conservation of insect predators in general and aphidophages in particular allow for the biological and sustainable protection of agrosystems in general and citrus cultivation in particular. However, the success of this process requires the mastery of the interactions that occur between aphids, aphidophages, and the surrounding environment.

## 5 CONCLUSION

The aphid fauna recorded from the three citrus orchards surveyed is represented by seven species, the most widespread of which are *Aphis gossypii* and *Aphis spiraeicola*. The colonies of aphids are only present during the autumn and spring periods. These are associated with an aphidophages fauna consisting of 34 species, of which 30 are predatory and 4 are Parasitoid. However, the most widespread aphidophages are *Episyrphus balteatus*, *Chrysoperla carnea*, *Coccinella septempunctata*, *Aphidoletes aphidimyza* (predators), and *Lysiphlebus fabarum* (parasitoid).

In terms of richness and frequency, ladybugs are the most numerous with 100 individuals (31.35 %), followed by lacewings with 75 individuals (23.51 %), then by hoverflies with 65 individuals (20.37 %), then by bugs with 45 individuals (14.11 %), and finally by gall midges with only 4 individuals, or 1.25 %. Other generalist predators that can have an impact on aphid control are also present, with a total of 30 individuals (9.4 %) distributed over 19 different species.

The highest diversity of aphidophages is noted towards the end of April with  $D = 0.59$ ,  $H = 2.42$ ,  $E = 0.49$ . This diversity gradually regresses until it becomes zero from November onwards, before manifesting itself again from the beginning of March.

The study revealed affinities between aphid species and their potential predators. Indeed, correlations between aphids and aphidophages, translating predation activities, were noted during the period from the end of March to November. The choice of prey by the predator, in the case of aphid diversity, depends on both intrinsic and extrinsic factors.

## 6 REFERENCES

- ABH ; Chelliff Zahrez (2003). *Agence National de Développement de l'investissement. Monographie de la Wilaya de Chlef. Guide Unique Décentralisé de Blida*. Pp.3-17.
- Ait Amar, S., Benoufella-Kitous K., Medjdoub-Bensaad F. and tahar-Chaouche S. (2022). Diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en cultures sous serre à Tizi-Ouzou, Algérie, *Entomologie Faunistique - Faunistic Entomology*. <https://doi.org/10.25518/2030-6318.5785>
- Almohamad R., Verheggen F.J., Francis F. and Haubruge E. (2007). Predatory hoverflies select their oviposition site according to aphid host plant and aphid species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 125, 13–21. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00596.x>
- Aroun M E. (2015). Temporal variations in the life-cycles of aphids (Sternorrhyncha: Aphididae) and their coccinellid predators. *European Journal of Entomology*, 11(3), 432-439. <https://doi.org/10.14411/eje.2015.060>
- Barbagallo S. and Patti I. (1986). The Citrus aphids, behaviour, damages and integrated control in integrated pest control in citrus groves. *1st Edition. Imprimer European Community*, 67-75. <https://doi.org/10.1201/9781003079279-16>
- Barbault R. (1993), *Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*. Ed. Masson. Paris, 269 p.
- Ben-Halima-Kamel M. and Ben-Hamouda M.H. (2005). A propos des pucerons des arbres fruitiers de Tunisie. *Notes Faunistiques de Gembloux*, 58, 11-16.
- Ben-Halima-Kamel M, Rebhi R. and Ommezine A. (2011). Habitats et proies de *Coccinella algerica* Kovar dans différentes régions côtières de la Tunisie. *Faunistic Entomology*, 6 (1), 35-45.
- Blondel J. (1979). *Biogéographie écologie*. Ed. Masson. Paris, 173 p.
- Cambra M., Gorris M.T., Marroquín C., Román M.P., Olmos A., Martínez M.C., Mendoza A.H., López A. and Navarro L. (2000). Incidence and epidemiology of *Citrus tristeza virus* in the Valencian community of Spain. *Virus Research*, 71, 85-95. [https://doi.org/10.1016/S0168-1702\(00\)00190-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1702(00)00190-8)
- Dajoz, R. (1985). *Précis d'écologie*. 5ème édition Dunod Université : Paris.
- Dajoz R. (2003). *Précis d'écologie*. 7 ème édition, Ed. Dunod, Paris, 615
- DeMoya-Ruiz, C et al. (2023). Occurrence, distribution, and management of aphid-transmitted viruses in cucurbits in Spain. *Agents Pathogènes*, 12(3), 422. <https://doi.org/10.3390/pathogens12030422>
- Deguine J.P. and Leclant F. (1997). *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (Hemiptera, Aphididae). *Les prédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde*. Ed. Centre International Recherché. Agronomies DSevelopment. (C.I.R.A.D.), 11, Paris, 112 p.
- Djellab S. A. van Eck and B. Samraoui. (2013). Une étude des syrphes du nord-est de l'Algérie (Diptera: Syrphidae). *Journal Egyptien de Biologie*, 15, 1-12. <http://dx.doi.org/10.4314/ejb.v15i1.1>
- Escofier, B. and Pagès, J. (2008). *Analyses factorielles simples et multiples objectifs, méthodes et interprétation*. 4 édition, Dunod, Paris, 2008, 317P
- FAO. (2022). *World Food and Agriculture – Statistical Pocket-book 2022*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2212en>
- Finke, D. L. and R. F. Denno. (2004). Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature*, 429, 407–410. <https://doi.org/10.1038/nature02554>
- Gómez-Marco, F., Tena, A., Jacas, J.A. and Urbaneja, A. (2015). Early arrival of predators controls *Aphis spiraeicola* (Patch, 1944) colonies in citrus clementines. *Journal of Pest Science*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0668-9>
- Gonzalez D., Nave A., Gonçalves F., Nunes F.M., Campos M. and Torres L. (2016). Higher longevity and fecundity of *Chrysoperla carnea*, a predator of olive pests, on some native flowering Mediterranean plants. *Agronom Sustainable Development*, 36, 3. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0369-7>
- Guenauoui Y. and Mahiout R. (1993). The role of a thelytokous strain of *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896) (Hymenoptera: Aphididae) in the population control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (Homoptera: Aphididae) in North Algeria. – *Aphidophaga* 5, I.O.B.C. symposium, Antibes, Semptember 6-10: p.62
- Guillaum J. L., Laques A.E., Léna P. and De Robert P., (2009). *La spatialisation de la biodiversité*. IRD Éditions, Institut de recherche pour le développement, Collection latitudes 23. Marseille, France. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.1157>
- Herrbach E. (2022). Les insectes vecteurs de virus de plantes. *Magazine en Ligne Passion Entomologie*. <https://passion-entomologie.fr> > insectes-virus-plantes. <https://www.mdpi.com/2076-0817/12/3/422>
- Hong B.M. and Hung H.Q. (2010). Effect of temperature and diet on the life cycle and predatory capacity of *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Syrphidae: Diptera) cultured on *Aphis gossypii* (Glover, 1877). *Journal International Society Southeast Asian Agricultur Sciencei*, 6, 98–103.
- Hullé M., Coeur d'Acier A., Bankhead-Dronnet S. and Harrington R. (2010). Aphids in the face of global changes, *Center Recherche Biologies*, 333(6-7), 497-503. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2010.03.005>
- Hullé, M. Turpeau, E. Ait Ighil, E. Robert, Y. and Monet, Y. (1999). Les pucerons des cultures maraîchères : cycle biologique et activités de vol. ACTA INRA Ed. Paris, 136 p.
- Kalushkov, P. and Hodek, I. (2004). The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. *BioControl*, 49, 21–32. <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000009385.90333.b4>
- Kavallieratos N.G., Christos G. Athanassiou, George J. Stath and Željko Tomanović. (2002). Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on citrus: Seasonal abundance, association with the species of host plant and sampling indices, *Phytoparasitica*, 30(4), 365-377. <https://doi.org/10.1007/BF02979684>
- Laamari M., S.Tahar-Chaouche, S.Benferhat, H.Merouani, S. Ghodbane, N. Khenissa and P. Sary. (2011). Interactions tri-trophiques: Plante-puceron-hyménoptère parasitoïde

- observés en milieu naturels et cultivés de l'Est algérien.  
*Faunistic Entomology*, 63(3), 115-120.
- MADRP. (2021). *Statistique agricole, superficies & productions, SERIE B*. Ministry of agriculture, rural development and fishing of Algeria. 77p.
- Marroquín C., Olmos A., Gorris M. T, Bertolini E., Carmen Martínez M., Carbonell E.A., De Mendoza A.H., Cam-bra M. (2004). Estimation of the number of aphids carrying *Citrus tristeza virus* that visit adult citrus trees. *Virus Research*, 100, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2003.12.018>
- Mohammedi A. (2015). *L'impact de la prédation du héron gardebœufs *Bubulcus ibis* L. dans les milieux agricoles de la région de Chlef*. Thèse de doctorat en sciences, Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques, Alger, 245p.
- Mohammedi A., Ali Arous S. and Kerrouzi M. (2019). Entomo-faunal diversity and similarity indices of different agroeco-systems in northwest Algeria. *Journal of Insect Biodiversity and Systematics*, 05(2), 143-152. <https://doi.org/10.52547/jibs.5.2.143>
- Mostfaoui H., Allal-Benfekih L., Djazouli Z.E., Petit D., and Saladin G. (2014). Why the Aphid *Aphis spiraecola* (Patch, 1914) is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *Center Recherche Biologies*, 337, 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2013.11.0088>
- Paulian M. (1999). Lutte biologique contre les ravageurs. Les chrysopes, auxiliaires contre des insectes divers. *Phytoma – Défense des Cultures*, 522, 41-46.
- Rakhshani E., Starý P., and Tomanović Ž. (2013). Tritrophic associations and taxonomic notes on *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896) (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae), a keystone aphid parasitoid in Iran. *Archives of Biological Sciences, Belgrade*, 65(2), 667-680. <https://doi.org/10.2298/ABS1302667R>
- Ramade, F., (1984). *Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale*. Ed. Mc Graw Hill. Paris, 403 p.
- Raymond L., Plantegenest M., Gauffre B., Sarthou J-P., and Vi-alatte A. (2013). Lack of genetic differentiation between contrasted overwintering strategies of a major pest predator *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Diptera: Syrphidae): Implications for biocontrol. *PLoS ONE*, 8(9), e72997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072997>
- Sahraoui L. (2017). *Les coccinelles algériennes (Coleoptera, Coccinellidae): Analyse faunistique et structure des communautés*. Thèse de doctorat en Ecologie, biodiversité et évolution. Université Paul sabatier de Toulouse, 195p.
- Saharaoui L., Benzara A. and Doumandji-Mitiche B. (2001). Dynamique des populations de *Phyllocnistis citrella* Stainton (1856) et impact de son complexe parasitaire en Algérie. *Fruits*, 56(6), 403-413. <https://doi.org/10.1051/fruits:2001103>
- Saharaoui L., and Hamptinne J.L. (2009). Dynamique des communautés des coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) sur agrumes et interactions avec leurs proies dans la région de Rouiba (*Metidja orientale*) Alger. *Annal. Societé. Entomol-ogy. France*, 45(2) 245-259. <https://doi.org/10.1080/00379271.2009.10697604>
- Saharaoui L., Hemptinne J.L. and Magro A. (2015). Organisation des communautés de coccinelles (Coleoptera:Coccinellidae) dans le nord et le sud algérien. *Faunistic Entomol-ogy*, 68, 219-232.
- Samaranayake KGLI. and Costamagna A.C. (2019). Adjacent habitat type affect the movement of predators suppressing soybean aphids. *PLOS ONE*, 14(6), e218522. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218522>
- Sarker S., Howlader A. J. and Aslam A. F. M., (2019). Aphid predation efficacy of *Coccinella septempunctata* and its molecular characterization based on *COI* gene sequence. *Nuclear Science and Applications*, 28(1&2). DOI: 10.3329/bj.v47i2.44334
- Satar S, Satar G, Karacaoğlu M, Uygun N, Kavallieratos NG, Starý P, and Athanassiou CG. (2014). Parasitoids and hyperparasitoids (Hymenoptera) on aphids (Hemiptera) infesting citrus in the east Mediterranean region of Turkey. *Journal Insect Science*, 114,178. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu040>
- Snyder W. E., and Ives A. R. (2003). Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. *Ecology*, 84, 91–107. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0091:IBSAG N\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0091:IBSAG N]2.0.CO;2)
- Stary P. (1988). *Aphids, their biology, natural enemies and control*, Elsevier, Amsterdam, In A.K., Minks and P. Harrewijn(eds.), 171-184.
- Straub C.S. and Snyder W.E. (2006). Species Identity dominates the relationship between predator biodiversity and herbivore suppression. *Ecology*, 87(2), 277–282. <https://doi.org/10.1890/05-0599>

## **Chapitre II : Plantes à effet pesticides : Diversité et utilisation en protection des cultures dans une zone sud méditerranéenne : étude de cas de Chlef au Nord-Ouest Algérien**

**Introduction :** Les pesticides chimiques sont nocifs pour l'environnement et la santé publique. Leur toxicité élevée les rend dangereux pour les humains, les animaux, les organismes vivants et l'écosystème. Cette situation a conduit à la recherche de méthodes de protection moins toxiques et moins polluantes, comme les biopesticides.

**Objectif :** recensement et identification des plantes à activité biologique pesticides dans la région de Chlef (Algérie). Ces plantes pourront faire l'objet de tests et d'études en vue de leur utilisation dans la protection des cultures contre les ravageurs et les pathogènes.

**Matériel et méthodes :** trois stations ont été choisies (Forêt, garrigue et friche) dans trois zones géographiques (littorale, plaines et montagnes). un relevé mensuel des plantes est effectué durant une année entière. Celui-ci est réalisé dans des parcelles de 10m<sup>2</sup> choisies au hasard à des endroits différents de la station d'étude. Au cours de chaque relevé, la fréquence des plantes pesticides est estimée selon la méthode phytosociologique de Braun Blanquet et la détermination du type biologique a été faite selon la classification de Raunkiaer (1934).

**Resultats :** 47 espèces végétales ont été déterminées comme biopesticides pour la protection des cultures. Celles-ci sont réparties sur 21 familles botaniques avec dans l'ordre de les Lamiaceae avec 10 espèces et des Asteraceae avec 9 espèces, les Apiaceae avec 4 espèces, les Cupressaceae avec 4 espèces, ensuite les Myrtaceae et les Cucurbitaceae avec 2 espèces et enfin les autres familles avec 1 espèce chacune.

Le dénombrement des espèces par type biologique, il ressort que les hémicryptophytes et les phanerophytes sont les plus représentés avec respectivement 17 espèces (36,17%) et 15 espèces (31,92%),

**Conclusion :** les plantes à effet pesticides peuvent être utilisées pour lutter contre les organismes nuisibles. Elles permettent de réduire la pression des bioagresseurs et le besoin en pesticides de synthèse.

Cette étude a été publiée dans la revue «**Journal of Chemical Health Risks** »

## Article 2: Pesticide Plants: Diversity and Use in Crop Protection in a Southern Mediterranean Area: Case Study of Chlef in North-West Algeria

Dalila Amokrane\*<sup>1, 3, 4</sup>, Ahmed Mohammedi<sup>1, 4</sup>, Mostafa EL Haouari<sup>1</sup>, Said Bettahar<sup>1</sup>, Adda Ababou<sup>2, 4</sup>

<sup>1</sup> Department of Agronomy., Faculty of Nature and Life Sciences, University Hassiba Ben Bouali of Chlef.02000<sup>2</sup>Department of Biology, Faculty of Nature and Life Sciences, University Hassiba Ben Bouali of Chlef.02000 <sup>3</sup>Laboratory of Crop Production and Protection in the region of Chlef, University Hassiba Ben Bouali of Chlef<sup>4</sup>Laboratory of Local Natural Bio-Resources laboratory, University Hassiba Ben Bouali of Chlef

(Received: 04 August 2023

Revised: 12 September

Accepted: 06 October)

### KEYWORDS

Plants, biopesticide, pest, agriculture, biological control

### ABSTRACT:

In order to identify the pesticidal plants present in the region of Chlef northwest Algeria, monthly surveys were conducted over a period of 1 year in three distinct areas (coastal zone, plain zone and mountain zone), as a result 47 plant species distributed over 21 different botanical families were identified as biopesticides. The most represented families were the Lamiaceae, Asteraceae, Apiaceae and Cupressaceae. While in terms of plant life form, the most dominant forms were the Therophyte and Hemicryptophytes. For most of the identified species the toxic molecules were largely located in the leaves and flowers. It was also observed that forested areas were characterized by a limited number of pesticidal plants with a higher coverage rate, while the opposite is true in fallow lands and scrublands.

## 1. Introduction

Chemical pesticides are characterized by their high toxicity which makes them particularly dangerous for humans, animals, living organisms and the environment as a whole (Ravindran *et al.*, 2016). It is estimated that each year, between 5,000 and 20,000 deaths are attributed to pesticides (Alewu *et al.*, 2011), and between 500,000 to 1 million people are poisoned by these toxic substances (Yadav *et al.*, 2015). It is therefore necessary to explore other effective ways of protection, less toxic and less polluting especially biopesticides.

Biopesticides, as a part of biological control methods, can be derived from bacteria, fungi, viruses, nematodes, and plants (Vincent, 1998) and offer many advantages, including. They can be produced in large quantities to meet the needs of industry, and their application is compatible with conventional sprayers, thus facilitating their adoption by farmers (Wachenheim *et al.*, 2021). Any plant whose chemical properties can be exploited to control pests, thereby significantly reducing the

pressure of bio-aggressors and the need for synthetic pesticides, is called a pesticide plant (Amoatey & Acquah, 2010) (Yarou *et al.*, 2017).

"In addition to plant molecules with insecticidal, fungicidal, or herbicide properties, recent research has highlighted the capabilities of plant compounds in plant defense mechanisms. These findings open up new perspectives in terms of stimulating the plant's natural defenses or developing chemical and biological processes to valorize these molecules as phytosanitary products or strategies (Regnault-Roger *et al.*, 2008) (Berestetskiy, 2023).

This paper reviews the current status of research plants and their active substances to identify potential sources of biological and natural pesticides, has become a concern for researchers in recent years. In this context, the present work aims to identify and determine pesticide plants in different environments in the region of Chlef (Algeria) that can be the subject of tests and studies for their use in the protection of crops against pests and pathogens.



## 2. Methods Study sites

The study region (Chlef) is located in Northwest Algeria, at an altitude of 116 meters, at 36.21° North latitude and 1.33° East longitude. It includes three distinct geographical zones: a coastal zone, a plain zone, and a mountain zone. In each of these three zones, we chose three different stations (wasteland, scrubland, and forest) where we conducted our floristic surveys (figure 1). These stations or study sites are located in Beni Haoua for the coastal zone, in Oued Fodda for the plain zone, and in Beni Bouateb for the mountain zone.

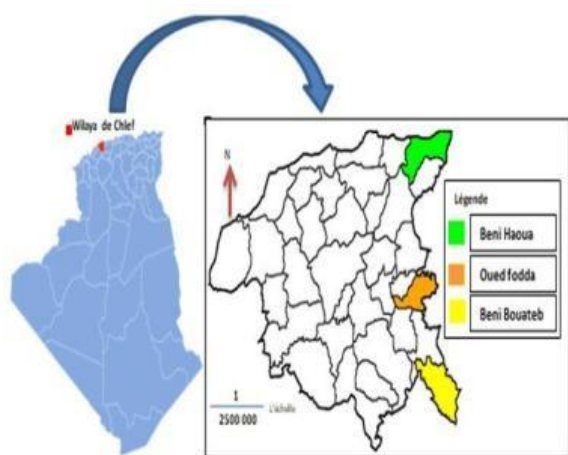


Figure 1: Geographic location of the region and study sites

In each station (forest, scrubland, and wasteland) of the three zones mentioned above, a monthly plant survey is conducted throughout an entire year. This is done in 10m<sup>2</sup> plots chosen at random in different locations of the study station (figure 2).

During each survey, the frequency of pesticide plants is estimated according to the phytosociological method of Braun-Blanquet and the determination of the biological type was made according to the Raunkiær classification (1934).



Figure 2: Plant census and frequency estimation methods

To facilitate plant identification, we used different guides to the Algerian flora described by Gubb (1930), Maire (1959), Quezel and Santa (1962 and 1963), Bremness (2005), and Ilbert *et al.* (2016). In addition, to distinguish pesticide plants from the entire set of identified plants, we referred to, on the one hand, the work on the pesticide effect of plants carried out in Algeria and elsewhere, and on the other hand, to the testimonies and opinions of Algerian passants and farmers who have already used this practice in the protection of their cultures.

### 2.1. Frequency calculation

To calculate the frequency of plants in different environments, we delineated plots of 10 m<sup>2</sup> within which we estimated the areas occupied by each plant at the level of each environment. Then we calculated the frequency of territory occupied by the plant in the environment in question. This is obtained as follows:

$$fr = \frac{\text{area occupied by the plant}}{\text{area}} \times 100$$

### 2.2. Statistical analysis: Correspondence Analysis

(CA) To determine the correlations between the different plants identified, on the one hand, and the correlations of these plants with the study environments, on the other hand, the data collected underwent a correspondence analysis (CA) using the software (IBMSPPS Statistics (2020)).

### 3.Results

**Table 1: Inventoried pesticide plants, their botanical families, their toxic parts, and their target insects**

<b>Family</b>	<b>Scientific name</b>	<b>Part used</b>	<b>Target pest</b>	<b>Bibliography reference</b>
Lamiacées	<i>Lavandula stoechas</i>	Flowers and leaves	<i>Aphis fabae</i>	Ketoh (1998)
	<i>Rosmarinu officinalis</i>	Leaves	<i>Aphis fabae</i> <i>Penicillium digitatum</i>	Sehari et al. (2018) Daferera (2000)
	<i>Thymus vulgaris</i>	Leaves	<i>Ceratitidis capitata</i>	Oulebsir- Mohandkaci et al. (2015)
	<i>Origanum vulgare</i>	Leaves	<i>Penicillium digitatum</i> <i>Aspergillus sp</i>	Daferera (2000) Carmo et al. (2008)
	<i>Origanum majorana</i>	Flowers and leaves	<i>Spodoptera littoralis</i>	Souguir et al. (2013)
	<i>Mentha rotundifolia</i>	Leaves	<i>Ephestia kuehniella</i>	Aouadi et al. (2020)
	<i>Salvia officinalis</i>	Flowers and leaves	<i>Aphis fabae</i> <i>Scopol</i>	Benoufella-kitous (2015)
	<i>Marrubium vulgare</i>	stem with leaves	<i>Sitophilus oryzae</i>	Sehari et al. (2018)
	<i>Phlomis crinita</i>	Leaves	<i>Agrobacterium sp,</i> <i>Erwinia amylovora</i>	Fettah (2011)
	<i>Mentha pulegium</i>	Leaves	<i>Sitophilus oryzae</i>	Sehari et al. (2018)
Asteraceae	<i>Chamaemelum nobile</i>	Flowers	<i>Tribolium castaneum</i>	Hashem & Ramadan (2021)
	<i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i>	Flowers	<i>Aphis fabae</i>	Ketoh (1998)
	<i>Calendula officinalis</i>	Flowers	<i>Aphis fabae</i>	Bouzeraa et al. (2019)
	<i>Inula viscosa</i>	Flowers and leaves	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	Touhidul et al. (2022)
	<i>Bellis annua</i>	Flowers and leaves	<i>Aphis fabae</i>	Smith et Boon (2004)
	<i>Anacyclus clavatus</i>	Flowers	<i>Aphis fabae</i>	Khabbach et al. (2012)
	<i>Echinops spinosus</i>	Leaves	<i>Bactrocera oleae</i>	Belabes et al. (2020)
	<i>Calendula arvensis</i>	Flowers	<i>Tribolium castaneum</i>	Abudunia et al. (2014)
	<i>Artemisia absinthium</i>	Leaves	<i>Sitophilus zeamais</i>	Abbott (1925)
Apiaceae	<i>Ammoïdes verticillata</i>	Flowers and leaves	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Bittner et al. (2008)
	<i>Daucus carota</i>	Flowers and leaves	<i>Ceratitidis capitata</i>	Duyck (2002)
	<i>Foeniculum vulgare</i>	Seeds	<i>Sitophilus zeamais</i>	Zoubiri & Aoumeur (2011)
	<i>Daucus Crinitus</i>	Flowers and leaves	<i>Tuta absoluta</i>	Benyahia-Bouayad Alam (2015)

Cupressaceae	<i>Juniperus oxycedrus</i>	Flowers and leaves	<i>Sitophilus oryzae</i> <i>Tribolium confusum</i>	Athanassiou et al. (2013)
	<i>Juniperus phoenicea</i>	Leaves	<i>Aphis sp</i>	Amokrane et al. (2023)
	<i>Cupressus sempervirens</i>	Leaves	<i>Tribolium castaneum</i>	Saada et al. (2022)
	<i>Tetraclinis articulata</i>	Flowers and leaves	<i>Culicidae</i>	Aouinty et al. (2006)
Myrtaceae	<i>Myrtus comminus</i>	Flowers	<i>Tribolium confusum</i> <i>Callosobruchus maculatus</i>	Khani and Basavand (2013)
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Leaves	<i>Myzus persicae</i>	Oulebsir- Mohandkaci et al. (2015)
Cucurbitaceae	<i>Ecballium elaterium</i>	Flowers and leaves	<i>Aphis fabae</i>	Maria et al. (1999)
	<i>Colocynthis vulgaris</i>	Fruit	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Myzus persicae</i>	Maqsoud et al. (2022)
Asparagaceae	<i>Drimia maritima</i>	Flowers	<i>Drosophila melanogaster</i>	Saadane et al. (2020)
Poaceae	<i>Cymbopogon shoenanthus</i>	Leaves	<i>Callosobruchus maculatus</i>	Ketoh et al. (2006)
Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Leaves	<i>Sitophilus oryzae</i>	Maazoun (2019)
Fabaceae	<i>Genista scoparia</i>	Flowers and leaves	<i>Aphis fabae</i>	Ketoh (1998)
Tamaricaceae	<i>Tamarix aphylla</i>	Leaves	<i>Aspergillus sp</i>	Bibi et al. (2015)
Rhamnaceae	<i>Ziziphus lotus</i>	Leaves	<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	Bammou et al. (2015)
Rutaceae	<i>Ruta montana</i>	Leaves	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Bittner et al. (2008)
Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i>	Flowers and leaves	<i>Botrytis cineria</i>	Capieau et al. (2004)
Anacardiaceae	<i>Pistacia lentiscus</i>	Leaves	<i>Aphis sp</i>	Amokrane et al. (2023)
Zygophyllaceae	<i>Peganum harmala</i>	Seeds	<i>Locusta migratoria</i>	Benzara et al. (2011)
Apocynaceae	<i>Nerium oleander</i>	Flowers	<i>Chaitophorus leucomelas</i>	Zaid et al. (2022)
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	Leaves	<i>Culex pipiens</i>	Toubal et al. (2019)
Oléaceae	<i>Olea europaea</i>	Leaves	<i>Ephestia uehniella</i>	Lahcene et al. (2018)
Asphodelaceae	<i>Asphodelus microcarpus</i>	Flowers and leaves	<i>Tribolium castaneum</i>	Saada et al (2022)
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i>	Roots	<i>Macrosiphum rosae</i>	El Haddad et al. (2022)
	<i>Mercurialis annua</i>	Flowers	<i>Tribolium confusum</i>	Ben Nasr et al. (2021)



In the present study, we have identified 47 plant species that are potentially useful as biopesticides for crop protection against pests and pathogens. These are distributed over 21 botanical families, the most represented of which are Lamiaceae with 10 species and Asteraceae with 9 species. They are followed by Apiaceae with 4 species, Cupressaceae with 4 species, Myrtaceae and Cucurbitaceae with 2 species, and finally the other families with 1 species each (table 1).

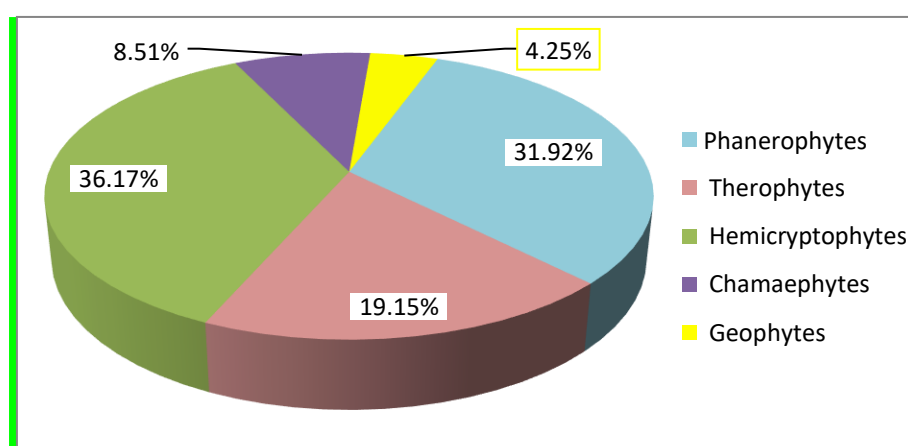
According to the literature, the substances or molecules with pesticide effects are largely located in the leaves and flowers. Thus, in 21 species, only the leaves are toxic compared to 9 species in which only the flowers are toxic, while 14 other species are toxic through the leaves and flowers at the same time.

### Distribution of inventoried plants by biological type:

The enumeration of species by biological type is carried out on all the species inventoried in the study stations (Table 2). Thus, the percentage of the different types is recorded in Figure 3. It appears that the hemicryptophytes and phanerophytes are the most represented with 17 species (36.17%) and 15 species (31.92%), respectively. They are followed by therophytes with only 9 species, or 19.15%, then chamaephytes with 4 species (8.51%) and finally geophytes with only 2 species (4.25%).

**Table 2: Biological types of pesticide plants found in the study sites:**

Types Biologiques	Espèces
Phanerophytes	<i>Agave Americana</i> , <i>Cupressus sempervirens</i> , <i>Ziziphus lotus</i> , <i>Myrtus communis</i> , <i>Nerium oleander</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Tetraclinus articulata</i> , <i>Tamarix aphylla</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Ricinus communis</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Genista scoparia</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> , <i>Juniperus phoenicea</i>
Therophytes	<i>Ammoides verticillata</i> , <i>Anacyclus clavatus</i> , <i>Bellis annua</i> , <i>Calendula arvensis</i> , <i>Calendula officinalis</i> , <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> , <i>Colocynthis vulgaris</i> , <i>Mercurialis annua</i> , <i>Urtica dioica</i>
Hemicryptophytes	<i>Chamaemelum nobile</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Cymbopogon shoenanthus</i> ; <i>Daucus carota</i> , <i>Daucus crinitus</i> , <i>Mentha rotundifolia</i> ; <i>Mentha pulegium</i> , <i>Marrubium vulgare</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Ruta Montana</i> , <i>Salvia officinalis</i> , <i>Inula viscosa</i> , <i>Phlomis crinita</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Origanum majorana</i> , <i>Ecballium elaterium</i> , <i>Echinops spinosus</i>
Chamaephytes	<i>Peganum harmala</i> , <i>Foeniculum vulgare</i> , <i>Lavandula stoechas</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i>
Geophytes	<i>Asphodelus microcarpus</i> , <i>Drimia maritime</i>



**Figure 3:** Frequency of biological types in the study areas

Table3: Frequency of each pesticidal plant found in each of the surveyed sites

Region Species	Mountain region			Plain region			Coastal region		
	Wasteland	Scrubland	Forest	Wasteland	Scrubland	forest	Wasteland	Scrubland	Forest
<i>Agave americana</i>		2						1,5	
<i>Ammoides verticillata</i>	0,8	0,15		1,25			0,55		
<i>Anacyclus clavatus</i>	4,5	0,5		8,45	0,3		2,5		
<i>Artemisia absinthium</i>		0,8		0,4	0,8				
<i>Asphodelus Microcarpus</i>	0,1	4	0,05				0,05	0,55	
<i>Bellis annua</i>	1,5	0,15		3,2	0,2		0,85		
<i>Calendula arvensis</i>	1,15			0,95			0,85		
<i>Calendula officinalis</i>	1,25			0,5			2,5		
<i>Chamaemelum nobile</i>	0,8			2,5					
<i>Chrysanthemum Cinerariaefolium</i>	1,85	0,25		5,55			1,55		
<i>Colocynthis vulgaris</i>	2,35								
<i>Cupressus sempervirens</i>		0,8	2					0,02	1,2
<i>Cymbopogon Shoenantus</i>	1,85	0,25					1,25	0,3	
<i>Daucus carota</i>	0,08	0,02		0,1	0,02				
<i>Daucus crinitus</i>	0,8			1,95	0,15		0,55		
<i>Drimia maritime</i>	0,3	0,1	0,05				0,1	0,08	
<i>Ecballium elaterium</i>	0,4			0,25					
<i>Echinops spinosus</i>	0,25			0,2			0,1		
<i>Eucalyotus globulus</i>						65			
<i>Foeniculum vulgare</i>	1,2	0,04			0,55				
<i>Genista scoparia</i>		1,35	0,25				0,25	3,55	0,75
<i>Inula viscosa</i>	0,5	0,08		0,75	0,08				
<i>Juniperus oxycedrus</i>		3,2	2,15					1,5	
<i>Juniperus phoenicea</i>		0,75	3,04						
<i>Lavandula stoechas</i>	2,8	0,25					3,1	0,75	
<i>Marrubium vulgare</i>	0,55			1,2					
<i>Mentha pulegium</i>					0,05				
<i>Mentha rotundifolia</i>				1,2					
<i>Mercurialis annua</i>	0,15	0,08		0,25	0,1				
<i>Myrtus communis</i>								2,2	1,4
<i>Nerium oleander</i>					5,25				
<i>Olea europaea</i>		3,5	3,25					4,2	2,2
<i>Origanum majorana</i>	0,25						0,4		
<i>Origanum vulgare</i>	0,08			0,25	0,03				
<i>Peganum harmala</i>		0,03							
<i>Phlomis crinite</i>	0,08	0,03					0,05		
<i>Pinus sylvestris</i>		3,50	65					8,5	70

<i>Pistacia lentiscus</i>		10,25	5,25					15,35	6,5
<i>Ricinus communis</i>					8,5				
<i>Rosmarinus officinalis</i>		0,85							
<i>Ruta Montana</i>	1,2						0,65		
<i>Salvia officinalis</i>	0,75	0,25					0,8	0,25	
<i>Tamarix aphylla</i>		2,5			50				
<i>Tetraclinus articulate</i>		6,25	3,25					7,55	2,35
<i>Thymus vulgaris</i>	0,75	0,9							
<i>Urtica dioica</i>	0,45			3,55	4,25				
<i>Ziziphus lotus</i>				0,5	3			1,5	
<b>Total coverage by pesticidal plants (%)</b>	<b>26.74</b>	<b>42.83</b>	<b>84.29</b>	<b>33</b>	<b>73.28</b>	<b>65</b>	<b>16.1</b>	<b>47.8</b>	<b>84.4</b>

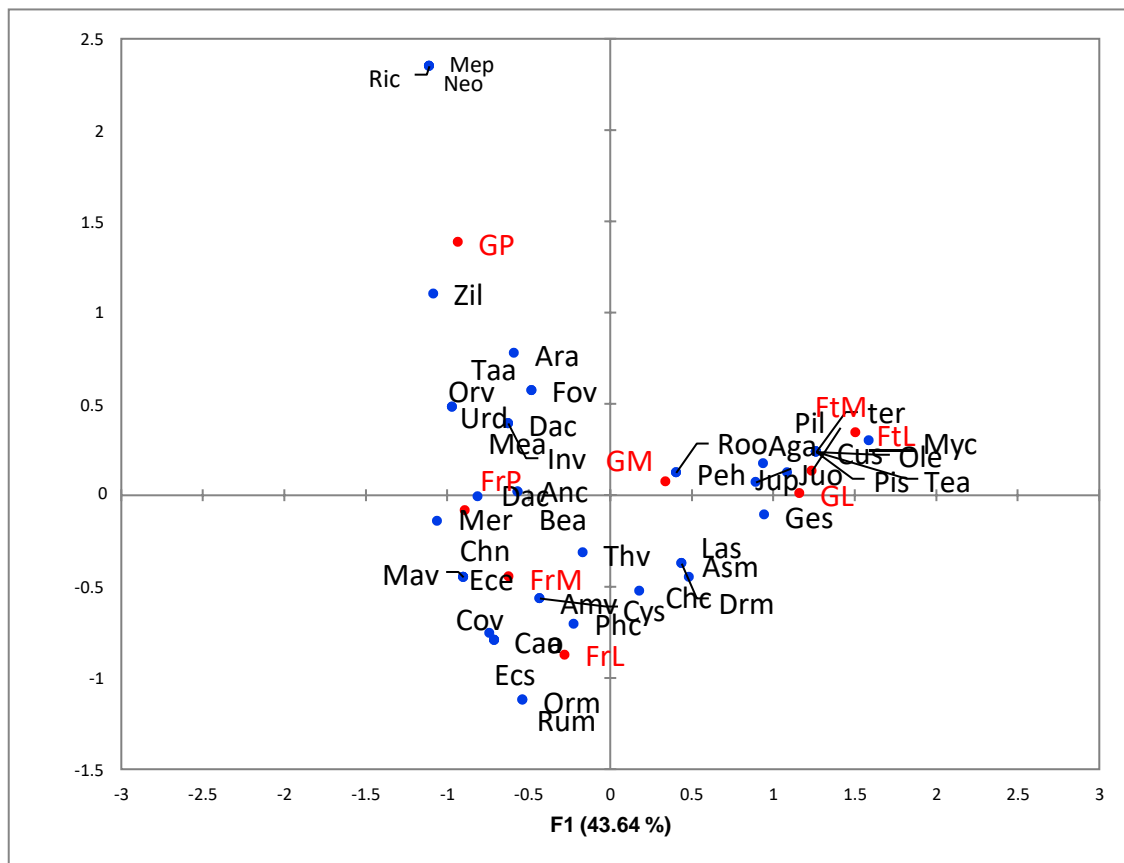
Total coverage by pesticide plants was high in forests, ranging from 65% to over 84% depending on the zone, slightly less in scrublands (42.83% to 73.28%) and low in wastelands (16% to 33%). In any case, the presence of this type of plant is very marked in the study area, although the coverage rate differs according to the type of environment (table 3).

Forested areas are characterized by a reduced number of plant species, but their frequencies (coverage rate) are very high. Thus, it was noted that *Pinus sylvestris* has a frequency of 70% and 65% in two surveyed forest areas, and *Eucalyptus globulus* covers 65% of the forest area at the station in the Oued Fodda region (plain area). Scrublands are characterized by a mixture of herbaceous plants and shrubs. Sometimes, the dominance of certain species is noted, but their frequencies are lower than those mentioned in forest environments. We note *Tamarix aphylla* with a frequency of 50% in scrubland of Oued fodda (Plain area), *Pistacia lentiscus* whose frequency was 10.25% in the scrubland of Beni Bouatab (mountain area) and 15.35% in that of Beni Haoua (coastal area).

As for wastelands, characterized by a single herbaceous layer with a low coverage rate, the best frequencies noted are those of *Anacyclus clavatus*, which reached 8.45% in the site of Oued Fodda (Plain area) and 4.5% in that of Beni Bouatab (mountainous area), as well as that of *Lavandula stoechas*, which was 3.1% in the site of Beni Haoua (coastal area). Distribution and correlation of pesticide plants through a CA

*Chrysanthemum cinerariifolium* (Chc), *Lavandula stoechas* (Las), *Ecballium elaterium* (Ece), *Ammoides verticillata* (Amv), *Marrubium vulgare* (Mav), *Mentha*

The presence-absence of pesticide plants in the different surveyed sites underwent a CA of which we only retained the results of the first two axes which represent 64.24% of inertia (Figure 4). From this, it appears three distinct groups. The first group appears on the positive side of axis 1 and includes plants correlated with forest environments (FtM and FtL) and scrublands (GM and GL). These are *Myrtus communis* (Myc), *Tetraclinus articulate* (Tea), *Pinus sylvestris* (Pis), *Cupressus sempervirens* (Cus), *Pistacia lentiscus* (Pis), *Cupressus sempervirens* (Cus), *Pistacia lentiscus* (Pil), *Olea europaea* (Ole), *Juniperus oxycedrus* (Juo), *Juniperus phoenicea* (Jup), *Agave americana* (Aga), *Rosmarinus officinalis* (Roo) et *Peganum harmala* (Peh). The second group represents the plant species correlated exclusively with scrubland environments. This has been individualized on the positive side of axis 2. These are *Mentha pulegium* (Mep), *Nerium oleander* (Neo), *Ricinus communis* (Ric), *Ziziphus lotus* (Zil), *Artemisia absinthium* (Ara), *Foeniculum vulgare* (Fov), *Tamarix aphylla* (Taa), *Urtica dioica* (Urd), *Daucus carota* (Dac), *Origanum vulgare* (Orv), *Inula viscosa* (Inv), *Mercurialis annua* (Mea) and *Daucus crinitus* (Dar). The third group appeared on the negative side of axis 2 and concerns plants correlated with wastelands. These plants are *Origanum majorana* (Orm), *Calendula arvensis* (Caa), *Ruta montana* (Rum), *Echinops spinosus* (Ecs), *Cymbopogon shoenanthes* (Cys), *Calendula officinalis* (Cao), *Chamaemelum nobile* (Chn), *Colocynthis vulgaris* (Cov), *Phlomis crinite* (Phc), *rotundifolia* (Mer), *Asphodelus microcarpus* (Asm), *Thymus vulgaris* (Thv), and *Bellis annua* (Bea).



FrP: Scrubland plain, FrM: Scrubland Mountain, FrL: Scrubland Coastal  
 FtP: Forest plain, FtM: Forest Mountain, FtL: Forest Coasta, GP: wasteland plain, GM: wasteland mountain GL: wasteland Coastal

**Figure 4: Correlations of pesticidal plants - environments through CA**

#### 4- Discussion

The number of pesticide plants inventoried in the study area indicates a significant richness and diversity. In Algeria, no study has been devoted to the census of pesticide plants, but some attempts to know the aromatic and medicinal plants have been undertaken in some regions of the country such as those of Belouad (1998) and Kazi tani & Dali yahia (2020). An ethnobotanical study conducted in the southeast of Chlef allowed the determination of 84 spontaneous medicinal species (Maamar Sameut *et al.*, 2020). In West Africa, Yarou *et al.* (2017) cited 23 plants used to control arthropod pests of vegetable crops and 14 plants used against fungi and nematodes.

From a systematic point of view, this pesticide flora is dominated by Lamiaceae and Asteraceae, and a little less by Apiaceae and Cupressaceae. A study of medicinal and aromatic plants in the same study area revealed the dominance of the families of Lamiaceae and Asteraceae (Maamar Sameut *et al.*, 2020). It is worth noting that these two botanical families are commonly associated with Mediterranean regions (Johnson, *et al.*, 2008).

These plants produce active substances with insecticidal, antiseptic, or plant and insect growth regulating properties.

Most often, these active substances are secondary metabolites that originally protected plants from herbivores. These substances are largely located in the leaves and flowers. Plant pesticide extracts are less dangerous than synthetic pesticides and can have comparable efficacy in some conditions. They differ from them by their rapid decomposition and low polluting effect (Yarou *et al.*, 2017). The use of certain biopesticides in rotation or in combination with other biopesticides or with chemical products can help reduce the amount of chemical inputs, as well as the emergence of new strains resistant to pests (Xu *et al.*, 2011).

The pesticide plants in the Chlef region are dominated by therophytes, and much less by hemicryptophytes, chamaephytes, and phanerophytes. Maamar Sameut *et al.* (2020) noted that spontaneous medicinal and aromatic plants in the Chlef region are also dominated by therophytes and hemicryptophytes (27.38%) against 23.81% for phanerophytes and only 13.10 and 8.33% for chamaephytes and geophytes, respectively. Therophytes are considered a form that is resistant to drought and high temperatures in arid and semi-arid zones; they also adapt to winter cold and environmental disturbances due to grazing and cultivation (Kerzabi *et al.*, 2011), while Aidoud (1983) reports that in the Algerian high plateaus the increase in therophytes is directly related to a gradient of increasing aridity.

Biological types are morphological characteristics that allow plants to adapt to the environments in which they live (Dajoz, 1977). However, they express the form presented by plants in an environment without taking into account their systematic affiliation and translate a biology and a certain adaptation to the environment (Barry, 1988).

Overall, this distribution of biological types reflects the adaptation of plants to environmental conditions and survival strategies. The abundance of therophytes and hemicryptophytes can be associated with disturbed habitats or short life cycles, while the presence of chamaephytes and phanerophytes may indicate an adaptation to more rigorous and stable conditions. This understanding of biological types contributes to the knowledge of the structure and dynamics of plant communities in the ecosystem under study.

The results of species frequency reveal interesting variations in the distribution of plant species. Thus, some species are specific to certain zones (coastal,

plain, or mountain) or stations (wasteland, scrubland or Forest), while others are present in a more or less uniform manner.

Forested areas include fewer plant species, but their frequencies (coverage rate) are very high, given the nature and architecture of the plants present there (trees) such as *Eucalyptus globulus* and *Pinus sylvestris*. According to Johnson *et al.* (2008), the first species is adapted to hot and dry climates and frequents plains and regions with moderate precipitation, while the second species is adapted to mountain climates. These two forest plants have a bioinsecticidal effect against *Myzus persicae* (Oulebsir Mohand-Kaci *et al.*, 2015) and a biofungicidal effect against *Botrytis cinerea* (Capieau *et al.*, 2004), respectively.

In contrast to forests, wastelands and scrublands areas are composed mainly of herbaceous plants or at least a few shrubs, which are numerous but have low coverage. Among the abundant plants in these environments, we noted *Anacyclus clavatus*, whose insecticidal effect has been proven against *Tribolium castaneum* (Maria *et al.*, 1999), as well as *Lavandula stoechas* having a biocidal effect against *Aphis spiraecola* and *Tuta absoluta* (Amara *et al.*, 2020) as well as certain insects of stored products, including *Rhizopertha dominica* and *Tribolium castaneum* (Ncibi, 2020).

The variations in the frequencies of pesticide plants from one area to another can be influenced by environmental factors, interactions between species and their habitat, as well as anthropogenic factors such as human activity (Anderson, 2016).

The correspondence factor analysis allowed us to identify among the pesticide plants found in the study area the forest species, those in scrublands and those in fallows, although it is difficult to attribute a plant species to a single environment. Forest species can be found in more open environments and vice versa. Significant correlations are noted between forest plants and those in scrubland. Hakou (2023) noted that about 80% of the forest plants in the Rabat region (Morocco) are aromatic and medicinal. These plants, which in most cases have a pesticide effect on herbivores and other phytopathogenic agents, can be used in biological crop protection. In general, it is important to continue research efforts in Algeria and elsewhere to understand pesticide plants and explore their potential as alternatives to chemical pesticides. Such studies could

provide valuable information for sustainable agriculture, environmental protection, and human health.

## 5. Conclusion

Algeria is debatably the country with the most to gain from developing natural plant-based pesticides. This study allowed us to identify 47 species with pesticidal properties have been quantified from Chlef region. These plants are distributed over 21 different botanical families; the most represented being the Lamiaceae and Asteraceae. They are dominated by therophytes, followed by hemicryptophytes, then chamaephytes and phanerophytes. Forested areas are characterized by a small number of plant species, but their frequencies or coverage rates are very high, in contrast to wastelands and scrublands where plants are numerous but with low frequencies.

## 6 . References bibliographiques

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18:265-267.
- Abudunia, A.M., Ansar, M., Taoufik, J., Ramli, Y, Essassi, E.M., Ibrahim, A. and Khedid K. (2014). Evaluation of antibacterial activity of extracts from *Calendula arvensis* flowers, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(8), pp156-16.
- Aidoud, A. (1983). Contribution à l'étude phytosociologique des formations végétales de la steppe du Nord-Ouest Algérien (Régions de Tiaret et Tlemcen). Thèse de doctorat, Université de Lyon.
- Alewu, B., and Nosiri, C. ( 2011). Pesticides and Human Health. *Pesticides in the Modern World - Effects of Pesticides Exposure*. Edité par Margarita Stoytcheva InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/18734>.
- Amara, N., Boukhatem, M.N., Laissaoui, O. and Kaibouche, N. (2020). Valorisation de l'Huile Essentielle de la Lavande Papillon comme Bioinsecticide. *Algerian journal of natural products*. 8 (1): 733-739
- Amoatey, C.A. and Acquah, E. (2010): Basil (*Ocimum basilicum*) intercrop as a pest management tool in okra cultivation in the Accraplains. *Ghana J. Hort.*, 8, 65-70.
- Anderson, JT. (2016). Plant fitness in a rapidly changing world. *New Phytol* 210: 81– 87.
- Aouadi, G., Haouel, S., Soltani, A., Ben Abada, M., Boushah, E., Elkahoui, S., Taibi, F., Mediouni -Ben Jemâa, J. and Bennadja, S. (2020). Screening for insecticidal efficacy of two Algerian essential oils with special concern to their impact on biological parameters of *Ephesia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae), *Journal of Plant Diseases and Protection* 127:471–482.
- Aouinty, B., Oufara, S., Mellouki, F. and Mahari, S. (2006). Evaluation préliminaire de l'activité larvicide des extraits aqueux des feuilles du ricin (*Ricinus communis* L.) et du bois de thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.) sur les larves de quatre moustiques culicidés : *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen). *S E Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2006 10 (2), 67 – 71
- Athanassiou, C., Kavallieratos, N., Evergetis, E., Katsoula, A.M. and Haroutounian S.A. (2013). Insecticidal Efficacy of Silica Gel With *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* (Pinales: Cupressaceae) Essential Oil Against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of economic entomology*. 106(4):1902-10
- Bammou, M., Daoudi, A., Slimani, I., Najem, M., Bouiamrine, E.H., Ibijbijen, J. and Nassiri, L. (2015). Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus* L. » : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *J. Appl. Biosci.*, 86: 7966– 7975.
- Barry, J.P. (1988). Approche écologique des régions arides de l'Afrique. Université de Nice. ISS de Nouakchout. 107p.
- Belabbes, R., Mami, I. R., Dib, M.E.A., Mejdoub, K., Tabti, B., Costa, J. and Muselli, A. (2020). Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils of

- Echinops spinosus and Carlina vulgaris Rich in Polyacetylene Compounds. Current nutrition & food science. Volume 16, Issue 4, 563-570
14. Beloued, A. (1998). *Plantes médicinales d'Algérie*. 5 Ed Office des publications universitaires, Alger, 184p.
  15. Ben Nasr, R., Baudelaire, E.D., Dicko, A., and Hela El Ferchichi, O.H. (2021). Phytochemicals, Antioxidant Attributes and Larvicidal Activity of *Mercurialis annua* L. (*Euphorbiaceae*) Leaf Extracts against *Tribolium confusum* (Du Val) Larvae (*Coleoptera; Tenebrionidae*). *Biology* (Basel) . 10(4): 344
  16. Benoufella-Kitous, K., (2015). Bioécologie des pucerons de différentes cultures et leurs ennemis naturels à Oued-Aïssi et Draa Ben Khedda (Tizi-Ouzou). Thèse de doctorat ENSA. El Harrach. Alger. 234p.
  17. Benyahia-Bouayad Alam, S. (2015). Activités antimicrobiennes et insecticides de *Thymus capitatus*, *Daucus crinitus* et *Tetraclinis articulata* sur la mineuse *Tuta absoluta* (Meyrick) et la microflore pathogène de la tomate *Lycopersicon esculentum*. Thèse de Doctorat en Ecologie et environnement. Université de Tlemcen.
  18. Benzara, A., Benabdelkrim, A and Khalfi- Habes, O. (2011). Effets des extraits aqueux des graines de *Peganum harmala* L. (*Zygophyllaceae*) sur les larves de 5ème stade de *Locusta migratoria cinerascens* (Fabricus, 1781), (*Orthoptera : Oedipodinae*). Neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier- 26 et 27 Octobre 2011.
  19. Berestetskiy, A. (2023). Modern Approaches for the Development of New Herbicides Based on Natural Compounds, *Plants* 12(2), 234.
  20. Bibi, S., Afzal, M., bibi, K., aziz, N., aziz, S and Raheem, A. (2015). Antifungal Activity of *Tamarix aphylla* (L.) Karst. Stem-bark Extract against Some Pathogenic Fungi. *International journal of pharmacological research*. 5 (2) : 44-48
  21. Bittner, M. L., Casanueva, M. E., Arbert, C. C., Aguilera, M. A., Hernández, V. J., and Becerra J. V. (2008). Effects of Essential Oils From five plant species against the granary weevils *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera). *J. Chil. Chem. Soc*, 53 (1), pp: 1455-1459
  22. Bouguerra, N., Tine. Djebbar, F and Soltani, N. (2019). Oregano Essential Oils Potential Mosquito arvicide, *Transylvanian Review*. Vol XXVII, No. 39.
  23. Bouzeraa, H., Bessila-Bouzeraa, M. and Labeled, N. (2019). Repellent and fumigant toxic potential of three essential oils against *Ephestia kuehniella*, *Biosyst. Divers*, 27(4).
  24. Bremness, L. (2005). Fleurs sauvages des régions méditerranéennes. Delachaux et Niestlé.
  25. Capieau, K., Stenlid, J and Stenstro, E. (2004). Potential for Biological Control of *Botrytis cinerea* in *Pinus*. *Scand. J. For. Res*. 19: 312/319
  26. Carmo, E.S., Lima, E.D.O. and De Souza, E.L. (2008). The potential of *Origanum vulgare* L. (*Lamiaceae*) essential oil in inhibiting the growth of some food-related *Aspergillus* species. *Brazilian Journal of Microbiology* 39, pp 362-367.
  27. Daferera, D.J., Ziogas, B.N. and Polissiou, M.G. (2000). GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *J. Agric. food. Chim*. 48(6):2576-81
  28. Dajoz, R. (1977). Précis d'écologie (2ème édition). Dunod.
  29. Duyck, P.F. (2002). Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (*Diptera: Tephritidae*) reared at five constant temperatures.
  30. El Haddad, D., Toubal, S., Bouchenak, O., Boumaza, S., Merah, M., Yahiaoui, K. and Arab, K. (2022). Insecticidal activity of Algerian castor extracts *Ricinus communis* against the green rose aphid *Macrosiphum rosae*. *Revue Agrobiologia* 12(1): 2827-2833
  31. Fettah, A. (2011). Activités anti-microbienne des extraits aqueux de deux plantes médicinales : *Phlomis crinita* L. (*Lamiaceae*) et

- Carthamus coereleus* L. (Asteraceae). Thèse de master. Université de Blida. 78p.
32. Gubb, A S. (1913). La flore algérienne : Naturelle et Acquisée. Ed Adolphe Jourdan, Alger, 318p.
  33. Habes, D., Kilani-Morakchi, S., Aribi, N., Farine, J.P and Soltani, N. (2006). Boric acid toxicity of the German cockroach, *Blattella germanica*: Alterations in midgut structure, and acetylcholinesterase and glutathione S-transferase activity. *Pestic. Biochem. Physiol*, 84, 17-24.
  34. Hakkou, S., Sabir, M. and Machouri, N. (2023). Principales plantes aromatiques et médicinales forestières dans la région Rabat- Salé-Kénitra, Maroc. 11(1) : 1-13
  35. Hashem, A.S. and Ramadan, M.M. (2021). Nanoemulsions of Chamomile and Cumin Essential Oils: As an Alternative Bio-rational Control Approach against the Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum*. *Journal of Plant Protection and Pathology*. Volume 12, Issue 1, Page 11-17 <https://doi.org/10.3390/plants12020234>
  36. Ilbert, H., Hoxha, V., Sahi, L., Courivaud, A. & Chailan, C. (2016). Le marché des plantes aromatiques et médicinales. analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie. Montpellier : CIHEAM/France AgriMer (Option méditerranéenne, Série B : étude et recherche. N° 73, 222p.
  37. Johnson, M. P., O'Brien, D. M., and Vellend, M. (2008). Les effets de la richesse en éléments nutritifs du sol sur la composition de la communauté végétale. *Ecology*, 89(9), 2467-2476.
  38. Kazi tani, C. and Dali yahia, K. (2020). Quatre-vingt-quatorze plantes médicinales odontostomatologiques d'Algérie. *Al Yasmina* 1: 12/1-22.
  39. Kerzabi, R., Abdessamad, M. and Stambouli Meziane, H. (2016). Floristic Diversity of Atriplexaies in Western Algeria. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(2) : 761-767.
  40. Ketoh, G.K., Koumaglo, H.K. and Huignard, J. (2006). Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. *Fitoterapia*. 77(7-8):506-10
  41. Ketoh, G.K. (1998). Utilisation des huiles essentielles des quelques plantes du Togo comme biopesticides dans la gestion des stades de développement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat. Univ. Lomé, Bénin, 141p.
  42. Khabbach, A., Libiad, M., Enabili, A. and Bousta, D. (2012). Medicinal and cosmetic use of plants from the province of Taza, Northern Morocco. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. Vol. 11, n°1, pp 40-60.
  43. Khani, A. and Basavand, F. (2013). Chemical Composition and Insecticidal Activity of Myrtle (*Myrtus communis* L.) Essential Oil against Two Stored-Product Pests. *Journal of Medicinal Plants and By-products*. 2: 83-89
  44. Lahcene, S., taibi, F., Mestar, N., Ali Ahmed, S., Boumendjel, M., Saida, O. and Houali, K. (2018). Insecticidal effects of the *Olea europaea* subsp. *laperrinei* extracts on the flour Pyralid *Ephestia kuehniella*. *Cellular and molecular biology* 64(11):6-12
  45. Maamar Sameut, Y., Belhacini, F. and Bounaceur, F. (2020). Étude ethnobotanique dans le sud-est de Chlef (Algérie occidentale). *Revue Agrobiologia* 10(2):2044-61
  46. Maazoun, A.M., Haouel Hamdi ; S., Belhadj, F., Mediouni BenJemâa, J., Messaoud, C. and Marzouki, M.N. (2019). Phytochemical profile and insecticidal activity of *Agave americana* leaf extract towards *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Science and Pollution Research*. 26, 19468–19480
  47. Maire, R. (1959) : Flore de l'Afrique du Nord (Vol. 8). Paul Lechevalier.
  48. Maqsood, A., Sajid, A.R., Javeed, A., Aslam, M., Ahsan, T, Hussain, D., Mateen, A., Li, X., Qin, P. and Ji, M. (2022). Antioxidant, antifungal, and aphicidal activity of the triterpenoids spinasterol and 22,23-



- dihydrospirosterol from leaves of *Citrullus colocynthis* L. Scientific Reports. 12: 4910.
49. Maria, J., Pascual-Villalobos, M.J., Robledo, A. (1999). Anti-insect activity of plant extracts from the wild flora in southeastern Spain. *Biochemica Systemics and Ecology*. 27 : 1-10
  50. Ncibi, S . (2020). Potentiel bioinsecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum*(Herbst, 1797) et Identification de leurs ennemis naturels. Thèse de Doctorat, INAT deTunis, 315p.
  51. Oulebsir- Mohandkaci, H., Ait Kaki, S. and Doumandji-Mitiche, B. (2015). Essential Oils of two Algerian aromatic plants *Thymusvulgaris* and *Eucalyptus globulus* as Bio-insecticides against aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Wulfenia journal*, Vol 22, No. 2; 185-197
  52. Quezel, P., and Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed CNRS. Vol.1, Paris, pp.1- 565.
  53. Raunkiær, C. (1934).The life forms of plants and statistical plant geography being the collected papers of C. Raunkiær, with 189 photographs and figureures. Ed Oxford UniversityPress, Oxford, xvi, 632 p.
  54. Ravindran, Jayaraj., Pankajshan Megha and Puthur Sreedev (2016).Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment, *Interdiscip Toxicol*. 9(3 -4): 90- 100. doi: 10.1515/intox-2016-0012
  55. Regnault-Roger, C. and Philogène, B. J. R and Vincent, C. (2008). Recherche de nouveaux biopesticides d'origine végétale à caractère insecticides: démarche méthodologique et application aux plantes aromatiques méditerranéennes. (coord) *Biopesticides d'origine Végétale*, 2<sup>nd</sup> édition. Lavoisier, Paris, France, p. 25–50.
  56. Saada, I., Mahdi, K., Boubeka, N., Benzitoune, N. and Salhi, O. (2022). Variability of insecticidal activity of *Cupressus sempervirens* L., *Juniperus phoenicea* L., *Mentha rotundifolia* (L.) Huds, and *Asphodelus microcarpus* Salzm. & Viv. Extracts according to solvents and extraction systems. *Biochemical Systematics and Ecology*. Volume 105. , 104502
  57. Saadane, F.Z., Habbachia, W., Habbachia, S., Boublataa, N.E., Slimanib, A. and Tahraouia, A. (2020). Toxic effects of *Drimia maritima* (Asparagaceae) ethanolic extracts on the mortality, development, sexual behaviour and oviposition behaviour of *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *J Anim Behav Biometeorol* (2021) 9:2102
  58. Sehari, H. N., Benchaben, H., Sehari, M. and Maatoug M. (2018). Insecticide effect of pennyroyal and rosemary essential oils onthe rice weevil Ukrainian, *Journal of Ecology*, 8(1), 696–702 doi: 10.15421/2018\_268.
  59. Smith, M. and Boon, H. (2004). *The Complete Natural Medicine Guide to the 50 Most Common Medicinal Herbs*. Ed.Robert Rose. 352p.
  60. Souguir, S., Chaieb, I., Beicheikh-Affene, Z. and Laarif, A. (2013). Activité Bio-insecticide des huiles essentielles de Marjolaine (*Origanum majorana*) et de Fenouil (*Foeniculum vulgare*) sur les larves de *Spodoptera littoralis*. Conference: Quatrième Journées Scientifiques sur la Valorisation des Bioressources 04 - 05 mai 2013. Tunisie
  61. Toubal, S., Elhaddad, Dj. Bouchenak, O., Yahiaoui, K., Sadaoui, N. and Arab, K.(2019). L'importance des extraits d'*Urtica dioica* L.dans la lutte contre *Culex pipiens* (Linné, 1758). *Algerian journal of environmental science and technology*. Vol 5, N 1,
  62. Touhidul, I., Anowarul, H., Nur Uddin, M.,Dipali, R. G. and Tofazzal, I. (2022). In vitro compatibility of entomopathogenic fungus, *Cladosporium cladosporioides* with three plant extracts. *Plant Protection Science*, 58, (3): 213–219
  63. Vincent, C. (1998). *Biopesticides: An overview of their mode of action and their use in pest control*. *Outlooks on Pest Management*, 9(6), 203-208.

64. Wachenheim, C., Fan, L., Zheng, S. (2021). Adoption of unmanned aerial vehicles for pesticide application: Role of social network, resource endowment, and perceptions, *Technology in Society* Volume 64, , 101470
65. Xu, X., Jeffries, P., Pautasso, M. and Jeger, M. (2011). Combined use of biocontrol agents to manage plant disease in theory and practice. *Phytopathology*, 101(9), 1024-1031.
66. Yadav, I. C., Devi, N. L., Syed, J. H., Cheng, Z., Li, J. and Zhang, G. (2015). Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: a comprehensive review of India. *Sci. Total Environ.* 511 123–137.
67. Yarou, B.B., Silvie, P., Assogba Komlan, F., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F. and Francis, F. (2017). Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(4), 288-304
68. Zaid, R., Canela-Garayoa, R., Ortega-Chacon, N.M. and Mouhouche, F. (2022). Phytochemical analyses and toxicity of *Nerium oleander* (Apocynaceae) leaf extracts against *Chaitophorus leucomelas* Koch, 1854 (*Homoptera: Aphididae*). *Journal of saudi society of agricultural science.* 21 (5) : Pages 310-317
69. Zoubiri, S. and Aoumeur, B. (2011). Chemical composition and insecticidal peropertier of some aromatic herbs essential oils form Algeria. *Food chemistry*129179-182.

## **Chapitre IV: Etude de l'effet aphicide des extraits et des huiles essentielles de quelques plantes à effet pesticides présentes dans la région de Chlef**

**Introduction :** La prise de conscience grandissante des consommateurs concernant les risques des pesticides synthétiques a suscité un intérêt croissant pour des alternatives de lutte. Les huiles essentielles (HE) et leurs dérivés émergent comme des solutions prometteuses et occupent une place centrale dans la recherche de biopesticides.

**Objectif :** l'utilisation des HE et des extraits de plante ont fait l'objet de test d'efficacité vis-à-vis des larves et des adultes de espèces aphidiennes les plus répandues dans les vergers d'étude.

**Matériel et méthodes :** deux plantes *J.phoenicea* et *P. lentiscus* de la région de Medjadja ont été teste par contact sur les larves et les adultes du puceron des agrumes in vivo et in vitro. Une analyse chromatographique a été réalisée pour déterminer la composition les moléculaire suivi d'une étude in silico pour évaluer les molécules bioactives.

**Résultats :** L'évaluation de l'activité insecticide a été réalisée en utilisant différents constituants, tels que les huiles essentielles, les extraits méthanoïques, acétoniques et aqueux des plantes (*P. lentiscus*, *J. phoenicea*) ainsi que leurs mélanges. Les résultats enregistrés ont révélé des taux de mortalité qui avoisinent les 100%, que ce soit pour une utilisation individuelle ou synergique de ces bioproducts. Les temps létaux déterminés ont montré que le traitement à base d'huile essentielle de "synergie" a présenté le TL50 le plus court, tandis que le traitement avec l'extrait méthanoïque de *Pistacia lentiscus*" a montré le TL90 le plus court.

**Concluons :** le pistachier (*Pistacia lentiscus*) et le genévrier (*Juniperus phoenicea*), ainsi que leur effet synergique, possèdent des propriétés insecticides qu'il convient de valoriser. Cela contribuerait à résoudre les problèmes de rémanence dans les produits consommés, à préserver la santé des consommateurs et à respecter l'équilibre écologique.

Les résultats ont été publiés à travers trois articles scientifiques dans trois revues différentes :

“**Universal Journal of Agricultural Research** “

“**Pakistan Journal of Phytopathology** “

“**Tobacco Regulatory Science (TRS)**

## Article 3: APHICIDAL POTENTIAL OF THE ESSENTIAL OIL ISOLATED FROM PISTACIA LENTISCUS AGAINST THE LARVAE OF APHIS SPIRAECOLA, VECTOR OF MULTIPLE PHYTOVIRUSES

Dalila Amokrane, aAhmed Mohammedi, bMeryem Belabbes, aHadjer Tegger, cAbdelaziz Merouane\*

<sup>a</sup> Faculty of Life and Natural Sciences/Laboratory of Natural Bio-resources, Hassiba Benbouali University, Chlef, Algeria. <sup>b</sup> University of Djillali Liabès, Faculty of Nature and Life Sciences, Agricultural Sciences Department, Laboratory of Beneficial Microorganisms, Functional Food and Health (LMBAFS), Sidi Bel Abbès, Algeria.

<sup>c</sup> Higher School of Saharan Agriculture, Adrar, Algeria.

---

### ABSTRACT

This study aims to determine the composition of the essential oil of *Pistacia lentiscus* leaves by gas chromatography- mass spectrometry (GC/MS) and to test its insecticidal activity against the larvae of *Aphis spiraecola*, which represents a serious threat to citrus production and cause most economic loss for the citrus culture. The essential oil of lentisk leaves was isolated by hydrodistillation using a Clevenger-type, the chemical composition was determined by GC/MS. The insecticidal activity of essential oil was determined by using the contact method against *A. spiraecola* larvae. A total of 74 compounds were identified, corresponding to chromatographic peaks representing 89.6% of the total area of all peaks. The most abundant compounds were monoterpene hydrocarbons (54.2%) with 8.8% p-cymene and 7.2%  $\alpha$ -pinene. The insecticidal assay revealed an interesting insecticidal activity against the larvae of *A. spiraecola* with an LD50 of 0.2  $\mu$ L. This study introduces and supports the use of the essential oil of *P. lentiscus* as a biopesticide and open new ways for its future exploitation in phytosanitary industries.

**Keywords:** *Pistacia lentiscus*, *Citrus tristeza virus*(CTV), *Aphis spiraecola*, Biopesticides

---

### 1. INTRODUCTION

Citrus is a strategic crop in many countries. In the recent past, Algeria was one of the major citrus-producing countries. However, national production has declined yearly due to several factors, including the damage caused by aphids controlled mainly by the synthetic pesticides. The harmful effects of pesticides on beneficial insects of crops, ecosystems (Colignon *et al.*, 2003), general environment and human health are previously documented (Batsc, 2009). The world health organization estimates that 200000 people are killed early worldwide due to pesticide poisoning (CAPE, 2009).

Several scientific investigations have proved the efficacy

*Submitted: June 28, 2023*

*Revised: July 17, 2023*

*Accepted for Publication: December 05, 2023*

\* Corresponding Author:

Email: a.merouane@univ-chlef.dz

© 2017 Pak. J. Phytopathol. All rights reserved.

of EO from diverse botanical resources as bio pesticides against wide range of damaging pests (Amara *et al.*, 2019; Behi *et al.*, 2019; Abdelmaksoud *et al.*, 2023; Hu *et al.*, 2022) including *Aphis spiraecola*. This aphid (Hemiptera: Aphididae) is a globally pervasive insect with harmful effects and worldwide distribution in temperate and tropical regions. It is responsible for weakening crops and acts as a vector for multiple phytoviruses such as Citrus tristeza virus (CTV), Cucumber mosaic virus (CMV) and Potato virus Y (PVY) (Hullé *et al.*, 2012). It feeds on apple, citrus, spiraea plants, and on a diverse range of vegetable crops. Globally, it has become the predominant aphid pest affecting citrus, and it expanded its range to include various tropical crops in the 1950s (Pfeiffer, 1991).

*Aphis spiraecola*, ranging from 1.2 to 2.2 mm in length, follows a holocyclic lifecycle and produces sexual morphs. Its typical primary hosts include spiraea or citrus fruits, with spiraea serving as the primary host

in North America and Brazil (de Menezes, 1970). In Japan, both spirea and citrus fruits are recorded as primary hosts (Komazaki *et al.*, 1979). Hodjat and Eastop (1983) documented sexual forms on apple in Iran. However, across most of its geographical range, including North Africa, *Aphis spiraecola* exhibits an anholocyclic lifecycle, reproducing entirely through parthenogenesis. As customary, *Aphis spiraecola* undergoes four larval instars.

In the natural environment, essential oils (EOs) serve a significant function in safeguarding plants. They may also attract certain insects, facilitating the dispersion of pollens and seeds, or act as a deterrent to undesirable insects (Bakkali *et al.*, 2008). Consequently, EOs can play a vital role in combating various significant crop pests, offering a plant-based pesticide option with fewer adverse effects and serving as an environmentally friendly product. These botanical pesticides represent an exceptionally promising choice (Pavela and Benelli, 2016). Consisting essentially of hydrophobic liquids with volatile active compounds (Burger *et al.*, 2019), EO finds application through either contact or fumigation methods justified by their volatility (Ikbaldan Pavela, 2019). While contact application remains the more widely adopted method for EOs, fumigation methods are frequently employed in managing stored pest species. This approach enables the homogeneous diffusion of volatile compounds within confined spaces, as evidenced by the scientific investigations (Kavallieratos *et al.*, 2021; Rajendran and Sriranjini, 2008).

Algerian flora is a rich source of aromatic and medicinal plants. The *Pistacia lentiscus* L., commonly called Lentisk or Darw, belongs to the *Anacardiaceae* family. It is a wild, thermophilic, aromatic and medicinal species widely distributed in the Mediterranean region, Europe, Asia, and Africa (Rauf *et al.*, 2017).

The EO of the leaves of *P. lentiscus* is used in the treatment of several diseases by its antibacterial, antioxidant and anticarcinogenic effects and, on the other hand, as a biopesticide to fight against certain bioaggressors (Amara *et al.*, 2019). The objective of this study is to determine the chemical components of the EOs of the leaves of *P. lentiscus* as well as its insecticidal effect against the larvae of the aphids of *Aphis spiraecola*. This pest is the most feared of citrus orchards in Algerian producing-zones.

## 2. MATERIALS AND METHODS

**2.1 Plant collection and preparation:** The leaves of *P. lentiscus* were harvested in October 2022 in the locality of Ténès, Chlef province, located in the northwest of Algeria (latitude 36°10'26" North, longitude 1°20'12" East and altitude 27m). The climate is warm and temperate, of the Mediterranean type (Köppen classification: Csa). Botanical identification was carried out at the local natural bioresources laboratory of Hassiba Benbouali University in Chlef, Algeria. After harvesting, the leaves were carefully washed, dried and crushed.

**2.2 Insect material:** Citrus leaves infested with *A. spiraecola* were taken from an orchard in the town of Medjadja, located northeast of Chlef province, at an altitude of 152m. The infested leaves were collected in plastic boxes (20×10×5cm) and covered with fine mesh for ventilation. The identification and isolation of larvae of *A. spiraecola* were carried out under a binocular magnifying glass according to the identification keys of Blackman & Eastop (Blackman and Eastop, 2006). Larvae were stored at 26±2°C and 40±5% relative humidity until insecticidal assay.

**2.3 Essential oil extraction:** The essential oil from the leaves of *P. lentiscus* was extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus (Clevenger, 1928) with a sample/water ratio (g/mL) equivalent to 1/5. After three hours of extraction, the condensed vapor gave an organic phase (essential oil) separated from the water by decantation. The EO isolated was kept at 4°C in an amber bottle until use.

**2.4 Determination of chemical composition:** The chromatographic analysis was carried out using a Hewlett Packard Agilent 6890 plus GC-MS/MS instrument coupled to an Agilent 5975 mass spectrometer with an electron impact detector. The separation was carried out on an apolar capillary column of the HP-5MS type consisting of 5% phenyl and 95% dimethylpolysiloxane (30m×0.25mm, 0.25µm). The operating conditions are as follows: the carrier gas is Helium with a flow rate of 1ml/min, and the injector temperature is 250°C with the injection of

0.2 µL in split 1/80 mode. The column temperature was programmed at 60 °C for 8min, and then a gradient of 2°C/min to 250°C was maintained for 10minutes. The total analysis time was 113min.

A quadrupole detector recorded the mass spectra, and ionization was achieved by electron impact with a

filament intensity of 70eV. The interface temperature was 280°C, and the source temperature was 230°C. Volatile components were identified by matching their recorded mass spectra with those stored in NIST, Wiley, and PAST operating software, the GC-MS Data System Mass Spectra Library, and other published mass spectra. Determining component percentages was based on peak area normalization without correction factors.

**2.5 Insecticidal activity:** The insecticidal activity of the essential oil was determined according to the protocol of Stefanazzi *et al.* (2011). The test was carried out in Petri dishes of 9cm in diameter, including sheets of Whatman paper impregnated with 0.25µL of 5 different concentrations of 3.1 essential oil tested (1µL, 2.5µL, 5µL, 7.5µL and 10µL). The concentrations were achieved by dilution in DMSO, which was used as a negative control. Acetamiprid at 20% was used as the reference insecticide and represented the positive control. 20 aphids were placed in each box which has been covered with perforated plastic tape and incubated at 26±2°C and 40±5% relative humidity.

Aphid mortality was recorded after 24h, 48h and 72h. A control (without EO application) was used as corrected factor in each repetition according to the formula of Abbott *et al.* (1925), which is expressed as follows:

$$Mc = \frac{Me - Mt}{100 - Mt} \times 100$$

Mc=corrected mortality in percentage. Me=mortality of the sample tested.

Mt=mortality in the untreated control.

The protocol was repeated in triplicate, and the LD50 values (lethal concentration) were calculated by Probit analysis

## 2.6 STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analyzes were performed with SPSS IBM software version 26.0. Results were expressed as mean ±SD. The One-Way ANOVA test followed by the Tukey post-hoc test were used to compare the results of the insecticidal activity of the essential oil of the plant studied with the two controls. The level of statistical significance was set at P<0.05.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Yield and chemical composition of essential oil:

The essential oil extracted from the leaves of *P. lentiscus* by hydrodistillation produced pale-yellow oil with a strong fragrance and a specific density of 0.86. The extraction yield reached 0.19±0.02%.

The yield is influenced by various factors such as nature and components of the soil, the temperature, the altitude, the climate, the cultivation region and the individuals' genetic composition (Bouyahyaoui *et al.*, 2016). In addition, other factors can also influence the yield, such as the organ used, the stage of development, the degree of freshness, the method, and the extraction equipment used (Tabti *et al.*, 2020). The EO was analyzed by GC-MS/MS (Figure 1). A total of 74 chromatographic peaks were annotated (Table 1). These compounds corresponded to chromatographic peaks representing 89.59 % of the total composition of the EO.

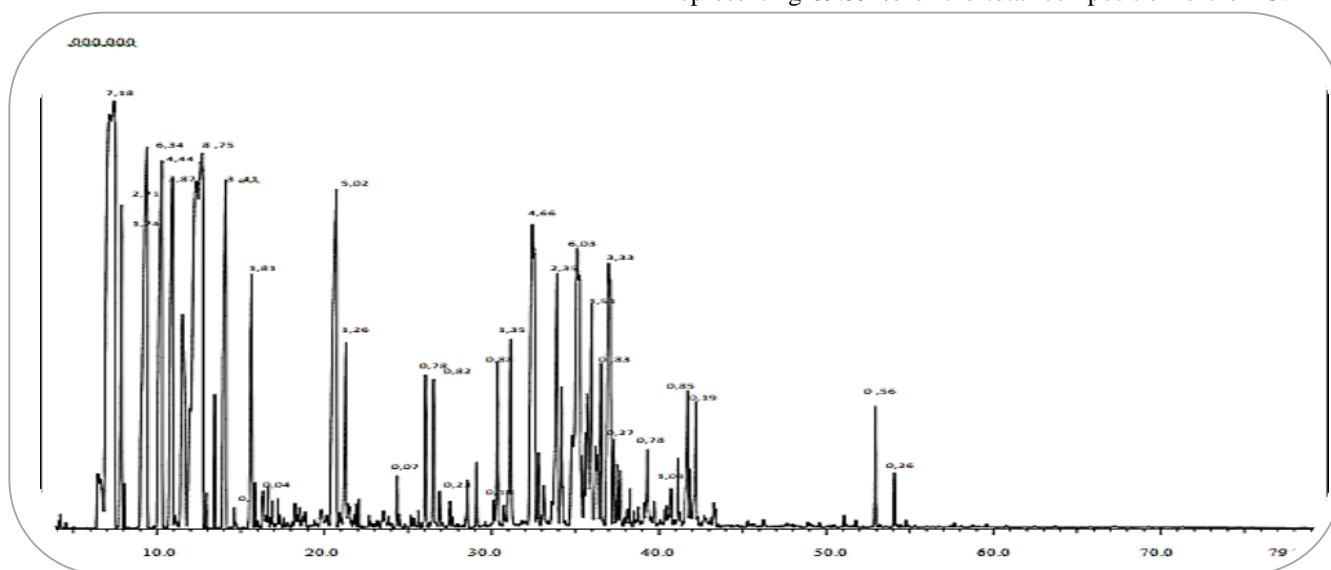


Figure 1. Chromatogram of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L.

In this oil, the main compounds are p-cymene (8.75%),  $\alpha$ -pinene (7.18%), 2(10)-pinene (6.34%),  $\gamma$ -muurolene (6.03%), D-limonene (5.13%), Bicyclo [5.2.0]nonane (4.66%),  $\beta$ -pinene (4.44%),  $\alpha$ -phellandrene (3.87%),  $\gamma$ -terpinene (3.41%),  $\delta$ -cadinene (3.33%),  $\alpha$ -terpinene (2.78%) and  $\alpha$ -tricyclene (2.71%) (Table 1).

**Table 1.** The compounds detected in the essential oil obtained from the leaves of *Pistacia lentiscus* L.

N°	Compounds	RT	%
1.	Tricyclene	6.450	0.22
2.	Tricyclene	6.475	0.29
3.	$\alpha$ -thujene	6.625	0.48
4.	$\alpha$ -pinene	7.130	7.18
5.	Myrtenylformat	7.265	1.39
6.	$\alpha$ -Tricyclene	7.375	2.71
7.	Cyclofenchene	7.436	0.96
8.	2-Pinene	7.494	1.74
9.	Camphene	7.878	1.95
10.	2,4-Thujadiene	8.058	0.14
11.	2(10)-Pinene	9.403	6.34
12.	$\beta$ -pinene	10.278	4.44
13.	$\alpha$ -phellandrene	10.928	3.87
14.	3-Hexen-1-ol,acetate,(E)-	11.035	0.11
15.	$\alpha$ -terpinene	11.522	2.78
16.	p-cymenene	12.323	8.75
17.	D-Limonene	12.676	5.13
18.	$\alpha$ -Ocimene	12.950	0.12
19.	$\beta$ -Ocimene	13.446	0.52
20.	$\gamma$ -Terpinene	14.099	3.41
21.	$\alpha$ -Terpinolene	15.646	1.81
22.	2-Nonanone	15.843	0.18
23.	Pinane	16.015	0.04
24.	2-Norbornanol,1,3,3-trimethyl-	16.907	0.16
25.	alpha.-Campholenal	17.584	0.05
26.	Acetaldehyde,(3,3-dimethylcyclohexylidene)-,(E)-	17.818	0.06
27.	Sabinol	18.246	0.18
28.	Camphor	18.496	0.15
29.	trans-3-Pinanone	19.415	0.12
30.	Borneol	19.840	0.22
31.	trans-3-Pinanone	20.147	0.13
32.	Terpinen-4-ol	20.705	5.02
33.	2-Cyclohexen-1-one,4-(1-methylethyl)-	20.923	0.14
34.	alpha.-Terpineol	21.292	1.26
35.	Myrtenal	21.428	0.22
36.	(+)-2-Bornanone	21.872	0.16
37.	Levoverbenone	22.056	0.12
38.	2-Cyclohexen-1-ol,2-methyl-5-(1-methylethenyl)-,cis-	22.657	0.11
39.	cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	23.241	0.09
40.	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,1,7,7-trimethyl-acetate,(1S-endo)-	26.049	1.40
41.	2-Undecanone	26.530	1.36
42.	delta.-Elemene	28.541	0.28
43.	Copaene	29.105	0.33
44.	Globulol	29.613	0.06
45.	Ylangene	30.111	0.18
46.	Copaene	30.351	0.88
47.	Cyclobuta[1,2:3,4]dicyclopentene	30.727	0.17



48.	(-)-cis-beta-Elemene	31.142	1.35
49.	Bicyclo[5.2.0]nonane	32.423	4.66
50.	$\beta$ -Copaene-4 $\alpha$ -ol	32.786	0.36
51.	1,5,9,9-Tetramethyl-1,4,7-cycloundecatriene	33.911	2.35
52.	Nealloocimene	34.184	0.91
53.	$\gamma$ -Muurolene	35.099	6.03
54.	Longifolene-(V4)	35.716	1.48
55.	alpha.-Muurolene	35.980	1.51
56.	beta.-Cadinene	36.228	0.8
57.	$\gamma$ -Cadinene	36.532	0.83
58.	$\Delta$ -Cadinene	36.998	3.33
59.	Cadinadiene-1,4	37.313	0.45
60.	$\alpha$ -Amorphene	37.509	0.28
61.	alpha.-Calacorene	37.693	0.27
62.	$\beta$ -Germacrene	38.264	0.36
63.	Caryophylleneoxide	39.321	0.78
64.	Agarospinol	39.713	0.18
65.	Junenol	40.728	0.26
66.	4a(2H)-Naphthalenol,1,3,4,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)	41.142	0.49
67.	tau.-Muurolol	41.717	1.03
68.	1-Naphthalenol,1,2,3,4,4a,7,8,8a-octahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-,	41.870	0.30
69.	alpha.-Cadinol	42.209	0.85
70.	alpha.-Bisabolol	43.290	0.25
71.	geranyl-.alpha.-terpinene	51.072	0.07
72.	p-Camphorene	51.779	0.06
73.	p-Camphorene	52.949	0.56
74.	p-Camphorene	54.074	0.26
	Total compounds identified		89.59
	Hydrocarbon monoterpenes		54.23
	Oxygenated monoterpenes		8.4
	Hydrocarbon sesquiterpenes		23.02
	Oxygenated sesquiterpenes		7.99
	Diterpenes		0.95
	Other compounds		2.99

RT: retention time, %: percentage of the compound from the total identified

Recent studies in different Mediterranean countries have noted a large chemical variability involving the main compounds and the total amounts of terpene classes (El Bishbishy *et al.*, 2020; Vidrich *et al.*, 2004). Monoterpene hydrocarbons generally represented the main fraction: 75% in Egypt (El Bishbishy *et al.*, 2020), 68% in Greece (Gardeli *et al.*, 2008), and 59% in Tunisia (Ben Douissa *et al.*, 2005). However, in Tunisia, *P. lentiscus* EOs were rich in monoterpene hydrocarbons (41%) and sesquiterpene hydrocarbons (40%) (Aissi *et al.*, 2016). The main factor contributing to this chemo-variability is generally attributed to the environmental conditions. No data exists regarding relationship between genetic traits and HE profiles (Sehaki *et al.*, 2022).

The chemical profile of EO isolated from *Pistacia lentiscus* L. is dominated by monoterpenes with 61.63% (53.23% are hydrocarbonated monoterpenes). The p-cymenene (8.75%),  $\alpha$ -pinene (7.18%), and 2(10)-pinene (6.34%) are the main components. The sesquiterpenes class represents 31.01%, the major components are Bicyclo[5.2.0]nonane and  $\Delta$ -Cadinene representing respectively 4.66% and 2.54% of the total mixture (Table 2).

Previous investigations in the Mediterranean region revealed important quantitative variability of the EO's constituents of *Pistacia lentiscus* L. (El Bishbishy *et al.*, 2020; Vidrich *et al.*, 2004). However, the qualitative composition demonstrated less variability. In comparison to *Pistacia lentiscus* L. collected from Tunisia (Gardeli *et al.*,

2008), limonene (10.3-43.8%),  $\alpha$ -pinène (2.9-34.2%), terpinene4-ol-terpinene  $\square$  (8.2-34.7%),  $\alpha$ -terpineol (10.4-11.0%) represented the main components. From Greece, *Pistacia lentiscus* L. showed dominance of  $\alpha$ -pinene (63%),  $\beta$ -myrcene (25%),  $\beta$ -pinene (3.3%) (Ben Douissa *et al.*, 2005). The Moroccan *Pistacia lentiscus* L. is marked with myrcene (39.2%), limonene (10.3%), and  $\beta$ -gurjunene (7.8%) as main constituents (Aissi *et al.*, 2016).

The variability between different Algerian localities is mentioned previously (Sehaki *et al.*, 2022). The *Pistacia lentiscus* L. EOs obtained from Algiers, Tizi-Ouzou, and Oran provinces showed dominance of  $\alpha$ -pinene in Algiers and Tizi-Ouzou samples, whereas the Oran's sample was dominated by P-Cymenene.

The findings of our study are in accordance with the previous literature in terms of qualitative feature of the EO. The quantitative variability characterizing the

chromatographical profile is attributed the local environmental conditions as well as the genetic characteristics of the *Pistacia lentiscus* L. varieties (Lucia *et al.*, 2007). Unfortunately, the chemical composition of EOs relationships with the genetic factors is not fundamentally documented contrarily to their dependence to epigenetic factors.

**3.2. Aphicidal activity:** The essential oil of *P.lentiscus* showed interesting larvicidal activity (Table 3). The mortality rate is concentration-dependent. The ANOVA analysis showed a significant difference ( $P < 0.001$ ) between different concentrations used and the synthetic insecticide used as positive control. After 24h of exposure, the essential oil of *P.lentiscus* caused a mortality rate of 73.4% at a concentration of  $1\mu\text{L}$ ; on the other hand, acetamiprid at 20% caused only 5.08% mortality in aphids larvae.

**Table 2.** Average corrected mortality of individuals of *A. spiraeicola* as a function of the concentration of the essential oil of *P.lentiscus* (ANOVA,  $P < 0.001$ ).

Concentration	Corrected mortality(%)
$1\mu\text{L}$	$73.4 \pm 5.11^b$
$2.5\mu\text{L}$	$74.65 \pm 6.06^b$
$5\mu\text{L}$	$79.8 \pm 3.08^b$
$7.5\mu\text{L}$	$85.08 \pm 6.01^{b,a}$
$10\mu\text{L}$	$96.88 \pm 3.07^a$
Negative control(DMSO)	$0.00 \pm 0.00^c$
Acetamiprid 20%	$5.08 \pm 1.02^c$

The Tukey post-hoc test separated the results of the mortality rate of aphids in contact with EO into three significantly different homogeneous groups (annotated "a, b, c" in Table 3). Thus, there is no significant difference between the concentrations of  $1\mu\text{L}$ ,  $2.5\mu\text{L}$ ,  $5\mu\text{L}$  and  $7.5\mu\text{L}$  of EO with regard to the larvicidal effect. Similarly, there is no significant difference between the concentrations  $10\mu\text{L}$  and  $7.5\mu\text{L}$ , with which the mortality rates reached 96.88% and 85.08%, respectively. In the other hand, the probit analysis indicated that the lethal doses DL20, DL50 and DL90 of the EO were respectively 0.02, 0.2, and  $10.5\mu\text{L}$ , these values indicate that EO of *P.lentiscus* is very toxic.

The larvicidal activity can be explained by the chemical composition, which is dominated by monoterpene compounds known for their larvicidal effects (Lucia *et al.*, 2007; Michaelakis *et al.*, 2009). GC-MS/MS analysis of the tested EO showed the richness of EO with monoterpenoids and sesquiterpenoids, which are compounds that possess insecticidal activity against various insect species

(Bernays and Chapman, 1998; Papachristos *et al.*, 2002). Additionally, several compounds recorded in *P.lentiscus* EO profile, such as  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, limonene and p-cymene, are well known for their larvicidal activity (Michaelakis *et al.*, 2008). Previous investigations depicted the mechanism of some volatile constituents of *P. Lentiscus*. As example, (E)- $\beta$ - caryophyllene is an active component that acts by contact on the tegument of insects (Tabti *et al.*, 2020), moreover,  $\alpha$ -terpineol has been found to possess a high toxicity (Sener *et al.*, 2009) and  $\delta$ -cadinene has proven to be highly toxic against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinque fasciatus* (Govindarajan *et al.*, 2016). Generally, the bioactivity of EOs is dependent on their chemical composition and thus, the determination of their profiles is an important aspect before a recommendation is made in a control program (Khanikor *et al.*, 2013; Tabti *et al.*, 2020).

#### 4. CONCLUSION

The present study was focused on the aphicidal activity of essential oil extracted from *Pistacia*

*lentiscus* against *A. spiraeicola*. The findings indicated that this herb is a rich source of monoterpenes and sesquiterpenes as well as other compounds that have strong larvicidal activity. The findings of our research represent useful data on the biological activities of the medicinal herb *P. lentiscus*, thus supporting the future use of this oil as a biopesticide and opening new avenues for its possible exploitation in the phytosanitary industries. Further studies are needed to test the efficiency of this oil on the field.

## 5. REFERENCES

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18: 265-267.
- Abdelmaksoud, N. M., A. M. El-Bakry, E. A. Sammour and N. F. Abdel-Aziz. 2023. Comparative toxicity of essential oils, their emulsifiable concentrates and nanoemulsion formulations against the bean aphid, *Aphis fabae*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56(3): 187-208.
- Aissi, O., M. Boussaid and C. Messaoud. 2016. Essential oil composition in natural populations of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia. Effect of ecological factor and incidence on antioxidant and anti-acetyl cholinesterase activities. *Industrial Crops and Products*, 91: 56–65.
- Amara, N., A. Benrima, C. Anba and H. Belkhir. 2019. Activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits du pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.). *Revue Agrobiologia*, 9(2): 1669- 1676.
- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils-A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446- 475.
- Batsc, D. 2011. L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse de diplôme d'état en pharmacie. Université Henri Poincarde, Nancy, pp.185.
- Behi, F., O. Bachrouch and S. Boukhris-Bouhachem. 2019. Insecticidal Activities of *Mentha pulegium* L., and *Pistacia lentiscus* L., Essential Oils against Two Citrus Aphids *Aphis spiraeicola* Patch and *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2): 516-525.
- Ben, D. F., N. Hayder, L. Chekir-Ghedira, M. Hammami, K. Ghedira, A. M. Mariotte and M. G. Dijoux- Franca. 2005. New study of the essential oil from leaves of *Pistacia lentiscus* L. (*Anacardiaceae*) from Tunisia. *Flavour and Fragrance*, 20: 410–414.
- Bernays, E. A. and R. F. Chapman. 1998. Chemicals in Plants. In: E. A. Bernays, R. E. Chapman (eds). *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects. Contemporary Topics in Entomology*, volume2. Springer, Boston, MA, USA.
- Blackman, R. L. and V. F. Eastop. 2006. Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs. Ed. John Wiley and Sons Incorporation, England.
- Bouyahyaoui, A., F. Bahri, A. Romane, M. Hoferl, J. Wanner, E. Schmidt and L. Jirovetz. 2016. Antimicrobial Activity and Chemical Analysis of the Essential Oil of Algerian *Juniperus phoenicea*. *Natural Product Communications*, 11(4): 519-522.
- Burger, P., H. Plainfossé, X. Brochet, F. Chemat and X. Fernandez. 2019. Extraction of natural fragrance ingredients: history overview and future trends. *Chemistry & Biodiversity*, 16(10): e1900424.
- CAPE (Canadian Association of Physicians for the Environment). 2009. Position Statement on Synthetic Pesticides. <https://cape.ca>
- Clevenger, J. F. 1928. Appareil pour la détermination de l'huile volatile, Description du nouveau type. *Le Journal de l'Association Pharmaceutique Américaine*, 17: 345-349.
- Colignon, P., E. Haubruge, C. Gaspar and F. Francis. 2003. Effets de la réduction des doses de formulations d'insecticides et de fongicides sur l'insecte auxiliaire non ciblé *Episyrphus balteatus* [*Diptera: Syrphidae*]. *Phytoprotection*, 84(3) :141-148.
- De Menezes, M. 1970. Reproducao sexuada de *Aphis spiraeicola* Patch no estado de Sao Paulo. *Biológico*, 36: 53-57.
- El Bishbishy, M.H., H.A. Gad and N.M. Aborehab. 2020. Chemometric discrimination of three *Pistacia* species via their metabolic profiling and their possible *in vitro* effects on memory functions. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 177: 112840.
- Gardeli, C., V. Papageorgiou, A. Mallouchos, K. Theodosios and M. Komaitis. 2008. Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L. Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extract. *Food Chemistry*, 107: 1120–1130.

- Govindarajan, M., M. Rajeswary and G. Benelli. 2016. delta-Cadinene, calarene and delta-4-carene from *Kadsura heteroclita* essential oil as novel larvicides against malaria, dengue and filariasis mosquitoes. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 19(7):565-571.
- Hodjat, S. H. and V. F. Eastop. 1983. Aphis citricola van der Goot, a new aphid pest of citrus in Iran. *Entomologie et Phytopathologie Appliquées*, 50(1/2): 57-66.
- Hu, H-L., D. Zhou, J-W. Wang, C. Wu, H-J. Li, J. Zhong, Z. Xiang and C. Sun. 2022. Chemical Composition of Citronella (*Cymbopogon winterianus*) Leaves Essential Oil and Gastric Toxicity of Its Major Components to *Drosophila melanogaster* Larvae. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(2): 315-325.
- Hullé, M., E. Turpeau and B. Chaubet. 2012. Encyclop'Aphid, tout savoir sur les pucerons. INRA Magazine, Université de Renne 1, Renne, France.
- Ikkal, C. and R. Pavela. 2019. Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. *Journal of Pest Science*, 92: 971-986.
- Kavallieratos, N. G., M. C. Boukouvala, C. T. Ntalaka, A. Skourti, E. P. Nika, F. Maggi, E. Spinozzi, E. Mazzara, R. Petrelli, G. Lupidi, C. Giordani and G. Benelli. 2021. Efficacy of 12 commercial essential oils as wheat protectants against stored-product beetles, and their acetylcholinesterase inhibitory activity. *Entomologia Generalis*, 41: 385-414.
- Khanikor, B., P. Parida, R.N.S. Yadav and D. Bora. 2013. Comparative mode of action of some terpene compounds against octopamine receptor and acetyl cholinesterase of mosquito and human system by the help of homology modeling and docking studies.
- Komazaki, S. 1991. Studies on the biology of the spirea aphid, Aphis spiraeicola Patch, with special reference to biotypic differences. *Bulletin of the Fruit Tree Research Station, Extra No. 2*: 60.
- Lucia, A., A.P. Gonzalez, S. Licastro and H. Masuh. 2007. Larvicidal effect of Eucalyptus grandis essential oil and turpentine and their major components on Aedes Aegypti larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23(3): 299-303.
- Michaelakis, A., A.T. Strongilos, E.A. Bouzas, G. Koliopoulos and A. Elias. 2009. Larvicidal activity of naturally occurring naphthoquinones and derivatives against the West Nile virus vector Culex pipiens. *Parasitology Research*, 104: 657-662.
- Michaelakis, A., D. Papachristos, A. Kimbaris, G. Koliopoulos, A. Giatropoulos, G. Moscho and M. Polissiou. 2009. Citrus essential oils and four enantiomeric pinenes against Culex pipiens (*Diptera: Culicidae*). *Parasitology Research*, 105: 769-773.
- Nejad, F.Y., R. Rajabi and N. Palvaneh. 2013. A review on evaluation of plant essential oils against pests in Iran. *Journal of Persian Gulf Crop Protection*, 2 (4): 74-97.
- Papachristos, D.P. and D.C. Stamopoulos. 2002. Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (*Coleoptera: Bruchidae*). *Journal of Stored Products Research*, 38: 117-128.
- Pavela, R. and G. Benelli, G. 2016. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*, 21: 1000- 1007.
- Pfeiffer, D.G. 1991. Biology and management of aphids on apple, In: K. Williams, (Ed.), *New Directions in Tree Fruit Pest Management*. Good Fruit Grower Yakima, Washington, United States of America.
- Rajendran, S. and V. Sriranjini. 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44: 126- 135.
- Rauf, A., S. Patel, G.B. Uddin, S. Siddiqui, B. Ahmad, N. Muhammad, Y.N. Mabkhot and T. Ben Hadda. 2017. Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus Pistacia. *Biomed Pharmacotherapy*, 86: 393-404.
- Sehaki, C., N. Jullian, E. Choque, R. Dauwe and J.X. Fontaine. 2022. Profiling of Essential Oils from the Leaves of *Pistacia lentiscus* Collected in the Algerian Region of Tizi-Ouzou: Evidence of Chemical Variations Associated with Climatic Contrasts between Littoral and Mountain Samples. *Molecule*, 27: 41-48.

- Sener, O., M. Arslan, N. Demirel and I. Uremis. 2009. Insecticidal effects of some essential oils against the confused flour beetle (*Tribolium confusum* du Val) (Col.: *Tenebrinoidea*) in stored wheat. Asian Journal of Chemistry, 21(5):3995-4000.
- Stefanazzi, N., T. Stadler and A. Ferrero. 2011. Composition and toxic, repellent and feeding deterrent activity of essential oils against the stored-grain pests *Tribolium castaneum* (Coleoptera: *Tenebrionidae*) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: *Curculionidae*). Pest Management Science, 67: 639–646.
- Tabti, L., M. Dib, B. Tabti, J. Costa and A. Muselli. 2020. Insecticidal Activity of Essential Oils of *Pistacia atlantica* Desf. and *Pistacia lentiscus* L. Against *Tribolium confusum* Dul. Journal of Applied Biotechnology Reports, 7(2): 111-115.
- Vidrich, V., P. Fusi, A. Graziano, E. Silvestrini, M. Michelozzi and F. Marco. 2004. Chemical composition of the essential oil of *Pistacia Lentiscus* L. Journal of Essential Oil Research, 16: 223-226.

**Contribution of Authors:**

Dalila Amokrane :	Research designing, experimentation, drafting the manuscript. Conceiving
Ahmed Mohammedi :	and supervising the research.
Hadjer	Samples preparation and extraction.
Tegger	Statistical analysis, interpretation of the results. Reviewing
:Meryem Belabbes :	and editing the manuscript, literature research.
Abdelaziz Merouane :	

DOI: 10.13189/ujar.2024.120106

## Insecticidal Activity, GC/MS Analysis, and *in silico* Studies of *Juniperus phoenicea* Essential Oil against *Aphis spiraecola*

Dalila Amokrane<sup>1,2</sup>, Ahmed Mohammedi<sup>1,3</sup>, Radhia Yekhllef<sup>2,4</sup>, Djamel Belfennache<sup>5</sup>, Nacira Daoudi Zerrouki<sup>6,7</sup>, Shaza H. Aly<sup>8</sup>, Mohamed A. Elanany<sup>9</sup>, Mohamed A. Ali<sup>10,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Agronomical Sciences, Faculty of SNV, Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

<sup>2</sup>Laboratory Production and Protection of Crops of the Chief Region, Algeria

<sup>3</sup>Laboratory of Natural and Local Bioresources, Algeria

<sup>4</sup>Laboratory of Electrochemistry, Molecular Engineering and Redox Catalysis (LEIMCR), Department of Engineering Process, Faculty of Technology, Ferhat Abbas University Setif-1, Algeria

<sup>5</sup>Research Center in Industrial Technologies (CRTI), Algeria

<sup>6</sup>Faculty of Biological Sciences and Agronomy, University of Tizi Ouzou, Algeria

<sup>7</sup>Natural Resources Laboratory, Algeria

<sup>8</sup>Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Badr University in Cairo (BUC), Egypt

<sup>9</sup>Department of Pharmaceutical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Badr University in Cairo (BUC), Egypt

<sup>10</sup>School of Biotechnology, Badr University in Cairo (BUC), Egypt

Received September 2, 2023; Revised December 20, 2023; Accepted January 8, 2024

### Cite This Paper in the Following Citation Styles

(a): [1] Dalila Amokrane, Ahmed Mohammedi, Radhia Yekhllef, Djamel Belfennache, Nacira Daoudi Zerrouki, Shaza H. Aly, Mohamed A. Elanany, Mohamed A. Ali, "Insecticidal Activity, GC/MS Analysis, and *in silico* Studies of *Juniperus phoenicea* Essential Oil against *Aphis spiraecola*," *Universal Journal of Agricultural Research*, Vol. 12, No. 1, pp. 51 - 64, 2024. DOI: 10.13189/ujar.2024.120106.

(b): Dalila Amokrane, Ahmed Mohammedi, Radhia Yekhllef, Djamel Belfennache, Nacira Daoudi Zerrouki, Shaza H. Aly, Mohamed A. Elanany, Mohamed A. Ali (2024). *Insecticidal Activity, GC/MS Analysis, and in silico Studies of Juniperus phoenicea Essential Oil against Aphis spiraecola*. *Universal Journal of Agricultural Research*, 12(1), 51 - 64. DOI: 10.13189/ujar.2024.120106.

Copyright©2024 by authors, all rights reserved. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

**Abstract** In the context of sustainable agriculture, bioinsecticides are employed to protect crops against pests while simultaneously minimizing their detrimental impact on ecosystems. The objective of our study was to investigate the chemical composition of the essential oil obtained from *Juniperus phoenicea* leaves using gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). Additionally, we aimed to explore the insecticidal abilities of the oil against *Aphis spiraecola*. This study identified and characterized a total of 48 compounds, primarily belonging to the class of monoterpene hydrocarbon compounds (49.58%). The most abundant compound within this class was  $\alpha$ -pinene, accounting for (33.73%) of the total compounds. Sesquiterpene hydrocarbons constituted (23.82%) of the compounds, with  $\sigma$ -cadinene being the major compound at (6.06%). Oxygenated monoterpene compounds made up (21.89%) of the total,

with camphor being the predominant compound at (6.18%). Lastly, oxygenated sesquiterpenes accounted for (3.10%) of the compounds. The essential oil isolated from *J. phoenicea* showed promising insecticidal activity against *Aphis spiraecola* with a LD<sub>50</sub> value of 0.8  $\mu$ L. Furthermore, the *in silico* investigations were specifically centered on the enzyme acetylcholinesterase as the primary target for the major compounds. Our findings indicate that *J. phoenicea* oil exhibits promising insecticidal properties. It has the potential to provide a resolution for harmonizing agricultural ecosystems and ensuring sustainability.

**Keywords** *Juniperus phoenicea*, Essential Oil, Chemical Composition, *Aphis spiraecola*, Insecticidal Activity, Molecular Docking

## 1. Introduction

Citrus growing in Algeria has considerable economic potential, currently covering an area of 63,296 ha (hectar). Citrus plays a very important and essential role in food, human health, the agri-food industry and in the country's economic revenues through exports [1]. The Chlef region is considered the 2<sup>nd</sup> largest citrus production area in Algeria with over 12,258 ha after the Mitidja, which covers 29,508 ha [2]. Citrus health in Algeria is a worrying issue as we are witnessing a growing decline due to several limiting factors, including, according to Bové [3], a poor state of sanitation, a high number of pests, and various insect-borne diseases. These diseases increase the cost of cultivation, and reduce yields and the quality of harvests, leading to considerable economic losses, and environmental degradation through the excessive use of chemicals, not to mention the harmful consequences for human health [4]. Aphids are classified as one of the most formidable insect groups on crops, forests, and ornamental plants [5]. There are some 4000 species worldwide, of which around 250 species are crop-influenced [6].

Most crop pests have long been controlled by the more or less abusive use of pesticides of all kinds. Today, we know the sometimes very harmful effects of pesticides on non-target insects and their ecosystems. The negative impact of pesticides is all the greater when they affect populations of crop-helping insects [7]. These insects offer a wide range of benefits, such as crop pollination, which is carried out by many insects, the decomposition of organic matter in cultivated soils, and the regulation of pest populations. The problems of resistance and the harmfulness of synthetic insecticides have led to the need to find more effective and healthier alternatives. Essential oils are currently the most widely tested products [8]. These natural insecticides, known as plant insecticides, have several advantages over synthetic compounds, due to their rapid biodegradation and reduced environmental risks.

*Juniperus phoenicea* (Cupressaceae), which is known locally as "Arayar", has been utilized in household remedies for various ailments for centuries and is widely recognized as a medicinal plant. It can grow as either a tree or a shrub, reaching heights of up to 8 meters. Its

distribution encompasses the Mediterranean region, spanning from Morocco and Portugal to Turkey and Egypt [9]. Various species of *Juniperus* have been utilized in traditional medicine to combat infectious and inflammatory ailments. These species are believed to contribute to overall well-being and good health [10, 11]. Besides, *Juniperus* exhibits various biological effects including antioxidant, antimicrobial, anti-cholinesterase, anti-tyrosinase, antiseptic, anthelmintic, hepatoprotective and cytotoxic properties [11–13]. Studies on the plant's phytochemistry have revealed its high concentration of flavonoids, phenolic acids, and essential oil [12–15]. Additionally, the berries in orange-brown colour are abundant in unsaturated lipids and minerals. Plant secondary metabolites have a wide variety of effects on insects [16, 17] defensive, repellent, or deterrent substances, ant phagostimulants or digestion inhibitors, pollinator attractants, oviposition or capture inducers [18]. These compounds act at low doses and most often belong to secondary plant metabolism. Several molecules have been extracted from plants to combat insect pests: nicotine from tobacco, rotenone from Papilionaceae or pyrethrums from *Chrysanthemum* [5]. Plants can be an alternative source of control agents against bio-aggressors because they are a rich source of bioactive chemicals [19–21]. The use of new chemical molecules with insecticidal properties could provide an alternative or complementary approach to conventional treatments, thus diversifying control methods against plant pests.

The aim of the current study was to investigate the chemical composition of the essential oil of *Juniperus phoenicea* leaves and to evaluate their insecticidal effects against the citrus pest *Aphis Spiraecola*, to better ensure production by reducing the damage caused by this devastator, and to reduce the use of chemical products and consequently limit their harmful effects on the environment and human health.

## 2. Experimental

Figure 1 represents a scheme for illustration of the presented work from collecting plants to extraction of essential oil and finally using it as insecticide.



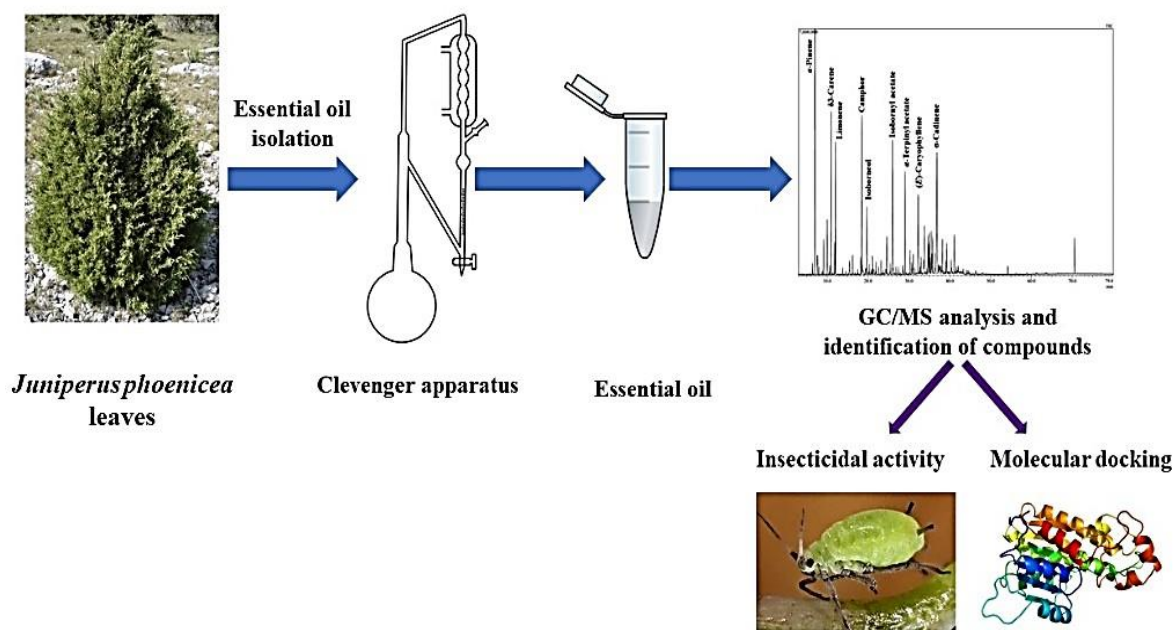


Figure 1. A scheme for illustration of the steps of the current work

## 2.1. Plant Material

*Juniperus phoenicea* leaves were collected from the locality of karimia in 2021 in the Chlef region, located in central Algeria (36° 10' 26" N, 1° 20' 12" E), characterized by a semi-arid climate (Köppen-Geiger classification). The plant material was authenticated by the Bioresources laboratory of Hassiba Benbouali University, Chlef, Algeria. After harvesting, leaves were carefully washed, dried and ground.

## 2.2. Essential Oil Isolation

The essential oil was extracted by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus [22] with a sample/water ratio (g/mL) equivalent to 1/5. After three hours of extraction, the condensed vapor gave an organic phase (essential oil) which was separated from the water by decantation, weighed and stored at 4°C in amber bottles until use. The essential oil yield is defined as the ratio between the mass of essential oil obtained after distillation and the dry mass of the plant material used [23]. Yield is expressed as a percentage and is given by the following formula:

$$\text{Yield (\% DM)} = \frac{(\text{mass of oil} * 100)}{\text{mass of dry plant material}}$$

## 2.3. GC/MS Analysis

Chromatographic analyses were carried out using a Hewlett Packard Agilent 6890 plus GC/MS instrument coupled to an Agilent 5975 mass spectrometer. Separation was carried out on a polar HP-5MS capillary column consisting of 5% phenyl and 95% dimethylpolysiloxane

(30 m x 0.25 mm, 0.25 µm). The carrier gas was helium N6.0 at a flow rate of 1 mL/min. Column temperature was initially set at 60°C for 8 min, then gradually increased by 2°C/min to 250°C, isothermal for 10 min. The split injector was at 250°C and the split ratio was 1:80. The injected volume was 0.2 µL. Mass spectra were recorded by a quadrupole detector and ionization was performed by electron impact at a potential of 70 eV. Volatile components were identified by matching their recorded mass spectra with those stored in NIST, Wiley and PAST operating software, the GC/MS data system mass spectra library and other published mass spectra. Determination of component percentages was based on normalization of peak area without the use of correction factors.

## 2.4. Insect Collection

Aphid-infested citrus leaves were collected from an orchard in the commune of Medjadja in the northeast of the wilaya of Chlef, at an altitude of 152 m. The leaves were collected in plastic boxes (20x10x5 cm), covered with fine-mesh fabric for aeration. Identification and isolation of *Aphis spiraecola* Patch 1914 larvae and adults was carried out under binocular loupe, using the identification keys of Blackman [24]. We selected the two stages of the insect (larvae and adults) to study the effect of our essential oil as a bio-insecticide to combat this pest, which causes direct and indirect damage to citrus fruit at different stages of its cycle. Insects were stored at 26 ± 2°C and 40 ± 5% relative humidity until use. The contact insecticidal activity of the essential oil was determined according to the protocol of Stefanazzi [25].

## 2.5. Contact Insecticidal Activity of the Essential Oil

The contact bioassay of the essential oil was determined according to the method written by Nadio [26]. The tests were carried out *in vitro* under laboratory conditions in a randomized technique. The experimental unit used was 9 cm-diameter petri dishes where we placed a healthy citrus leaf previously impregnated with 0.25  $\mu\text{L}$  of the 5 different concentrations tested (1  $\mu\text{L}$ , 2.5  $\mu\text{L}$ , 5  $\mu\text{L}$ , 7.5  $\mu\text{L}$  and 10  $\mu\text{L}$ ) on which we deposited 20 insects. Concentrations were diluted with DMSO, which was used as a negative control. Acetamiprid 20% was used as the reference insecticide and represents the positive control. Petri dishes were covered with perforated plastic tape and stored at  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $40 \pm 5\%$  relative humidity. Mortality was recorded after 24h, 48h and 72h. A control (without product application) was included to determine corrected mortality in each replicate according to Abbott [27] formula:

$$M_c = \frac{M_e - M_t}{100 - M} \times 100$$

$M_c$  = corrected mortality in percent.

$M_e$  = test sample mortality.

$M_t$  = mortality in the untreated control.

Each treatment was repeated 3 times and the  $\text{LD}_{20}$ ,  $\text{LD}_{50}$  and  $\text{LD}_{90}$  values were calculated by Probit analysis [28, 29].

The lethal dose 50 ( $\text{LD}_{50}$ ) is calculated from the probit regression line. Probits =  $f(\log \text{dose})$  corresponding to the percentages of mortalities corrected as a function of the logarithms of the treatment doses. To calculate  $\text{LD}_{50}$ , times were transformed into decimal logarithms and mortality values into probits using the probit table. We used the following regression line:  $y = ax + b$  ( $y$ : corrected mortality probit and  $x$ : log doses), ( $a$ : slope and  $b$ : constant value). We then used the transformation of the percentages of corrected mortality into probit and the transformation into the decimal logarithm of doses and time to estimate the  $\text{LD}_{50}$  [28, 29].

A field trial has already been carried out and the very satisfactory results have already been published [30]. The volatile essential oils are fixed in the field by adding certain components to the mixture [30].

## 2.6. In Silico Studies

The crystal structures of AchE (PDB ID: 6XYU, previously known as 1QON) were downloaded from the Protein Data Bank (<http://www.rcsb.org/pdb>) [31]. Molecular operating environment was used for initial docking while vina Autodock was used for refinement. At first, the protein was prepped using the built-in "Quickprep" function. Validation was performed through docking of the co-crystallized ligand followed by calculation of RMSD between the docked pose and the co-crystallized one. After successful validation, the

compounds were imported and prepped into MOE database file, that was then docked using "Induced fit" protocol. The interactions were then viewed using Discovery Studio Visualizer 2021. For refinement, the protein and ligands were prepared and converted to "pdbqt" format using MGL-tools [32]. Afterwards, the compounds were docked using Autodock Vina [33] and the interactions were viewed through discovery studio visualizer.

## 2.7. Statistical Analysis

Results were expressed as mean  $\pm$  SD. The one-way ANOVA test followed by the Fischer test was used to compare the results of the insecticidal activity of the essential oil of the plant studied. The level of statistical significance was set at  $P < 0.05$ .

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Essential Oil Yield

The essential oil obtained by hydrodistillation of *J. phoenicea* is pale yellow in color, with a specific gravity of around 0.909. The yield is  $0.73 \pm 0.02\%$  (mg / 100g). This is high compared with those reported by [34] and [35] who found yields of 0.5% and 0.4%, respectively. Several factors can influence yield, such as the geographical area of collection, the organ used, the stage of development, the degree of freshness, the drying period and method, and the extraction equipment used [35, 36].

According to Kelen [37], differences in essential oil quantities may be linked to the choice of harvesting period, and are also influenced by various factors, including sunshine, soil type and components, temperature, altitude, climate, growing region and the genetic composition of the individuals, which is of prime importance in terms of yield.

### 3.2. Characterization of the Essential Oil by GC/MS

Leaves of Juniper (*Juniperus phoenicea*) essential oil was analyzed by GC/MS (Figure 2). The results revealed the identification of forty-eight compounds, accounting for approximately (98.39%) of total oil as depicted in Figure 2 and Table 1. The chemical composition investigation of the essential oil of *Juniperus phoenicea* revealed that the oil was predominated by monoterpenes hydrocarbon representing about (49.58%), followed by sesquiterpene hydrocarbons (23.82%), oxygenated monoterpenes (21.89%), and oxygenated sesquiterpenes (3.10%) (Figure 3). The major constituents of the oil were found to be  $\alpha$ -pinene (33.73%), camphor (6.18%) and  $\sigma$ -cadinene (6.06%) followed by,  $\delta$ 3-carene (5.63%), isobornyl acetate (4.71%), limonene (4.30%),  $\alpha$ -terpinyl acetate (3.41%), (*E*)-caryophyllene (2.78%) and

isoborneol (2.31%) (Figure 4). From these data, we can conclude that monoterpenes represent the most widespread biochemical class in the oil extracted from leaves of *Juniperus phoenicea*, with ( $\alpha$ -pinene) as the major constituent, followed by sesquiterpenes at lower levels.

Several previous studies confirm our results and show that essential oils from the leaves of *J. phoenicea* mainly contain  $\alpha$ -pinene. Indeed, [38] identified  $\alpha$ -terpinyl acetate,  $\alpha$ -pinene and germacrene D as the major components in the essential oil isolated from *J. phoenicea* leaves collected from Libya. Another study on leaves of *J. phoenicea* collected from Morocco revealed its richness with  $\alpha$ -pinene and  $\delta$ -cadinene [39]. Another study on the berries of *J. phoenicea* L. grown in Egypt revealed that the major compounds are  $\alpha$ -pinene and  $\alpha$ -cedrol [11]. Another study by Medini et al. [40] investigated the GC/MS analysis of the essential oil of *J. phoenicea* L. ripe and unripe berries from Tunisia and the results revealed

that the oils were predominantly composed of  $\alpha$ -pinene, camphene,  $\delta$ -3-carene and *trans*-verbenol. The collected berries of *J. oxycedrus* L. growing in Croatia showed high percentage of monoterpenes hydrocarbons especially  $\alpha$ -pinene [41]. Bahri et al. [42] demonstrated that the essential oil of leaves of *J. thurifera* L. var. *Africana* from Morocco showed high percentage of sabinene along with  $\alpha$ -pinene, terpinen-4-ol and bornyl acetate. Hanène et al. [43] investigated the chemical composition of two subspecies of *J. oxycedrus* namely *J. oxycedrus* ssp. *macrocarpa* (S. & m.) Ball. and *J. oxycedrus* L. ssp. *rufescens* (L. K.) berries from Tunisia. The major components identified were  $\alpha$ -pinene, germacrene D, myrcene, abietadiene and *cis*-calamenene. From these previous reports, the essential oil of *Juniperus* genus has a high monoterpenes content with sesquiterpenes present in smaller but appreciable quantities along with their geographical distribution.

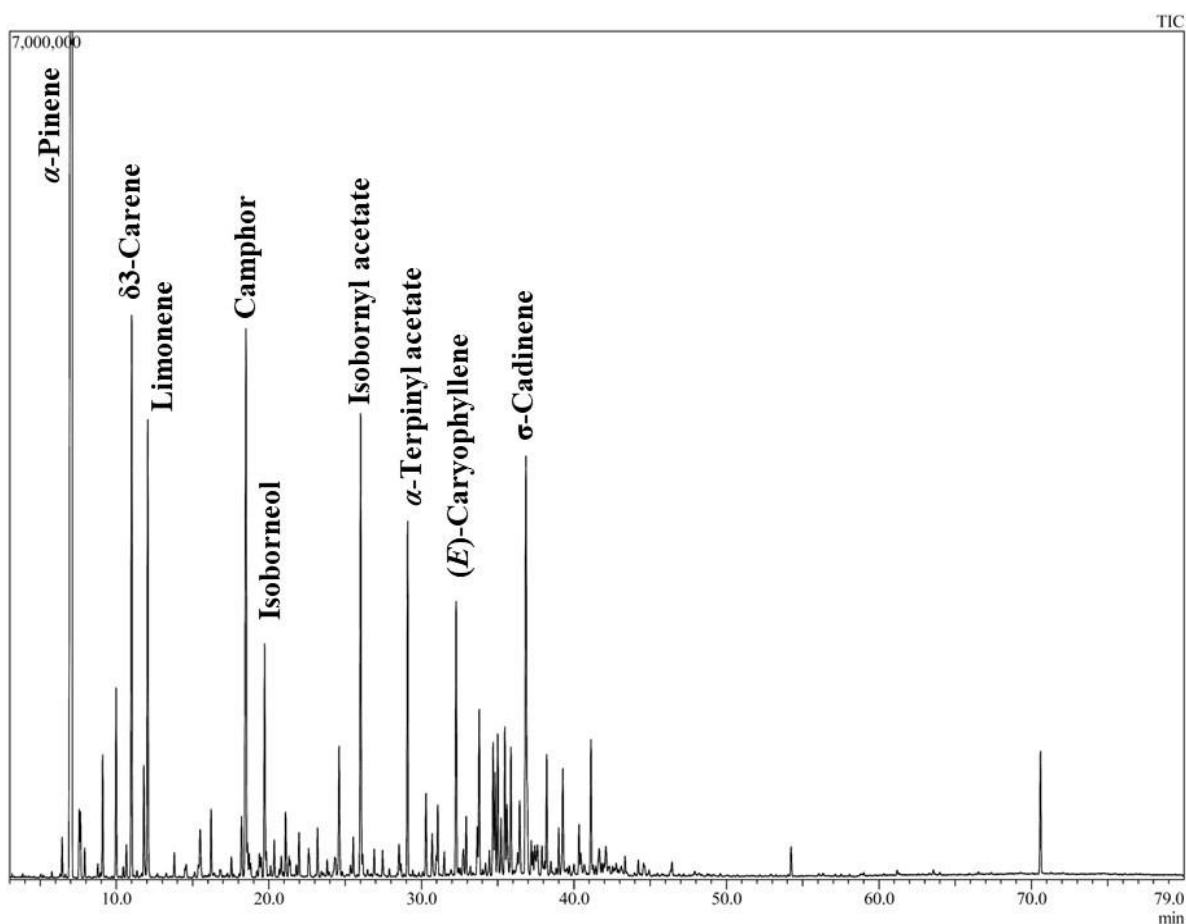


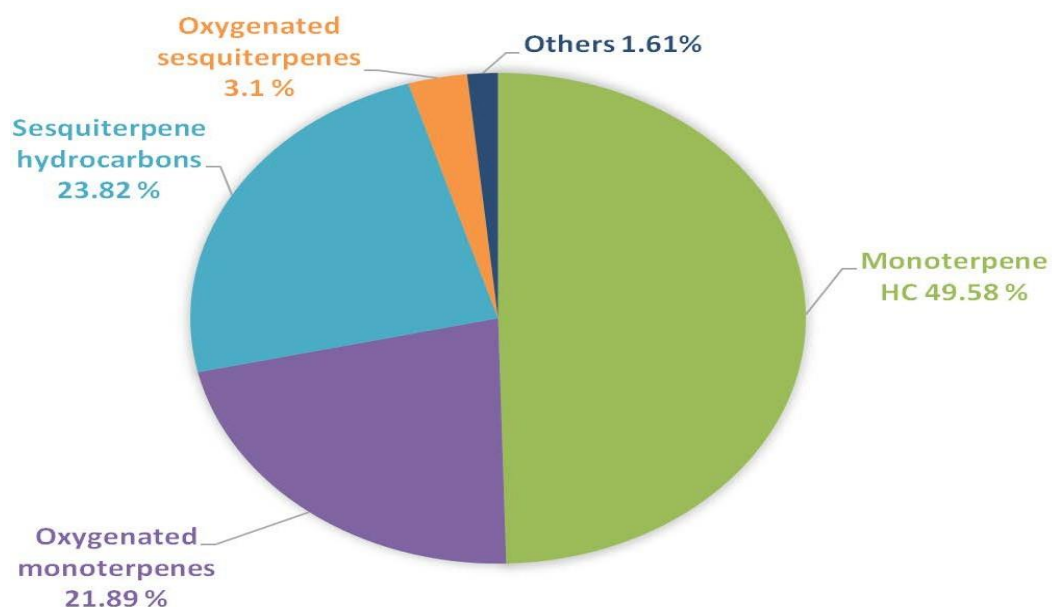
Figure 2. GC Chromatogram of the essential oil isolated from *Juniperus phoenicea* leaves

Table 1. Chemical composition of essential oil isolated from *Juniperus phoenicea* leaves using GC/MS analysis

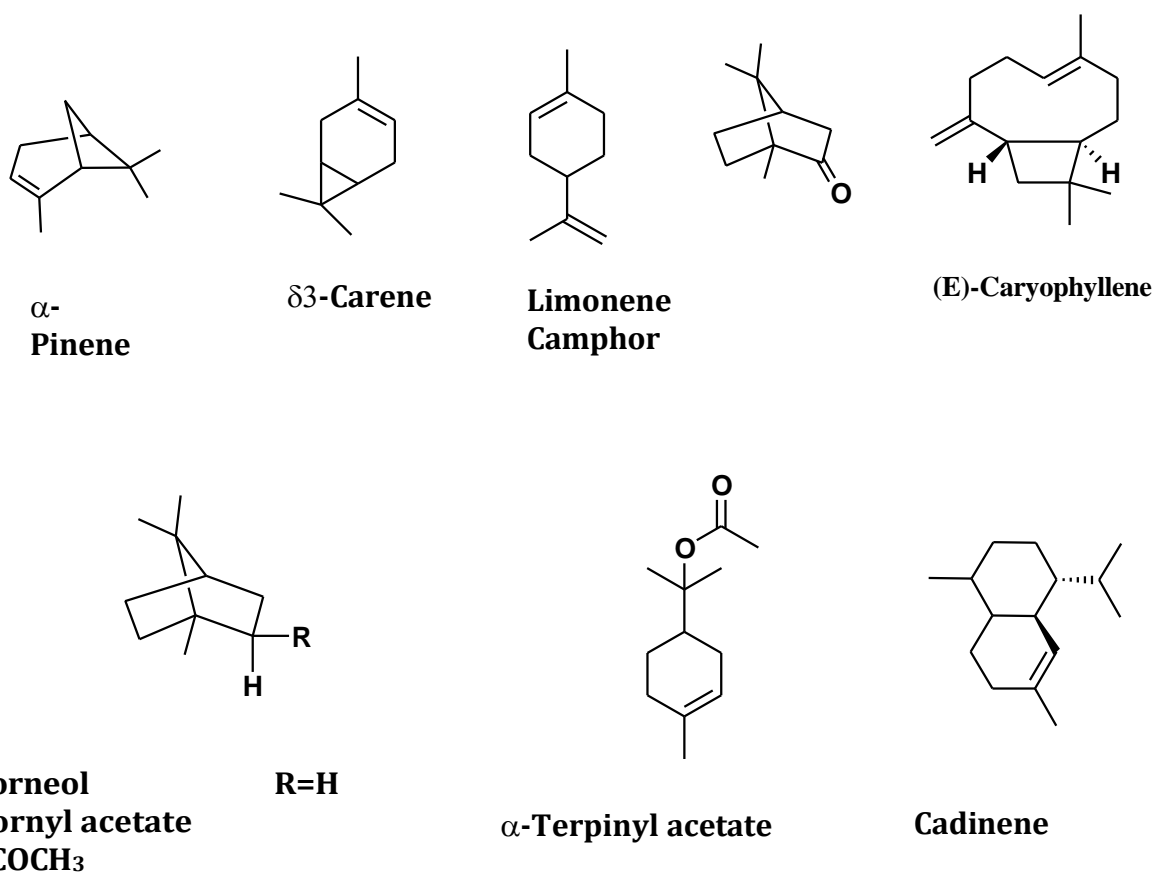
No.	Compound	Retention Time (Rt)	Molecular Formula	Retention Index	Class	Peak area (%)
1	Tricyclene	6.43	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	926	Monoterpene hydrocarbon	0.30
2	<b><math>\alpha</math>-Pinene</b>	7.08	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	939	Monoterpene hydrocarbon	<b>33.73</b>
3	$\alpha$ -Fenchene	7.56	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	950	Monoterpene hydrocarbon	0.54
4	Camphene	7.63	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	954	Monoterpene hydrocarbon	0.53
5	$\beta$ -Pinene	9.09	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	978	Monoterpene hydrocarbon	1.04
6	$\beta$ -Myrcene	9.98	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	981	Monoterpene hydrocarbon	1.66
7	$\alpha$ -Phellandrene	10.65	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	996	Monoterpene hydrocarbon	0.30
8	<b><math>\delta</math>3-Carene</b>	11.00	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1005	Monoterpene hydrocarbon	<b>5.63</b>
9	<i>o</i> -Cymene	11.80	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	1028	Monoterpene hydrocarbon	1.03
10	<b>Limonene</b>	12.05	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1032	Monoterpene hydrocarbon	<b>4.30</b>
11	$\alpha$ -Terpinolene	15.487	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1088	Monoterpene hydrocarbon	0.52
12	Linalool	16.20	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1104	Oxygenated monoterpene	0.59
13	<i>cis</i> -Pinocarveol	18.21	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1140	Oxygenated monoterpene	0.65
14	<b>Camphor</b>	18.49	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1146	Oxygenated monoterpene	<b>6.18</b>
15	<b>Isoborneol</b>	19.71	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1160	Oxygenated monoterpene	<b>2.31</b>
16	Terpinen-4-ol	20.34	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1177	Oxygenated monoterpene	0.31
17	$\alpha$ -Terpineol	21.09	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1190	Oxygenated monoterpene	0.61
18	(1R)-(-)-Myrtenal	21.30	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1193	Oxygenated monoterpene	0.32
19	D-Verbenone	21.97	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	1206	Oxygenated monoterpene	0.40
20	<i>trans</i> -Carveol	22.60	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O	1217	Oxygenated monoterpene	0.37
21	Citronellol	23.19	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> O	1232	Oxygenated monoterpene	0.40
22	Linalyl acetate	24.60	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	1253	Oxygenated monoterpene	1.30
23	Dihydrocarvyl acetate	25.52	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	1259	Oxygenated monoterpene	0.33
24	<b>Isobornyl acetate</b>	26.01	C <sub>12</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	1285	Oxygenated monoterpene	<b>4.71</b>
25	<b><math>\alpha</math>-Terpinyl acetate</b>	29.09	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	1367	Oxygenated monoterpene	<b>3.41</b>

Table 1 Continued

26	$\alpha$ -Copaene	30.29	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1376	Sesquiterpene hydrocarbon	0.81
27	$\beta$ -Bourbonene	30.70	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1384	Sesquiterpene hydrocarbon	0.40
28	Elemene	31.07	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1394	Sesquiterpene hydrocarbon	0.65
29	<b>(E)-Caryophyllene</b>	32.27	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1417	Sesquiterpene hydrocarbon	<b>2.78</b>
30	<i>cis</i> -Thujopsene	32.75	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1430	Sesquiterpene hydrocarbon	0.35
31	$\beta$ -Germacrene	32.93	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1431	Sesquiterpene hydrocarbon	0.52
32	<i>trans</i> -Muuroala-3,5-diene	33.66	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1450	Sesquiterpene hydrocarbon	0.45
33	$\alpha$ -Humulene	33.78	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1455	Sesquiterpene hydrocarbon	1.62
34	<i>trans</i> -Cadina-1(6),4-diene	34.69	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1475	Sesquiterpene hydrocarbon	1.38
35	$\gamma$ -Muurolene	34.83	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	1478	Sesquiterpene hydrocarbon	1.02
36	(-)-Germacrene D	35.00	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1480	Sesquiterpene hydrocarbon	1.42
37	epi- $\beta$ -Selinene	35.22	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1485	Sesquiterpene hydrocarbon	0.58
38	<i>cis</i> -Muuroala-4(15),5-diene	35.46	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1491	Sesquiterpene hydrocarbon	1.50
39	Valencene	35.61	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1493	Sesquiterpene hydrocarbon	0.83
40	$\alpha$ -Muurolene	35.87	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1517	Sesquiterpene hydrocarbon	1.30
41	<i>trans</i> - $\gamma$ -Cadinene	36.43	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1534	Sesquiterpene hydrocarbon	0.69
42	<b><math>\sigma</math>-Cadinene</b>	36.85	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1541	Sesquiterpene hydrocarbon	<b>6.06</b>
43	Cubenene	37.20	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1552	Sesquiterpene hydrocarbon	0.30
44	Germacrene B	38.21	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1562	Sesquiterpene hydrocarbon	1.16
45	Citronellyl 2-methylbutanoate	39.00	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	1587	Oxygenated sesquiterpene	0.40
46	(-)-Caryophyllene oxide	39.27	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1589	Oxygenated sesquiterpene	0.97
47	Humulene epoxide I	40.33	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1606	Oxygenated sesquiterpene	0.39
48	Cubenol	41.11	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1623	Oxygenated sesquiterpene	1.34
<b>Monoterpene Hydrocarbons</b>						49.58%
<b>Oxygenated Monoterpenes</b>						21.89%
<b>Sesquiterpene Hydrocarbons</b>						23.82%
<b>Oxygenated Sesquiterpenes</b>						3.10%
<b>Total identified</b>						98.39%
<b>Yield (mg/100 g)</b>						0.73 ± 0.02%



**Figure 3.** Pie chart demonstrate the distribution of volatile components in percentage within the essential oil of *J. phoenicea* leaves



**Figure 4.** Chemical structures of the Major constituents identified in essential oil isolated from leaves of *Juniperus phoenicea* using GC/MS analysis

### 3.3. Contact Activity of Essential Oil of *Juniperus phoenicea* Leaves

A toxic effect was noted for the essential oil tested. Mortality depends on its concentration. In fact, pest viability (larvae and adults) decreased as the concentration of *J. phoenicea* essential oil increased. The results obtained are shown in Table 2, together with a comparison between the positive and negative controls.

**Table 2.** Mean larval and adult mortality as a function of *Juniperus phoenicea* essential oil concentration

Concentration	Percentage of Mortalities %	
	Larvae	Adults
1 $\mu$ L	12.15 $\pm$ 1.10 <sup>b,c,d</sup>	10.88 $\pm$ 2.13 <sup>c,d</sup>
2,5 $\mu$ L	13.18 $\pm$ 0.98 <sup>a,b,c,d</sup>	9.57 $\pm$ 1.63 <sup>d</sup>
5 $\mu$ L	14.57 $\pm$ 1.63 <sup>a,b,c</sup>	13.69 $\pm$ 2.06 <sup>a,b,c,d</sup>
7.5 $\mu$ L	15.69 $\pm$ 0.56 <sup>a,b</sup>	16.11 $\pm$ 1.24 <sup>a,b</sup>
10 $\mu$ L	16.65 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup>	17.15 $\pm$ 1.65 <sup>a</sup>
DMSO (T-)	8.33 $\pm$ 1.52 <sup>c</sup>	8.73 $\pm$ 1.20 <sup>c</sup>
Standard Insecticide (Acetamiprid 20%) (T+)	13.33 $\pm$ 1.52 <sup>c</sup>	14 $\pm$ 1.04 <sup>c</sup>

Mean  $\pm$  Standard error.

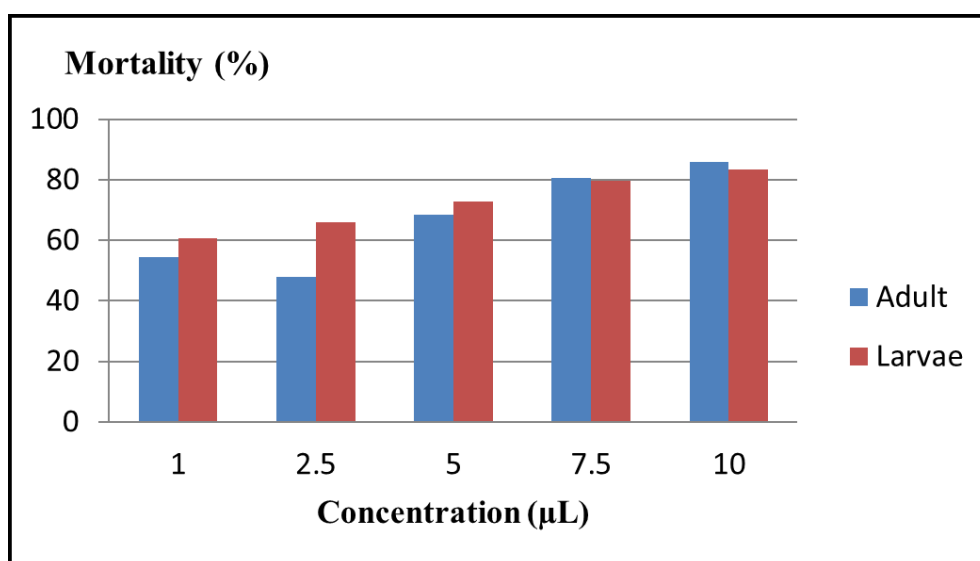
**Figure 5.** Average mortality percentage of *A. spiraecola* larvae and adults using essential oil of *J. phoenicea* at different concentrations

Figure 5 shows that the action of the oil on *A. Speraecola* mortality is a function of increasing concentration, and also varies according to the stage of the insect (larval and adult). At low concentrations (1  $\mu$ L/L), The essential oil obtained from *J. phoenicea* resulted in 60.75%  $\pm$  1.03 larval mortality and 54.4%  $\pm$  2.13 adult mortality, while at higher concentrations (10  $\mu$ L/L), its effect was significantly increased on larvae and adults than on the control. Mortality percentages were respectively 83.25%  $\pm$  1.26 for larvae and 85.75%  $\pm$  1.65 for adults. The mortality rate observed in the control was 66.65%  $\pm$  1.52 for the larval stage and 70%  $\pm$  1.04 for the adult stage. According to Bouzouita et al. (2008) *J. phoenicea* essential oil is highly toxic and contains active substances with an anti-appetite effect [34]. Harmouzi et al. [39] recorded a high mortality rate of *Aphis citricola* in contact with *J. phoenicea* essential oil due to the toxicity of the oxygenated monoterpenes of which are composed and which could interfere with neurotransmitters.

### 3.4. Determination of LD<sub>20</sub>, LD<sub>50</sub> and LD<sub>90</sub> of Essential Oil of *J. phoenicea* Leaves

As shown in Table 3, the doses required to induce 20%, 50% and 90% aphid mortality. The LD<sub>50</sub> of the oil is 0.8  $\mu$ L for larvae and 0.76  $\mu$ L for adults. Most pest control programs target the larval stages at their breeding sites with larvicides, as adulticides only temporarily reduce adult populations, allowing rapid re-emergence within a few days [15]. Several studies reported the beneficial effects of plant natural sources as bioinsecticides that have ovicidal and larvicidal effects [16, 44–47].

**Table 3.** Lethal doses of essential oil of *J. phoenicea* leaves

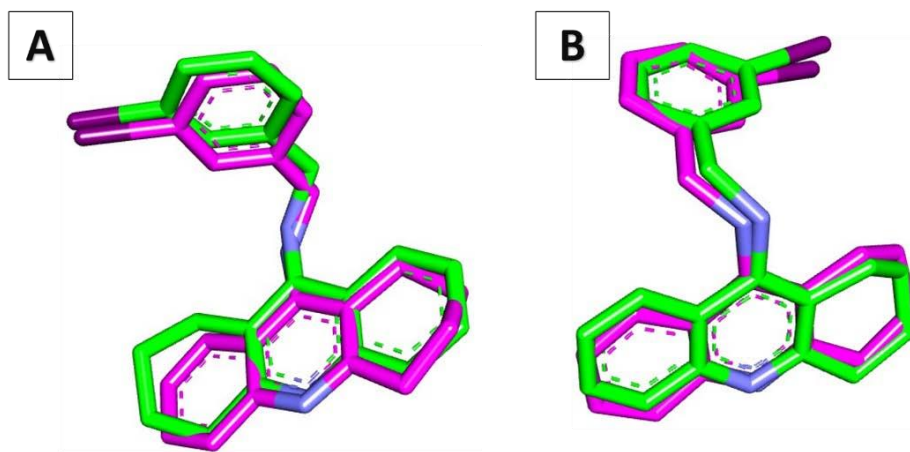
Lethal doses	Concentration (µL)	
	Larvae	Adults
LD <sub>20</sub>	0.03	0.03
LD <sub>50</sub>	0.8	0.76
LD <sub>90</sub>	0.91	0.9

### 3.5. In Silico Studies

Computational in silico study was performed to analyze and assess the insecticidal activity demonstrated by various extracts in previous sections. Literature revealed the importance of targeting acetylcholine esterase in insecticides particularly in the Aphis family [48, 49]. Thus, the protein data bank was searched and Aphis AchE (PDB ID: 6XYU, previously known as 1QON) was obtained and prepared. The protein is complexed with a potent tacrine inhibitor (ZAI) which was used for validation as well as comparative purposes. The docking was performed twice using two different tools for more in-depth results, initially using MOE followed by refinement through Vina. Docking validation was performed through redocking of the co-crystallized ligand into the binding pocket followed by measurement of root

mean square deviation (RMSD) between the two poses. As shown in Figure 6, in both tools, the docking protocol was valid with RMSD values of 0.56 and 0.41 Å for MOE and Vina, respectively. Interactions of ZAI were analyzed for comparative analysis of our compounds. ZAI featured several hydrophobic amino acids such as TRP83, PHE330, TYR370 and TYR374. Two hydrogen bonds were present with TYR71 and TYR370.

Afterwards, the compounds were docked using both tools and the results were reported in Table 4. All compounds exhibited favorable binding to AchE as evidenced by the negative scores in kcal/mole in both tools. In both cases,  $\alpha$ -terpinyl acetate, (*E*)-caryophyllene and  $\sigma$ -cadinene were the top scoring compounds. Analysis of the binding interactions of each compound revealed their similarity to reference ZAI with respect to their interactions with TYR71, TYR370, PHE371 and TYR374. Interactions of  $\sigma$ -cadinene and (*E*)-caryophyllene were predominantly hydrophobic (Figure 7). Finally,  $\alpha$ -terpinyl acetate illustrated a similar binding with one difference due to the acetyl moiety it possessed. This acetyl moiety enabled it to form hydrogen bonds with GLU80, TRP83 and TYR374. Despite these hydrogen bonds, the overall score was the lowest among top-scoring compounds mainly due to the distance between the interacting moieties as shown in Figure 8.

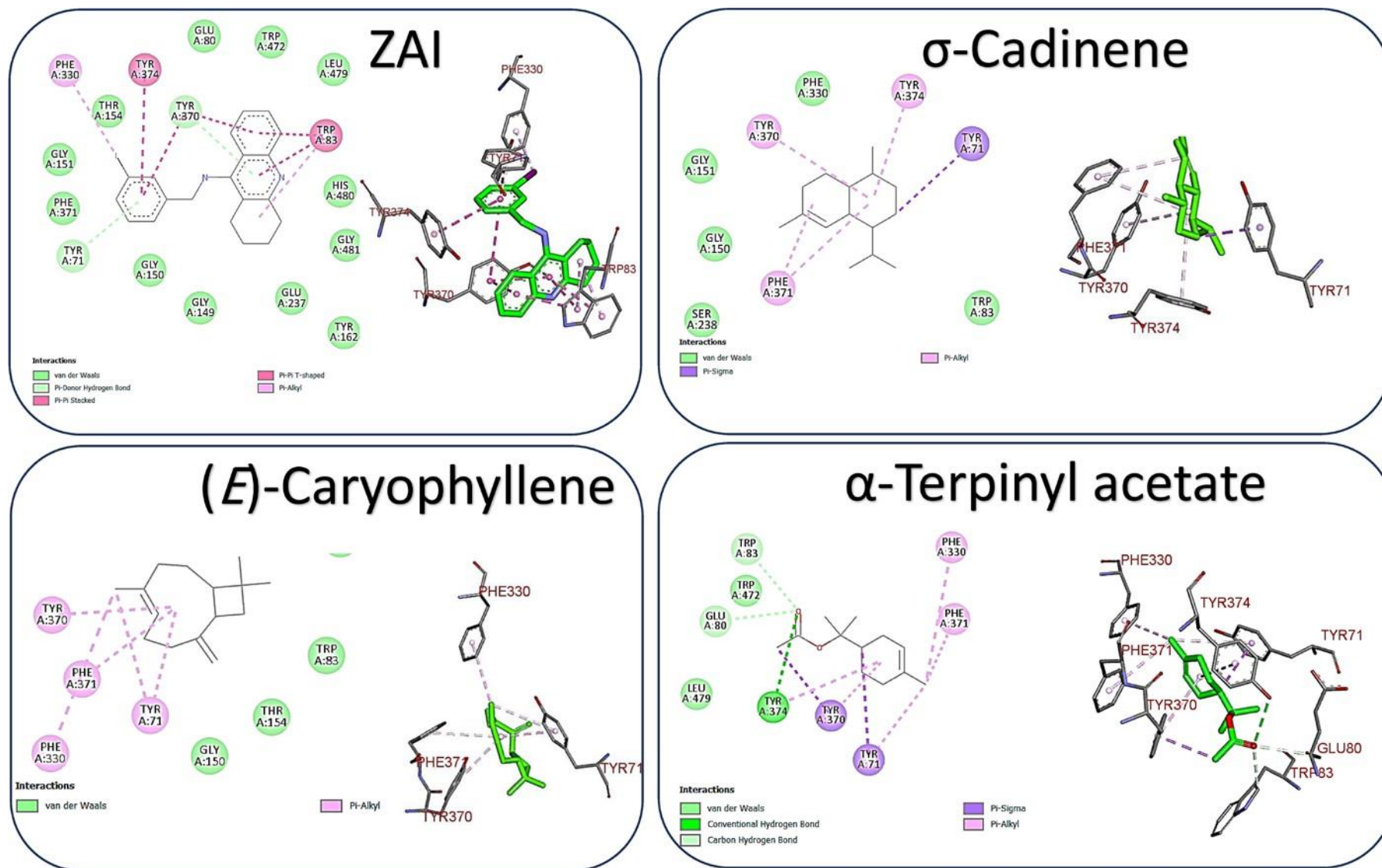


**Figure 6.** Overlay of the co-crystallized pose (green) and the re-docked pose (pink) of ZAI inside AchE (PDB ID: 6XYU) during validation (RMSD = 0.56 and 0.41 Å for A: MOE and B: Vina, respectively)

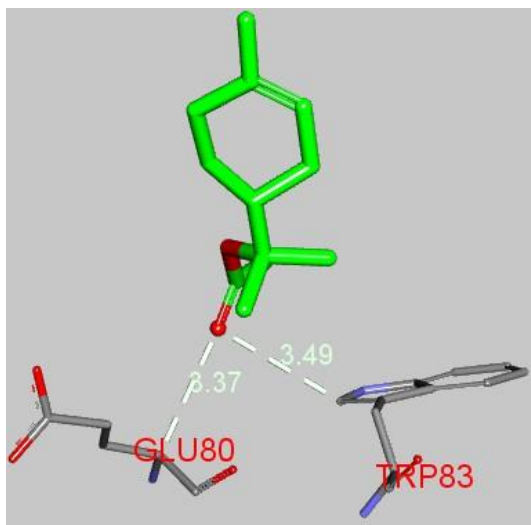
**Table 4.** Docking results in kcal/mole of the compounds against AchE (PDB ID: 6XYU)

No.	Compound	Score MOE	Score Vina	No.	Compound	Score MOE	Score Vina
2	$\alpha$ -Pinene	-4.91	-7.2	24	Isobornyl acetate	-5.27	-6.8
8	$\delta$ 3-Carene	-5.10	-7.4	25	$\alpha$ -Terpinyl acetate	-6.46	-8.2
10	Limonene	-5.49	-7.6	29	( <i>E</i> )-Caryophyllene	-5.69	-9.3
14	Camphor	-4.96	-6.3	42	$\sigma$ -Cadinene	-6.24	-9.4
15	Isoborneol	-4.64	-6.1	-	ZAI	-8.60	-12.0





**Figure 7.** 2D and 3D interactions of ZAI,  $\sigma$ -cadinene, (E)-Caryophyllene and  $\alpha$ -Terpinyl acetate in AChE



**Figure 8.** Hydrogen bonds with distances of  $\alpha$ -Terpinyl acetate with GLU80 and TRP83 in AchE

## 4. Conclusions

Crop protection using essential oils is a new and rapidly evolving process that is attracting increasing interest from researchers. This research will make it possible to develop effective biological products to protect crops against pathogens while limiting the use of pesticides. The essential oil produced by *Juniperus phoenicea* is largely dominated by monoterpenes, which have shown significant insecticidal activity. *In silico* studies of the major identified compounds confirmed the promising insecticidal activity of essential oil and their effects on the insect AchE in particular  $\alpha$ -terpinyl acetate, (*E*)-caryophyllene and  $\sigma$ -cadinene which demonstrated good binding to the enzyme. As such, we could conclude that the oil could be incorporated into sustainable agricultural practices, helping to preserve biodiversity and support the health of agricultural and natural ecosystems.

## Declaration of Interest Statement

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- [1] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Guide congrâceau financement de la FAO–Algérie Regional Integrated Pest Management Programme in the Near East/ GTFS/REM/070/ITA, Janvier 2012. 2012.
- [2] MADRP. Statistique Agricole, superficies et productions, SERIE B, 2016. Ministry of agriculture, rural development and fishing of Algeria. 77p. <https://madr.gov.dz/wp-content/uploads>. 2018.
- [3] Bové JM. Virus and virus-like diseases of citrus in the Near East region. Rome, FAO. 1995.
- [4] Kumar N, Pathera AK, Saini P, Kumar M. Harmful effects of pesticides on human health. *Ann Agri-Bio Res.* 2012;17:125–7.
- [5] Bézanger-Beauquesne L. Contribution des plantes à la défense de leurs semblables. In: *Bulletin de la Societe Botanique de France*. Springer (Netherlands); 1955. p. 548–75.
- [6] Bhatia V, Uniyal PL, Bhattacharya R. Aphid resistance in Brassica crops: challenges, biotechnological progress and emerging possibilities. *Biotechnol Adv.* 2011;29:879–88.
- [7] Dupin T. Observation of pests and their natural enemies in citrus orchards carried out with agroecological practices in Martinique. Doctoral dissertation, University of Angers. Université d'Angers; 2017.
- [8] Aly SH, El-Hassab MA, Elhady SS, Gad HA. Comparative Metabolic Study of Tamarindus indica L.'s Various Organs Based on GC/MS Analysis, In Silico and In Vitro Anti-Inflammatory and Wound Healing Activities. *Plants.* 2022;12:87.
- [9] Correll DS, Johnston MC. Manual of the vascular plants of Texas. Contrib from Texas Res Found A Ser Bot Stud. 1970;6:1881.
- [10] Akkol EK, Güvenç A, Yesilada E. A comparative study on the antinociceptive and anti-inflammatory activities of five *Juniperus* taxa. *J Ethnopharmacol.* 2009;125:330–6.
- [11] El-Sawi SA, Motawae HM, Ali AM. Chemical composition, cytotoxic activity and antimicrobial activity of essential oils of leaves and berries of *Juniperus phoenicea* L. grown in Egypt. *African J Tradit Complement Altern Med.* 2007;4:417–26.
- [12] Cheraif K, Bakchiche B, Gherib A, Bardaweel SK, Ayvaz MÇ, Flamini G, et al. Chemical composition, antioxidant, anti-tyrosinase, anti-cholinesterase and cytotoxic activities of essential oils of six Algerian plants. *Molecules.* 2020;25.
- [13] Dessoky ES, Ismail IA, El-Hallous EI, Alsanie WF. Research article protective role of *Juniperus phoenicea* L. leaves extract against gamma-irradiation-induced oxidative stress. *Pakistan J Biol Sci.* 2020;23:922–30.
- [14] Aboul-Ela M, El-Shaer N, El-Azim TA. Chemical constituents and antihepatotoxic effect of the berries of *Juniperus phoenicea* Part II. *Nat Prod Sci.* 2005;11:240–7.
- [15] Nasri N, Tlili N, Elfalleh W, Cherif E, Ferchichi A, Khaldi A, et al. Chemical compounds from Phoenician juniper berries (*Juniperus phoenicea*). *Nat Prod Res.* 2011;25:1733–42.
- [16] Aly SH, Elissawy AM, Salah D, Alfuhaid NA, Zyaan OH, Mohamed HI, et al. Phytochemical Investigation of Three *Cystoseira* Species and Their Larvicidal Activity Supported with *In Silico* Studies. *Mar Drugs.* 2023;21:1–17.
- [17] Pavela R. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Technol.* 2007;1:47–52.
- [18] Regnault-Roger C, Hamraoui A. Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allélochimiques. *Acta Bot Gall.* 1997;144:401–12.

- [19] Deravel J, Krier F, Jacques P. Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). Biotechnol Agron société Environ. 2013.
- [20] Aly SH, Elissawy AM, Mahmoud AMA, El-Tokhy FS, Mageed SSA, Almahli H, et al. Synergistic Effect of *Sophora japonica* and *Glycyrrhiza glabra* Flavonoid-Rich Fractions on Wound Healing: In Vivo and Molecular Docking Studies. *Molecules*. 2023;28:2994.
- [21] Ads EN, Hassan SI, Rajendrasozhan S, Hetta MH, Aly SH, Ali MA. Isolation, Structure Elucidation and Antimicrobial Evaluation of Natural Pentacyclic Triterpenoids and Phytochemical Investigation of Different Fractions of *Ziziphus spina-christi* (L.) Stem Bark Using LCHRMS Analysis. *Molecules*. 2022;27:1805.
- [22] Clevenger JF. Apparatus for volatile oil determination, Description of New Type. *Am Perfum Essent Oil Rev*. 1928;17:345–9.
- [23] Lainez-Cerón E, Jiménez-Munguía MT, López-Malo A, Ramírez-Corona N. Effect of process variables on heating profiles and extraction mechanisms during hydrodistillation of eucalyptus essential oil. *Heliyon*. 2021;7:e08234.
- [24] Blackman RL, Eastop VF. Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs. Volume 1. Host lists and keys. Wiley; 2006.
- [25] Stefanazzi N, Stadler T, Ferrero A. Composition and toxic, repellent and feeding deterrent activity of essential oils against the stored - grain pests *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *Pest Manag Sci*. 2011;67:639–46.
- [26] Nadio NA, Poutouli WP, Laba B, Tozouo P, Bokobana ME, Koba K, et al. Insecticidal and repellent properties of the essential oil of *Ocimum sanctum* L. against *Dysdercus voelkeri Schmidt* (Heteroptera; Pyrrhocoridae). *Life earth Sci Agron*. 2016;3:65–72.
- [27] Abbott WS. A method of computing the effectiveness of an insecticide. 1925. *J Am Mosq Control Assoc*. 1987;3:302–3.
- [28] Hamid S, Halouane F, Bissaad FZ, Benzina F. Study about the effect of *Beauveria bassiana* (Vuillemin IN 1912) on the aquatic stages of *Culex pipiens* (LINNÉ, 1758). *Int J Bio-Technol Res*. 2013;3:31–42.
- [29] A. C. Cours phytopharmacie. Ed. Inst. Nat Agro El-Harrach, T1. 1976;:514.
- [30] Amokrane D. NoStudy of the Insecticidal Effect of Essential Oils and Extracts of Two Medicinal Plants and Evaluation of Their Synergistic Potential *in Vivo*. *Tob Regul Sci*. 2023;9:3983–97.
- [31] Nachon F, Rosenberry TL, Silman I, Sussman JL. A Second Look at the Crystal Structures of *Drosophila melanogaster* Acetylcholinesterase in Complex with Tacrine Derivatives Provides Insights Concerning Catalytic Intermediates and the Design of Specific Insecticides. *Molecules*. 2020;25.
- [32] Ercan S, Şenses Y. Design and molecular docking studies of new inhibitor candidates for EBNA1 DNA binding site: a computational study. *Mol Simul*. 2020;46:332–9.
- [33] Trott O, Olson AJ. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *J Comput Chem*. 2010;31:455–61.
- [34] Bouzouita N, Kachouri F, Ben Halima M, Chaabouni MM. Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. *J la Société Chim Tunisie*. 2008;10:119–25.
- [35] Lalami AELO, Fouad E-A, Ouedrhiri W, Chahdi FO, Guemmouh R, Greche H. Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de deux plantes aromatiques du centre nord marocain: *Thymus vulagris* et *Thymus satureioidis*. *Les Technol Lab*. 2013;8.
- [36] Sefidkon F, Assareh MH, Abravesh Z, Barazandeh MM. Chemical composition of the essential oils of four cultivated Eucalyptus species in Iran as medicinal plants (*E. microtheca*, *E. spathulata*, *E. largiflorens* and *E. torquata*). *Iran J Pharm Res*. 2007;6:135–40.
- [37] Kelen M, Tepe B. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three *Salvia* species from Turkish flora. *Bioresour Technol*. 2008;99:4096–104.
- [38] Elmhalli F, Garboui SS, Karlson AKB, Mozūraitis R, Baldauf SL, Grandi G. Acaricidal activity against Ixodes ricinus nymphs of essential oils from the Libyan plants *Artemisia herba alba*, *Origanum majorana* and *Juniperus phoenicea*. *Vet Parasitol Reg Stud Reports*. 2021;24:100575.
- [39] Harmouzi A, Boughdad A, El Ammari Y, Chaouch A. Chemical composition and toxicity of Moroccan *Tetraclinis articulata* and *Juniperus phoenicea* essential oils against *Aphis citricola* Goot, 1912 (Homoptera, Aphididae). *Res Chem Intermed*. 2016;42:7185–97.
- [40] Medini H, Elaissi A, Khouja ML, Piras A, Porcedda S, Falconieri D, et al. Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Juniperus phoenicea* L. berries. *Nat Prod Res*. 2011;25:1695–706.
- [41] Milos M, Radonic A. Gas chromatography mass spectral analysis of free and glycosidically bound volatile compounds from *Juniperus oxycedrus* L. growing wild in Croatia. *Food Chem*. 2000;68:333–8.
- [42] Bahri F, Harrak R, Achak N, Romane A. Chemical composition and antibacterial activities of the essential oils isolated from *Juniperus thurifera* L. var. *Africana*. *Natural Product Research*. 2013;27:1789–94.
- [43] Hanène M, Ameer E, Larbi KM, Piras A, Porcedda S, Falconieri D, et al. Chemical composition of the essential oils of the berries of *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *rufescens* (L. K.) and *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (S. & m.) Ball. and their antioxidant activities. *Nat Prod Res*. 2012;26:810–20.
- [44] Aly SH, Elissawy AM, Allam AE, Farag SM, Eldahshan OA, Elshanawany MA, et al. New quinolizidine alkaloid and insecticidal activity of *Sophora secundiflora* and *Sophora tomentosa* against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Nat Prod Res*. 2021;36:2722–34.
- [45] Khursheed A, Rather MA, Jain V, Rasool S, Nazir R, Malik NA, et al. Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive

- overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. *Microb Pathog.* 2022;;105854.
- [46] Pavela R, Maggi F, Giordani C, Cappellacci L, Petrelli R, Canale A. Insecticidal activity of two essential oils used in perfumery (ylang ylang and frankincense). *Nat Prod Res.* 2021;35:4746–52.
- [47] Murugan JM, Ramkumar G, Shivakumar MS. Insecticidal potential of *Ocimum canum* plant extracts against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* larval and adult mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Nat Prod Res.* 2016;30:1193–6.
- [48] Mostafiz MM, Alam MB, Chi H, Hassan E, Shim J-K, Lee K-Y. Effects of sublethal doses of methyl benzoate on the life history traits and acetylcholinesterase (AChE) activity of *Aphis gossypii*. *Agronomy.* 2020;10:1313.
- [49] Ramos RS, Macêdo WJC, Costa JS, da Silva CHT de P, Rosa JMC, da Cruz JN, et al. Potential inhibitors of the enzyme acetylcholinesterase and juvenile hormone with insecticidal activity: Study of the binding mode via docking and molecular dynamics simulations. *J Biomol Struct Dyn.* 2020;38:4687–709.

## **Article 5: Study of the insecticidal effect of essential oils and extracts of two medicinal plants and evaluation of their synergistic potential *in vivo***

**Dalila Amokrane<sup>1,2\*</sup>**, Ahmed Mohammedi<sup>1,2</sup>, Malika Meziane<sup>1,2</sup>, Radhia Yekhllef

1. *Department of agronomic sciences university Hassiba Ben Bouali Chlef*

2. *Laboratory of natural and local bioresources*

[d.amokrane@univ-chlef.dz](mailto:d.amokrane@univ-chlef.dz)

### **Abstract**

Plants synthesize secondary metabolites, which are chemical substances (bioactive molecules) that play a vital role in chemical defense, fight against herbivores, and infectious agents.

In this perspective, we conducted a study to evaluate the toxicity of essential oils formulated from the leaves of *Pistacia lentiscus* L. and *Juniperus phoenicea* L. and their synergistic effect on the populations of citrus aphid (Aphis).

The objective of our study was to compare the physicochemical properties of extracts from two medicinal plants, to evaluate their synergistic potentials *in vivo*, and to determine the insecticidal activity by using different treatments with essential oils and extracts, depending on the time and solvent used.

The recorded results gave promising values of mortality rates for their individual or synergistic use, which are of the order of 83.43% for the essential oil of *P. lentiscus* and 99.03% for the essential oil of *J. phoenicea*. The synergy of the essential oils was 88.63%, which is higher than the effect of the essential oil of *J. phoenicea* alone, indicating a synergistic effect between the two plants. A mortality rate of 97% was recorded for the acetone extract of *J. phoenicea* and 56.60% for the acetone extract of *P. lentiscus*. The synergy of the acetone extracts was 75.03%, which means that their effect was between the acetone extract of *J. phoenicea* and the acetone extract of *P. lentiscus* alone, indicating that certain molecules are partially synergistic between the two plants. The mortality rates for the methanolic extracts were 80% for the methanolic extract of *J. phoenicea* and 99% for the methanolic extract of *P. lentiscus*. The synergy of the methanolic extracts was 94.65%, which means that their effect was lower than the effect of the methanolic extract of *P. lentiscus* alone, indicating that certain molecules are partially synergistic between the two plants. A mortality rate of 87.47% was recorded for the aqueous extract of *J. phoenicea* and 91% for the aqueous extract of *P. lentiscus*. The synergy of the aqueous extracts was 93.27%, which means that their effect was higher than the effect of the aqueous extract of *P. lentiscus* alone, indicating that there is a positive effect between the two plants.

The lethal times determined by probit analysis (TL<sub>20</sub>, TL<sub>50</sub>, TL<sub>90</sub>) showed that the treatment "synergistic essential oil" showed the shortest TL<sub>50</sub> with 4.98 hours, while the treatment "methanolic extract of *P. lentiscus*" showed the shortest TL<sub>90</sub> with 12.06 hours.

These same results allowed us to say that the bioproducts based on essential oils have shown a very significant effect on the citrus aphid (Aphis).

**Keywords:** Secondary metabolites, medicinal plants, citrus aphids, synergy, bioproducts

## **1.Introduction**

Algeria is well known for the importance of citrus cultivation, but also for low yields due in part to insect attacks. In this regard, it is important to study insect populations in citrus orchards in order to develop a strategy for crop protection, Loussert, (1989).

Of all the insect pests of citrus, aphids are the most problematic group. According to Lakhali, (2020), the biological and ethological characteristics of these insects, including their prodigious biotic potential and their extraordinary adaptation to the maximum exploitation of the environment through their polymorphism, make them major pests of crops.

When feeding on plant sap, aphids inject salivary toxins and phytopathogenic viruses Hullé *et al.*(2019). Their toxins can cause a characteristic leaf curling and stunted branch growth (Loussert,1989). Most crop pests have been controlled for many years by the use of pesticides of all kinds. However, we now know that pesticides can sometimes have harmful effects on non-target insects and ecosystems. The negative impact of pesticides is even greater when it affects populations of beneficial insects for crops (Collignon *et al.*, 2003).

The problems of resistance and toxicity of synthetic insecticides have led to the need to find more effective and healthier alternatives. Therefore, medicinal plants have been used for centuries for their therapeutic properties. They contain a variety of chemical compounds, some of which have biological activity against pathogens, insects and weeds. Nyegue,(2005) They are therefore an interesting source of new compounds for the search for bioactive molecules, (Pichon, 2016).

The objective of this study is to compare the physicochemical properties of extracts from two medicinal plants, *P. lentiscus* L and *J. phoenicea*, and to evaluate their synergistic potential on citrus aphid populations *in vivo* in order to reduce the damage caused by this destructive agent and reduce the use of chemicals and thus limit their harmful effects on the environment and human health.

## **2. Materials and methods**

### **2.1. Plant material**

Two plant species, *J. phoenicea* and *P. lentiscus* were collected in the Medjadja region of Chlef province, Algeria, in November and December 2022, respectively.

The plant material was authenticated by Mr. Omar Nadji, a professor at Hassiba Benbouali University in Chlef, Algeria The geographical coordinates are latitude: 36.25, longitude: 1.4, or 36° 15' 0" North, 1° 24' 0" East. After collection, the leaves were washed, dried, and ground. The

extracts were prepared by infusion and maceration. The physicochemical properties of the extracts were determined to assess the quality of the essential oils (EOs).

## **2.2. Animal material**

To determine the *in vivo* insecticidal activity of our plants, we conducted our experiment in a Thomson citrus orchard. The orchard is a pilot farm "Si Yahi" located in the commune of Medjadja, which is located 18 km from Chlef at an altitude of 152 m.

## **2.3. Extraction of essential oil**

The extraction of essential oil by hydrodistillation using a Clevenger-type apparatus was performed from the leaves of *J. phoenicea* and *P. lantiscus* by placing 100 g of dried plant material in 500 ml of distilled water at a temperature not exceeding 60°C.

The separation of the two components, the organic phase (essential oil) and water, is done by a separating funnel; the oil is weighed and stored at 4°C in dark bottles until use.

## **2.4. Chemical detection of secondary metabolites**

This is a technique that allows determining the different chemical groups contained in a plant organ. According to Muanda in 2010, it is about physico-chemical reactions that identify the presence of chemical substances such as: alkaloids, polyphenols (flavonoids, tannins), saponosides, glycosides.

## **2.5. Experimental protocol**

- **Preparation of the composition**

The protocol adopted in our experiment is a combination of several protocols already referenced in order to obtain a formulation suitable for our conditions.

In 1L of rainwater with acid pH, add 5ml of sunflower oil, 5ml of liquid soap (black soap) and 30g of clay. This constitutes the base solution to which 1ml of essential oils, extracts or blends are added. The preparations are then ready to be used on the *in vivo* field.

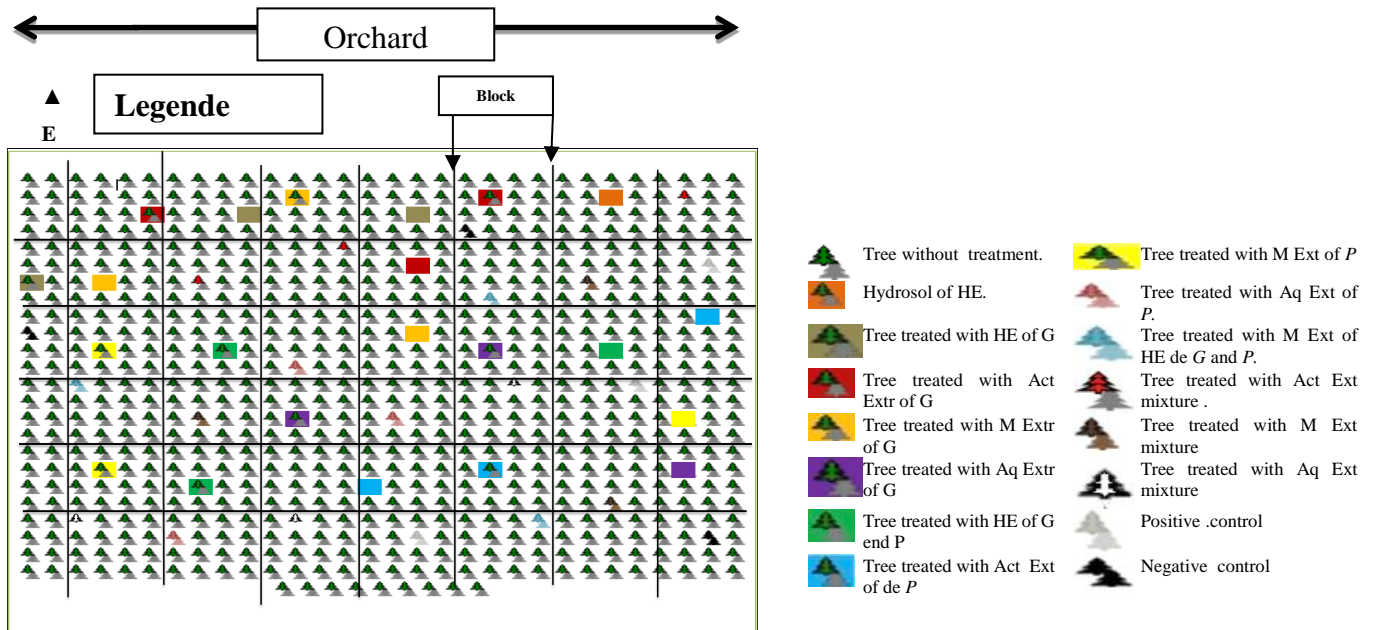
The positive control is a polyvalent systemic insecticide for foliar application and ensuring protection against a large number of harmful insects that attack fruit trees and citrus fruits. It contains 20% acetamipride.

- **Experimental device**

We randomly identified 43 citrus trees (figure1) infested by aphids, with three repetitions per treatment. On each tree, we labeled 5 branches in different directions (North, South, East, West, Center). Under each branch treated with the appropriate mixture, we placed an umbrella to collect the dead pests after spraying. A count of the living aphids (Nv) before spraying and the dead aphids



(Nt) was performed every two hours (2h, 4h, 6h, 8h, 10h and 24h).



**Figure1:** experimental device in the citrus orchard.

## 2.6. Insecticide contact activity

Mortality was recorded every 2 hours. Mortality was calculated and corrected using Abbott's formula (1925), which is expressed as follows:

$$M_c = \frac{M_e - M_t}{100 - M_t} \times 100$$

$M_c$  = mortality corrected in percentage.

$M_e$  = mortality of the tested sample.

$M_t$  = mortality in the untreated control.

Each treatment was repeated 3 times and the TL50 and TL90 values were set by the regression lines of the tests used.

## 2.7. Statistical analyses

Our in vivo results of  $N_v$  and  $N_t$  were dependent on the choice of branches and the number of aphid infestations, so we deemed it useful to report our results in the form of rates in order to compare them. All statistical tests and graphs were performed using the RStudio software (version 2023.3.0.386) (Posit team, 2023). The chosen significance level was 0.1% ( $p < 0.001$ ).

**a. Kruskal-Wallis test:** The Kruskal-Wallis test was used to determine if there is a significant difference between the aphid infestation rate and the different directions.

**b. One-way ANOVA:** The data are organized into several groups based on a single grouping variable, which is the mortality rate in our study (Millot, 2018).



**c. Repeated measures ANOVA:** Used to simultaneously evaluate the effect of two intra-subject factors, namely treatment type and time, on a continuous response variable, namely the aphid mortality rate.

**d. Analysis by the Probit method:** Used to determine the lethal times (TL) corresponding to different percentage efficacies for each treatment. The data were transformed into base 10 logarithm to satisfy the assumptions of the Probit analysis Sakuma, (1998).

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Essential oil yield

The yield of extraction differs from plant to plant. It is higher in *J. phoenicea* (0.37%) followed by synergy (0.29%) and finally *P. lantiscus* (0.17%). The results found for the yield by comparison to the results in the literature are different. For *J. phoenicea*, Abdelli in 2017 found a yield of 0.21% and for *P. lantiscus*, Arabi (2018) found a yield of 0.4%, while Belhachat in 2019 found a yield similar to the one we found (0.17%). The essential oil of the mixture of the two plants gave an intermediate yield (0.29%) between that of *P. lantiscus* and *J. phoenicea*. The yield of essential oils is influenced by various factors, such as sunlight, the nature and components of the soil, temperature, altitude, climate, region of cultivation and the genetic composition of individuals (Achak, 2006).

#### 3.2. Phytochemical screening of the studied species

The results of the phytochemical screening show that the two plants studied contain a variety of secondary metabolites (Table 1), including tannins, saponins, flavonoids, and polyphenols. These secondary metabolites are known for their antioxidant, anti-inflammatory, insecticide, and antimicrobial properties.

**Table1:** Secondary metabolites detected in the plants studied.

	Polyphenols	Tannins	Flavonoïds	Saponins
aqueous extract of <i>P. lantiscus</i>	+	+	+	+
méthanoïque Extract <i>P. lantiscus</i>	+	+	+	+
acétonique Extract <i>P. lantiscus</i>	+	+	+	+
aqueous extract of <i>J. phoenicea</i>	+	+	-	+
méthanoïque Extract <i>J. phoenicea</i>	+	+	+	+
acétonique Extract <i>J. phoenicea</i>	+	+	+	+
aqueous extract of Synergie	+	+	-	+
méthanoïque Extract Synergie	+	+	+	+
acétonique Extract Synergie	+	+	+	+

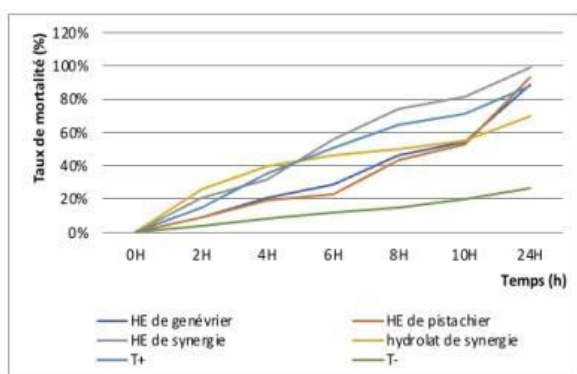
The results of the phytochemical analyses revealed the presence of most of the extracts studied, with the exception of the aqueous extract of *J. phoenicea* and the aqueous extract of synergy, which do not contain flavonoids.

In fact, the studies of Alzand et al. (2014), Latif et al. (2014) and Fadel et al. (2016) reported the presence of tannins and flavonoids in the extracts of *J. phoenicea*, while Makhloufi et al. (2014) and Amalich et al. (2016) reported the absence of tannins.

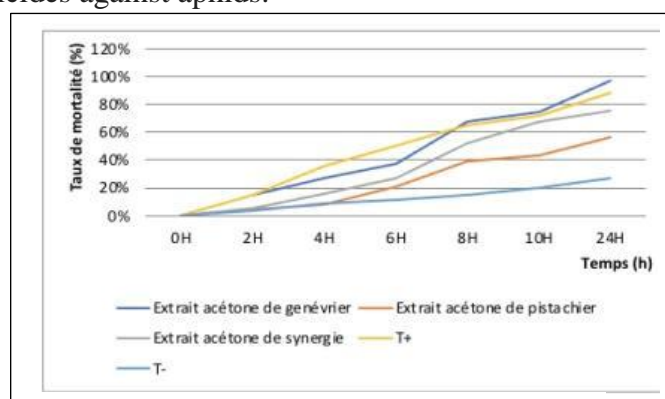
The analysis of the extracts of *P. Lentiscus* revealed the presence of tannins and saponins. Arab et al. (2014) and Merzougui (2015) in their studies on *P. Lentiscus* detected the presence of tannins and the absence of saponins. This same result was reported by Bammou et al. (2015), who detected a significant amount of saponins in the leaves of lentiscus. This difference in the parameters can be explained by the influence of external factors such as temperature, humidity, etc.

### 3.3. Evaluation of the insecticidal effect of essential oils and extracts of the plants (*J. phoenicea*, *P. lentiscus* and their synergistic potential).

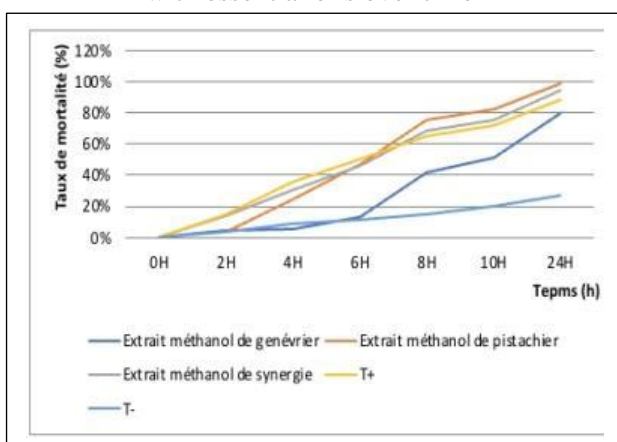
These *in vivo* results (Figures 2, 3, 4 and 5) suggest that the OEs and extracts of *J. phoenicea* and *P. lentiscus* could be used as natural insecticides against aphids.



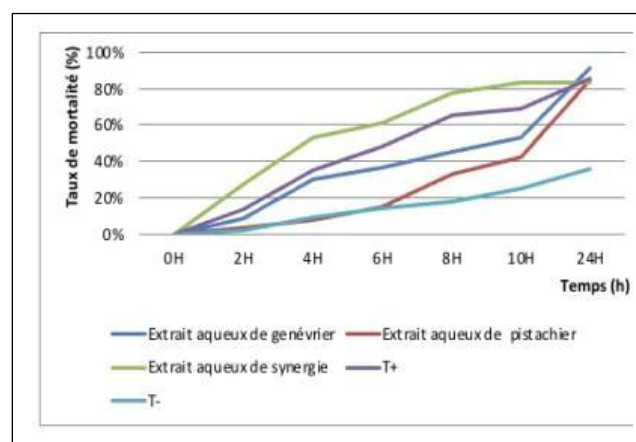
**Figure 2 :** Mortality rate of aphids treated with essential oils over time



**Figure 3:** mortality rate of aphids treated with acetone extracts over time



**Figure 4:** mortality rate of aphids treated with methanolic extracts over time



**Figure 5:** Mortality rate of aphids treated with aqueous extracts over time.

The mortality rates of aphids treated with essential oils of Pistacia (OEP), Juniperus (OEG), mixture (OES), Hydrosol (HS) and the different extracts of *P. lentiscus* (Ext ActP, Ext MP, Ext AqP) and *J. phoenicean* (Ext ActG, Ext MG, Ext AqG) and their mixtures (Ext ActS, Ext MS, Ext AqS) *in vivo* have shown a significant and positive insecticidal activity. The recorded mortalities are proportional to the exposure times (2h, 4h, 6h, 8h, 10h and 24h) and the treatments applied after 24h of exposure.

Mortality rates of 88.63%, 93.43%, 99.03%, 70%, 88.49%, and 26.50% were recorded respectively for (OEG, OEP, OES, HS, T+, and T-). The highest rate was recorded for OES followed by OEP, OEG, and HS. These results allowed us to conclude that the insecticidal effect of our biological treatment (OE) is effective compared to the positive control (chemical product) and even more important compared to the negative control (base preparation). This shows the effectiveness of the treatment applied *in vivo*.

The acetone extracts revealed mortality rates of 97%, 56.60%, 75.03%, 88.49%, and 26.50%, which were recorded respectively for Ext ActG, Ext ActP, Ext ActS, T+, and T-. The highest rate was observed for Ext ActG, followed by Ext ActS, Ext ActP, while the negative control, which represents the base preparation, showed a less effective effect from 6h.

The methanol extracts recorded mortality rates of 80%, 99%, 94.65%, 88.49%, and 26.50%, which were respectively for Ext MG, Ext MP, Ext MS, T+, and T-. The highest rate was that of Ext MP, followed by Ext MS, and Ext MG. While the positive control showed a less effective effect from 6h and even more important compared to the negative control, this shows the effectiveness of the treatment of Ext MP.

The aqueous extracts of the mixture recorded the highest mortality rate of 93.27%, followed by that of Ext AqP with a percentage of 91% and the lowest mortality was revealed by the treatment Ext AqG. The two control treatments (T+, T-), showed values of 88.49% and 26.50% respectively. Mortality rates of 87.47%, 91%, 93.27%, 88.49%, and 26.50% were recorded respectively for Ext AqG, Ext AqP, Ext AqS, T+, and T-. The highest rate was that of Ext AqS, followed by Ext AqP and Ext AqG.

## **Discussion**

The treatments (OES, Ext ActG, Ext MP and Ext AqS) are more effective than the treatments (OE G, OE P, HS, Ext ActP, Ext ActS, Ext MG, Ext MS, Ext AqG, Ext AqP) but the overall results found are still significant in comparison to the controls. The mixtures of the two plants gave very

satisfactory *in vivo* mortality rates, in fact the majority of the results showed a positive synergistic effect.

According to Riahi et al., (2013), the results of this biological treatment can be justified by the presence of certain chemical compounds such as  $\beta$ -phellandrène (47.14%) which is the main component of *J. phoenicea* from the region of Tabarka, Tunisia. Other studies conducted by Achak et al., (2008), on *J. phoenicea* from Tunisia and Morocco, found 31 monoterpene components, of which the essential oil from Tunisia is rich in  $\alpha$ -pinene (35.46%), as well as 45 components in the essential oil from Morocco and  $\alpha$ -pinene with a percentage of 38.2%. He concluded that the monoterpenes of OE are toxic to many insects.

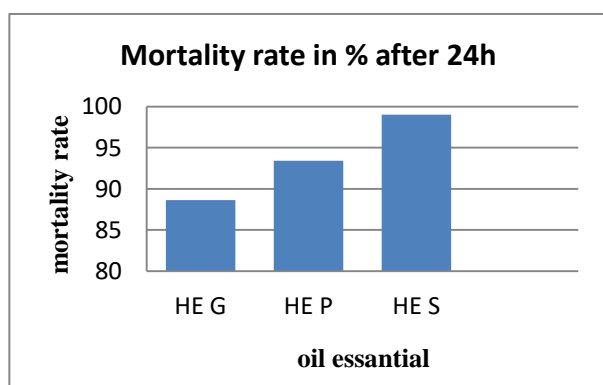
The leaves of *P. lantiscus*, according to Belhachat (2019), are rich in monoterpenes, mainly  $\alpha$ -pinene (6.91%) and hydrocarbon sesquiterpenes with a rate of 9.20%, of which the main constituent is  $\beta$ -caryophyllene (5.1%). Regnault-Roger et al., (2012) show that the insecticidal activity of monoterpenes contained in HEs can be due to several mechanisms that affect multiple targets by more effectively disrupting the cellular activity and biological processes of insects.

Ben Abdelkader (2012), moreover, showed that the insecticidal efficacy of an OE would be due to the nature and chemical structure of its terpenoid constituents.

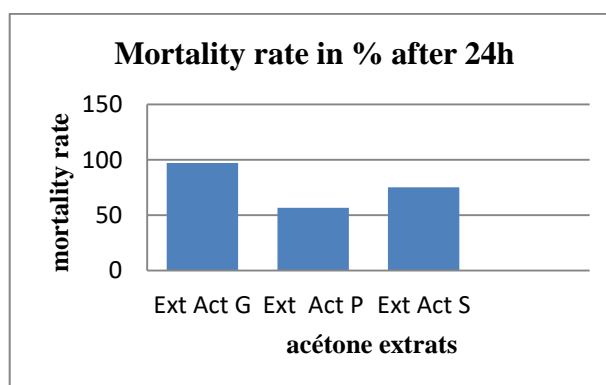
From these different studies, a trend seems to emerge, namely that monoterpenes that affect insect cells represent the most widespread biochemical family in the essences extracted from the genus *Juniperus* with "alpha-pinene" as the main constituent, (Boufares, 2020).

### 3.4. Synergistic potential of different treatments

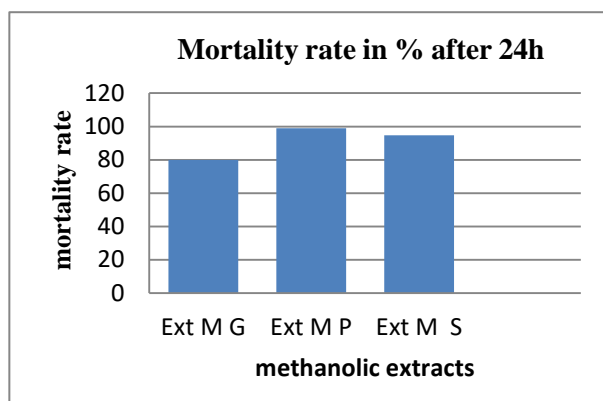
The antagonistic and synergistic effects of the different mixtures tested are represented in figures 6, 7, 8, and 9, and the results obtained are at satisfactory levels of efficiency.



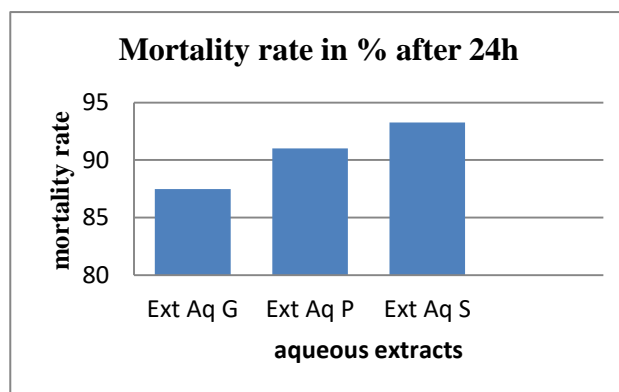
**Figure 6:** Aphids mortality rate as a function of essential oils after 24 hours



**Figure 7 :** Aphids mortality rate as a function of acetone extrats after 24 hours



**Figure 8:** Aphids mortality rate as a function of methanolic extracts after 24 hours



**Figure 9 :** Aphids mortality rate as a function of aqueous extracts after 24 hours

The results showed that the essential oil mixture of the two plants was more effective than the essential oil of each plant separately (*J. phoenicea* and *P. lantiscus*). The mortality rates recorded were of the order of 88.63% for OE G and 93.43% for OE P, and OES was 99.03%. The OEs effect was superior to the two plants individually: OE S > OEP and OEG, from which we deduce a synergistic effect between the two plants. The acetone and methanol extracts have a partial fractional synergy effect between the two plants, in fact the values found are respectively of the order of 97% for Ext ActG and 56.60% for Ext ActP, and the mixture of the two acetone extracts was 75.03%. of the order of 80% for Ext MG and 99% for Ext MP, while those of the mixture were 94.65%.: Ext Act P < Ext Act S < Ext Act G and (Ext MG < Ext MS < Ext MP).

The aqueous extract revealed a synergistic effect of the mixture compared to the two individual plants Ext AqS > Ext AqP and Ext AqG. The mixture gave a rate of the order of 93.27% which is higher than that of Ext AqG which was of the order of 87.47% and that of Ext AqP which was of the order of 91%. To this effect, we conclude that the mixture of the two plants has favored a maximum extraction of the molecules.

## Discussion

The results obtained for the mixture of essential oils and aqueous extracts of the two plants revealed a positive interaction between the essential oil of *J. phoenicea* and *P. lantiscus* on the citrus aphid. This observation is in agreement with those obtained by the work of Bassolé et al. (2012) who showed that most studies are focused on the interaction of phenolic monoterpenes (thymol, carvacrol) and phenylpropanoids (eugenol) with other groups of components, while hydrocarbon compounds are less used. Burt (2004) concluded that whole (raw) essential oils, have higher activity than mixtures of their main components, suggesting that minor essential oil

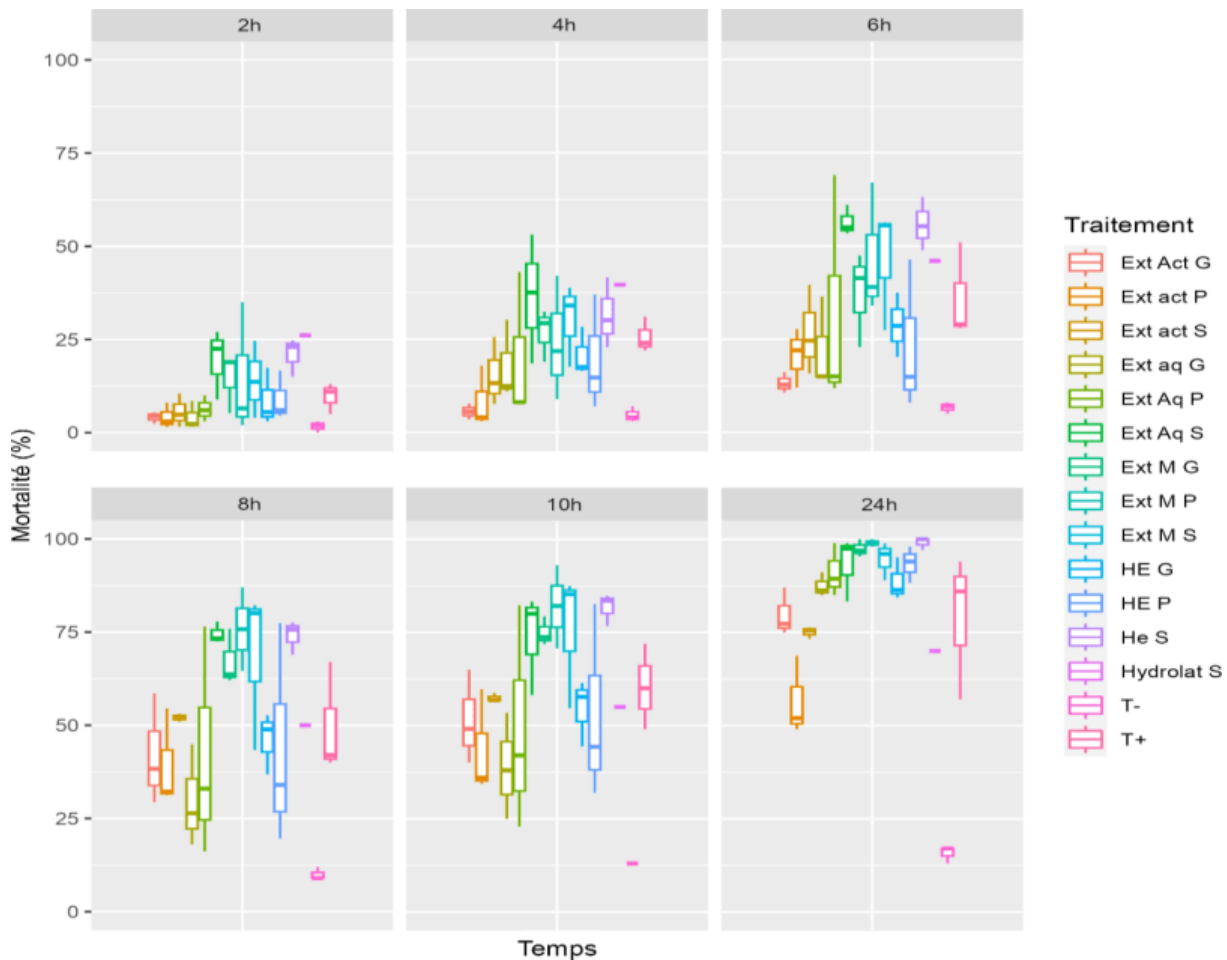
components are critical for activity and may have synergistic and potentiating effects. Roman et al. (2008) reported that sublethal doses applied in binary mixtures showed a significant synergistic effect and thought that the synergistic effects of complex mixtures are important in plant defense against herbivores and also reported that the identification of such synergies within complex mixtures can allow the development of more effective control agents as well as the use of smaller absolute amounts in the mixture to obtain satisfactory levels of efficacy. They confirmed that among the more active compounds, we found that the hydrocarbons  $\gamma$ -terpinene and p-cymene and the ether 1,8-cineole proved to be the most important synergist for both application methods.

The results obtained for the mixture of acetone extracts and methanol extracts of the two plants show that certain molecules are in partial fractional synergy between the two plants of *J. phoenicea* and *P. lantiscus* on the citrus aphid. The work of Chouhan et al. (2017) confirmed that the combination of certain particular oils produced synergistic effects which can come from either the combined activity of two main components of essential oils, or from the interaction between several components.

The knowledge of the bioefficacy of terpenes and their synergistic relationships will help in the standardization of products and maximize its biological power.

### **3.5. Comparative effect of different treatments over time and mortality rates.**

To compare the different treatments over time, we performed a statistical analysis based on boxplots of the aphid mortality rate according to the types of treatments at different exposure times (Figure 10).



**Figure 10:** Boxplots of the aphid mortality rate according to the treatments at different exposure times

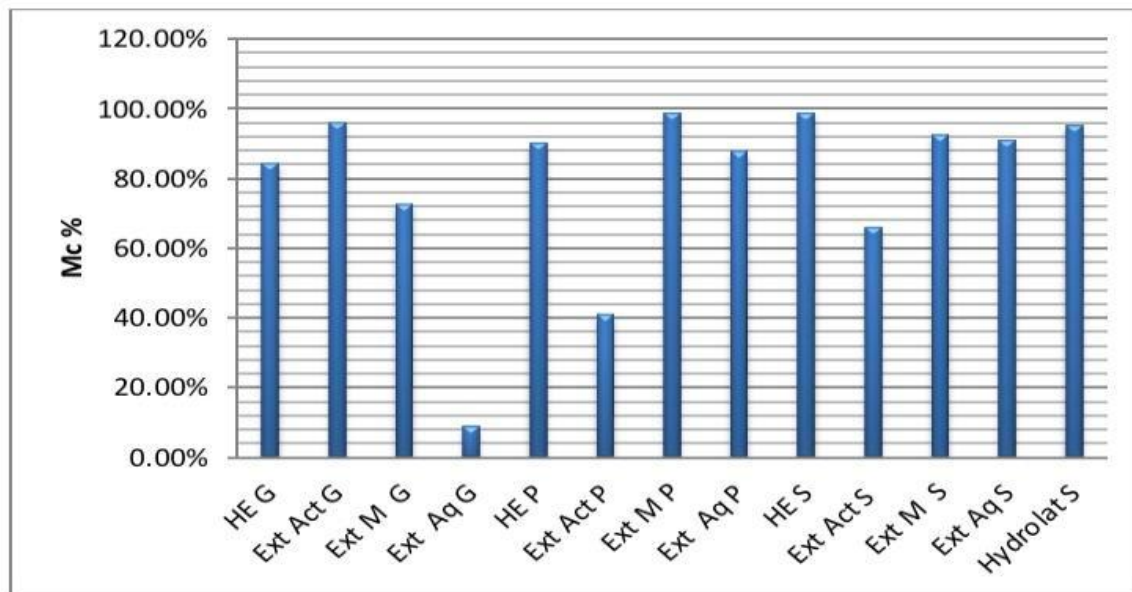
According to the figure 10, we conclude that no significant difference was observed between the different types of treatments after 2 and 4 hours of exposure, suggesting that the aphid mortality rate is not significantly influenced by the type of treatment during these exposure periods. However, it is important to note that these results do not allow to totally excluding the effectiveness of the treatments, as significant differences may still be observed with higher levels of significance.

A significant difference was observed after 6 hours of exposure between HS, T- and T+, with HS being the most effective treatment. After 8 hours of exposure, the same significant difference was observed between HS, T- and T+, as well as another significant difference between Ext AqS, T- and T+, with Ext AqS being the most effective. After 10 hours of exposure, the same significant difference was still observed between HS, T- and T+, as well as significant differences between Ext actS, T- and T+, with Ext actS being the most effective.

Finally, after 24 hours of exposure, several significant differences were observed, clearly showing the efficacy of HS, OEP, Ext MP and OES compared to T-. However, the efficacy of Ext MP was higher than that of HS. In addition, Ext MG and Ext MP were more effective than Ext actS.

### 3.6. Corrected mortality

The corrected mortality rates (Figure11) with respect to the negative control (base preparation) were deduced using the Abbott formula (1925).



**Figure 11 : Corrected mortality (CM)**

The corrected mortality rates of *J. phoenicea* were higher with the acetone extract treatment (95.91%) while the lowest rate was recorded by the aqueous extract (8.95%). *P. lentiscus* showed a corrected mortality of 98.63% for the methanolic extract and 40.95% for the acetone extract. Different mixtures, especially those that revealed synergy between the two plants, gave better corrected mortality rates than those that revealed partial synergy or even an antagonist. Synergy essential oil gave the best rate followed by synergy hydrolat, synergy methanolic extract, synergy aqueous extract and synergy acetone extract which are respectively 98.68%, 95.18%, 92.72%, 90.84%, 66.02%.

From these different results, we deduce that mixture-based treatments are more effective and they gave higher rates than those of each plant individually [OEG (84.53%), OEP (90.06%), OES (98.68%)].



### 3.7. Determination of lethal times

TL20, TL50, and TL90 are the times that cause the percentage of mortality in the citrus aphid population after 24 hours of application of the treatments "different essential oils and extracts and the two controls".

The negative control (T-) recorded the highest values, suggesting that it takes longer to eliminate the aphids. On the other hand, the HS treatment showed the shortest time to eliminate 20% of the aphids (1.23 hours). The HES treatment had the shortest TL50, with 4.98 hours, while the Ext MP treatment displayed the shortest TL90, with 12.06 hours. Figure 12 illustrates grouped histograms that allow a clear visualization of the differences between the treatments in terms of observed values.

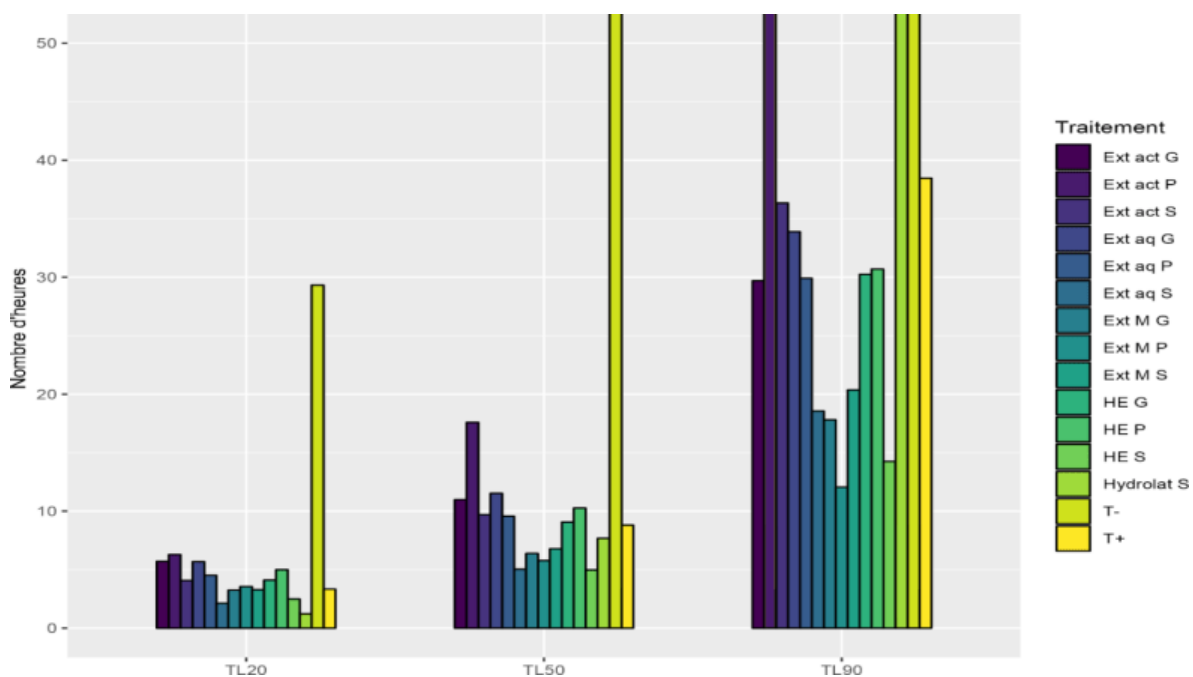


Figure 12: TL20, TL50, and TL90 in hours for each treatment used

After 5 hours, OES and Ext AqS killed 50% of the aphid population, followed by Ext MP which took 5 hours and 78 minutes. The longest time was recorded for Ext ActP, which was 17 hours and 60 minutes.

To eliminate 90% of the population, Ext MP took 12 hours and 6 minutes, followed by OES with 14 hours, and the longest time was recorded for HS.

### 4. Conclusion

The results of this study showed that the extracts of the two plants (*Pistacia lantiscus L.*) and (*Juniperus phoenicea L.*) have different physico-chemical properties and the phytochemical characterization is generally positive.

The insecticidal activity was evaluated with different constituents: the essential oils and extracts (methanolic extract, acetone extract, and aqueous extract) of the plants (*P. lantiscus*) and (*J. phoenicea*) and their mixtures in order to determine their synergistic or antagonistic effect.

The recorded results gave promising values of mortality rates for their individual or synergistic use and that all the bioproducts applied recorded a reduction in terms of abundance of citrus aphids compared to the control, so the different extracts have an *in vivo* synergistic insecticidal activity.

Lethal times determined by probit analysis (TL20, TL50, TL90) showed that the "synergistic essential oil" treatment showed the shortest TL50 while the "methanolic extract of *P.lantiscus*" treatment showed the shortest TL90.

From these results obtained, we deduce that *P. lantiscus* and *J.phoenicea* and their synergistic effect have insecticidal effects that must be valued, thus we remedy the problems of persistence in the consumed product and of course the health of the consumer and respect the ecological balance.

It would therefore be interesting to extend the range of the insecticide test as well as the characterization of the active compounds in the different extracts in order to identify the different molecules responsible for the biological activity of this plant.

## 5.Reference:

1. **Abdelli W.,(2017)** : Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* et de *Thymus vulgaris*, Thèse d'obtention du diplôme de doctorat, 25,05p.
2. **Achak N., et al., (2008)** : 'Essential oil composition of juniperus phoenicea from morocco and tunisia', Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 11(2), pp. 137–142.
3. **Achak, N. et al., (2006)**: 'Essential oil composition of Juniperus phoenicea from morocco and tunisia', Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 11(2), pp. 137–142.
4. **Ait Amar, S., Benoufella-Kitous, K., Medjdoub-Bensaad, F and tahar-Chaouche, S., (2022)**. Diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en cultures sous serre à Tizi-Ouzou, Algérie Entomologie faunistique - Faunistic Entomology (Volume 75) DOI: [10.25518/2030-6318.5785](https://doi.org/10.25518/2030-6318.5785)
5. **Alzand K.I., Aziz D.M., Tailang M., (2014)**: Isolation, structural elucidation and biological activity of the flavonoid from the leaves of *Juniperus phoenicea*. World Journal of Pharmaceutical Research, 3(10), 951-965p
6. **Amalich S., Fadili K., Fahim M., El Hilali F., Zaïr T, (2016)**: Polyphenols content and antioxidant power of fruits and leaves of *Juniperus phoenicea* L. from Tounfite (Morocco). Mor. J. Chem, 4(1), 177-186p

7. **Arab K., Bouchenak O., Yahiaoui K., (2014)** : Phytochemical and evaluation of the antimicrobial and antioxydant activity of essentials oils and phenolic pompouds of *Pistacia lentiscus* L. Journal of Fundamental and Aplied Sciencs, 6(1), 79-93.
8. **Arabi A., (2018)** : Effet antimicrobien des huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* sur quelques espèces bactériennes multirésistantes de la microflore digestive humaine, thèse doctorat.90-100
9. **Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najem M., Bouiamrine E. H., Ibijbijen J., Nassiri L.,(2015)** : Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus* L. » : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. Journal of Applied Biosciences.86,7966-7975.
10. **Bassolé I.H.N., Juliani H.R., (2012)**: Essential oils in combination and their antimicrobial properties. Molecules, 17(4), 3989-4006p
11. **Belhachat D.,(2019)** : Etude photochimique des extraits de *Pistacia lantiscus(L.)* activité antioxydante, antibactérienne et insecticide, Thèse d’obtention du diplôme de doctorat, 04, 06, 13,34p.
12. **Ben Abdelkader T., (2012)** : Biodiversité, bioactivité et biosynthèse des composées terpéniques volatiles des lavandes ailées, *Lavandula stoechas* sensu lato, un complexe d’espèces méditerranéennes d’intérêt pharmacologique. Thèse de Doctorat : Université JeanMonnet - Saint-Etienne, Ecole Normale Supérieure de Kouba (Alger),p.283.
13. **Boufares K., (2020)** : Thèse de doctorat. Extraction et étude phytochimique des huiles essentielles de certaines plantes steppiques et évaluation de leur efficacité comme biopesticides. Département des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ibn Khaldoun – Tiaret).
14. **Burt S., (2004).**: Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications• in foods—A review. Int. J. Food Microbiol. 94: 223-253.
15. **Chouhan S., Sharma K., et Guleria S., (2017)**: Antimicrobial Activity of Some• Essential Oils- Present Status and Future Perspectives. Medicines. 4, n°58.
16. **Colignon P., Haubruge E., Gaspar C., et Francis F.,(2003)** : Effets de la réduction des doses de formulations d’insecticides et de fongicides sur l’insecte auxiliaire non ciblé *Episyrphus balteatus* [Diptera: Syrphidae] . Phytoprotection .2003; 84(3) :141-148
17. **Fadel H., Benayache F., Benayache S., (2016)**: Antioxidant properties of four Algerian medicinal and aromatic plants *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L., *Marrubium vulgare* L. and *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl). Der Pharmacia Lettre, 8(3), 72-79p
18. **Fouarge C., (1990)** : les pucerons sont-ils dangereux ? .revue Agronomie Belge Vol.47 :4-6 P.
19. **Hullé M., (2019)** : Les pucerons, des insectes passionnants et problématiques. a website on passion Entomologia <https://passion-entomologie.fr/les-pucerons-des-insectes-passionnants-et-problematiques-2-2/>
20. **Lakhel MA.,( 2020)** : Evaluation de la diversité des prédateurs naturels des pucerons, en particulier les coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) des différentes cultures dans les régions Alger et Blida.these de doctorat, ENSA EL-HARRACH – ALGER .235P

21. **Latif A., Amer H.M., Hamad M.E., Alarifi S.A.R., Almajhdi F.N., (2014):** Medicinal plants from Saudi Arabia and Indonesia: In vitro cytotoxicity evaluation on Vero and HEP-2 cells. *Journal of Medicinal Plant Research*, 8(34), 1065-1073p
22. **Loussert C ., (1989) :** Les agrumes production. Ed. sci. Univ., Vol. 2, Liban, 280p. Maison neuve et Lanos, Paris. 113-556 P.
23. **Makhloufi et al.,(2014):** phytochemical creening and anti-listerial activity of essential oil and crude extracts from some medicinal plant growing wild in Bechar (south west of Algeria), *international journal of phytotherapy*, 4(2), 95-100p
24. **Merzougui I., and Tadj H., (2015):** Etude de l'effet antibactérien et antioxydant d'*Ammoides verticillata* de la région de Tlemcen. Mém. Ingén. Agro. univ. Abou-Bakr Belkaïd – Tlemcen. 82p.
25. **Millot G.,(2018):** Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R: manuel de biostatistique. Paris, France, De Boeck Supérieur.
26. **Muanda F.N., (2010) :** Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, 55-86. *Journal Advances in Biological Chemistry*, Vol.3 No.3,
27. **Nyegue M ., Belinga-Ndoye C. F., Amvam Zollo P. H., Agnani H., Menut C. (2005):** Aromatic plants of tropical central Africa. Part L. Volatile components of *Clerodendrum*. *Flavour and fragrance journal* , 20(3): 321-323.
28. **Pichon E., (2016) :** Recherche de molécules naturelles bioactives issues de la biodiversité marine de la zone sud-ouest de l'océan Indien. These de doctorat université de la réunion Ecole Doctorale Sciences Technologies Santé, 231p
29. **Regnault Roger C., Vincent C et Arnason J.T., (2012):** Essential oils in insect control :lowrisk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology* 57 : 405-424p.
30. **Riahi, L., Chograni, H., Elferchichi, M., Zaouali, Y., Zoghalmi, N., & Mliki, A. (2013):** Variations in Tunisian wormwood essential oil profiles and phenolic contents between leaves and flowers and their effects on antioxidant activities. *Industrial crops and products*, 46, 290- 296.
31. **Roman, P. et al., (2008):** Acute and Synergistic Effects of Some Monoterpenoid Essential Oil Compounds on the House Fly (*Musca domestica* L.), *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 11:5, 451-459, DOI: 10.1080/0972060X.2008.10643653.
32. **Sakuma M., (1998):** Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology*, 33(3), 339–347.

## **Conclusion générale et perspectives**

Les pucerons représentent le groupe le plus nuisible et dangereux en raison de leurs caractéristiques biologiques et éthologiques exceptionnelles, en particulier leur potentiel biotique prodigieux. Leur présence entraîne des réductions significatives tant en termes de rendement que de qualité des récoltes, générant ainsi d'importantes pertes économiques. Pour éviter ces pertes, la lutte chimique est souvent utilisée, mais ses inconvénients et ses conséquences néfastes sur la faune et la flore sont bien documentés.

Actuellement, la préoccupation majeure est de développer des recherches alternatives visant à protéger de manière optimale les cultures, tout en recherchant des moyens de lutte efficaces et respectueux de l'environnement. La protection des cultures par l'utilisation d'huiles essentielles émerge comme un nouveau procédé en constante évolution, suscitant un intérêt croissant parmi les chercheurs. Les recherches que nous avons entreprises ont permis de déterminer les espèces de ravageurs et leurs ennemis naturels dans la région de Chlef, tout en développant des produits biologiques efficaces pour protéger les cultures contre les agents pathogènes, tout en réduisant l'utilisation des pesticides. Les résultats obtenus sont très prometteurs.

Dans le premier volet de notre étude, axé sur la faune aphidienne recensée dans les trois vergers agrumicoles prospectés, une diversité significative a été observée. Cette dernière comprend sept espèces de ravageurs, parmi lesquelles *Aphis gossypii* et *Aphis spiraecola* sont les plus répandues. Les colonies de pucerons sont présentes uniquement pendant les périodes automnales et printanières, associées à une faune aphidiphage composée de 34 espèces, dont 30 espèces prédatrices et 4 espèces parasitoïdes. Parmi les aphidiphages, *Episyrphus balteatus*, *Chrysoperla carnea*, *Coccinella septempunctata*, *Aphidoletes aphidimyza* (prédateurs) et *Lysiphlebus fabarum* (parasitoïde) sont les plus répandus.

En termes de richesse et de fréquence, les coccinelles sont les prédateurs les plus nombreux avec 100 individus (31,35%), suivies par les chrysopes avec 75 individus (23,51%), puis les syrphes avec 65 individus (20,37%). Les punaises et les cécidomyies suivent avec 45 individus (14,11%) et seulement 4 individus (1,25%), respectivement. D'autres prédateurs généralistes, potentiellement efficaces dans le contrôle des pucerons, sont également présents avec un effectif de 30 individus (9,4%), répartis sur 19 espèces différentes.

La diversité des aphidiphages atteint son maximum vers la fin du mois d'avril, avec des indices  $D=0,59$ ,  $H=2,42$ , et  $E=0,49$ . Cette diversité diminue progressivement jusqu'à devenir nulle à partir du mois de novembre, avant de se manifester de nouveau dès le début du mois de mars. L'étude a révélé des affinités entre les espèces de pucerons et leurs prédateurs potentiels. Des corrélations

entre les aphides et les aphidiphages, traduisant des activités de prédation, sont notées de la fin mars jusqu'au mois de novembre. Le choix de la proie par le prédateur, dans le cas d'une diversité aphidienne, dépend à la fois de facteurs intrinsèques et extrinsèques.

Dans la deuxième phase de notre étude axée sur la détermination des espèces végétales ayant des propriétés pesticides, nous avons identifié 47 plantes de ce type dans la région de Chlef, en Algérie. Ces plantes appartiennent à 21 familles botaniques différentes, avec une prédominance marquée des lamiacées et des astéracées. Elles sont principalement constituées de thérophytes, suivies de hémicryptophytes, de chaemiphytes et de phanérophtes. Les milieux forestiers se caractérisent par un nombre limité d'espèces végétales, mais leur fréquence ou leur taux de recouvrement est significatif, contrairement aux friches et garrigues où les plantes sont nombreuses mais peu fréquentes.

Dans le troisième volet, portant sur l'utilisation *in vitro* et *in vivo* des extraits de plantes en tant que bioinsecticides, les résultats obtenus sont les suivants :

- Les huiles essentielles produites par *Juniperus phoenicea* sont principalement composées de monoterpènes, démontrant une activité insecticide significative.
- Pour l'huile essentielle de *P. lentiscus*, on peut conclure qu'elle est une source de monoterpènes tels que le p-cymenène, le 2(10)-pinène, l'alpha-pinène, l'alpha-terpinène et le D-limonène, ainsi que de sesquiterpènes tels que le delta-cadinène. Ces composés montrent une forte activité larvicide. À une concentration de 10 µl et après 24 heures d'exposition, l'huile essentielle provoque un taux de mortalité de 96,88% chez les individus d'*A. spiraecola*, avec une DL50 de 0,2 µl.

Ces résultats fournissent des informations essentielles sur la composition et l'activité insecticide des huiles essentielles des espèces *P. lentiscus* et *Juniperus phoenicea*. Ils justifient et renforcent l'utilisation future de ces huiles comme biopesticides, pouvant être intégrées dans des pratiques agricoles durables. Cela contribuerait à préserver la biodiversité, à soutenir la santé des écosystèmes agricoles et naturels, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour leur exploitation future dans les industries phytosanitaires.

Concernant la dernière phase, axée sur l'application de ces huiles essentielles (HEs) sur le terrain, les résultats indiquent que les extraits des deux plantes, à savoir le lentisque (*P. lentiscus*) et le genévrier (*J. phoenicea*), présentent des propriétés physico-chimiques distinctes, et la caractérisation phytochimique est généralement positive.

L'évaluation de l'activité insecticide a été réalisée en utilisant différents constituants, tels que les huiles essentielles, les extraits méthanoïques, acétoniques et aqueux des plantes (*P. lentiscus*, *J. phoenicea*) ainsi que leurs mélanges. Les résultats enregistrés ont révélé des taux de mortalité prometteurs, que ce soit pour une utilisation individuelle ou synergique de ces bioproduits. Dans l'ensemble, les bioproduits appliqués ont entraîné une réduction significative de l'abondance des pucerons d'agrumes par rapport au témoin, indiquant une activité insecticide synergique in vivo.

Les temps létaux déterminés par analyse probit (TL20, TL50, TL90) ont montré que le traitement à base d'huile essentielle de synergie" a présenté le TL50 le plus court, tandis que le traitement avec l'extrait méthanoïque de *Pistacia lentiscus*" a montré le TL90 le plus court.

À partir de ces résultats, nous concluons que le pistachier (*Pistacia lentiscus*) et le genévrier (*Juniperus phoenicea*), ainsi que leur effet synergique, possèdent des propriétés insecticides qu'il convient de valoriser. Cela contribuerait à résoudre les problèmes de rémanence dans les produits consommés, à préserver la santé des consommateurs et à respecter l'équilibre écologique.

Les insecticides peuvent entraîner des incidences sur les plantes, telles que la nécrose des tissus foliaires et la résistance des insectes. Cette dernière peut être définie comme une diminution héréditaire de la sensibilité à un insecticide. Ce travail axé sur la lutte biologique, notamment les bioinsecticides d'origine végétale, ouvre de nouvelles perspectives de recherche, notamment :

1. Caractérisation des composés actifs dans les différents extraits afin d'identifier les molécules responsables de l'activité biologique de ces plantes.
2. Recherche de molécules bioactives d'origine végétale agissant à la fois par contact et ingestion, avec une excellente persistance d'action, et ayant un large spectre d'action pour contrôler efficacement tous les pucerons dans un laps de temps réduit.
3. Recherche de molécules bioactives d'origine végétale jouant le rôle de bioinsecticides, surpassant en efficacité leurs homologues chimiques, indépendamment des conditions climatiques et environnementales.
4. Le développement de méthodes de lutte biologique intégrées, qui combinent plusieurs approches pour obtenir un meilleur contrôle des ravageurs et des maladies.
5. Il est également intéressant d'accorder une importance aux agents pathogènes est une méthode prometteuse de contrôle des organismes nuisibles. il est probable que de nouvelles applications soient développées dans les années à venir.

## Références bibliographiques

1. **Abbott, W.S., (1925):** A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* 18:265-267.
2. **Abdelli W., (2017):** Caractérisation chimique et étude de quelques activités biologiques des huiles essentielles de *Juniperus phoenicea* et de *Thymus vulgaris*, Thèse d'obtention du diplôme de doctorat, 25,05p.
3. **Abdelmaksoud, N. M., A. M. El-Bakry, E. A. Sammour and N. F. Abdel-Aziz., (2023):** Comparative toxicity of essential oils, their emulsifiable concentrates and nanoemulsion formulations against the bean aphid, *Aphis fabae*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 56(3): 187-208.
4. **Aboul-Ela M, El-Shaer N, El-Azim TA., (2005):** Chemical constituents and antihepatotoxic effect of the berries of *Juniperus phoenicea* Part II. *Nat Prod Sci.*;11:240–7.
5. **Aboussaid, H., Oufdou, K., Messoussi, S. (2007) :** Rôle de *Bacillus thuringiensis* dans la protection de la forêt d'arganier contre la mouche méditerranéenne, *Ceratitis capitata* (Wied) ; IVème journées nationales de biodiversité. Tétouan, Maroc, 262 p.
6. **Abudunia, A.M., Ansar, M., Taoufik, J., Ramli, Y, Essassi, E.M., Ibrahimi, A. and Khedid K., (2014):** Evaluation of antibacterial activity of extracts from *Calendula arvensis* flowers, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(8), pp156-16.
7. **Achak N., et al., (2008):** 'Essential oil composition of juniperus phoenicea from morocco and tunisia', *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 11(2), pp. 137–142.
8. **ACTA., (2008) :** Guide pratique de défense des cultures, Association de Coordination Technique Agricole, Paris, 867p.
9. **Ads EN, Hassan SI, Rajendrasozhan S, Hetta MH, Aly SH, Ali MA.,(2022):** Isolation, Structure Elucidation and Antimicrobial Evaluation of Natural Pentacyclic Triterpenoids and Phytochemical Investigation of Different Fractions of *Ziziphus spina-christi* (L.) Stem Bark Using LCHRMS Analysis. *Molecules*, 27:1805.
10. **Afechtal M., (2012):** Characterization of Moroccan Citrus Tristeza Virus (CTV) isolates and study of their genomic variability after aphid transmission. PhD thesis, university of Catania, department of Agri-Food and environmental systems management, section of plant protection, pp.122.
11. **Agagna Y., (2016):** Rôle d'Aphytis melinus (Hymenoptera, Aphelinidae) dans la régulation des niveaux d'infestation du Pou de Californie *Aonidiella aurantii* (Homoptera, Diaspididae) sur citronnier à Rouïba. Thèse magister. Département de Zoologie agricole et forestière école nationale supérieure d'agronomie. EL HARRACH- ALGER.
12. **Agarwala B., (2007):** Phenotypic plasticity in aphids (Homoptera: Insecta): Components of variation and causative factors. *Current Science* 93: 308- 313
13. **Agarwala B.A. and Das J., (2012):** Weed host specificity of aphid, *Aphis spiraecola*: developmental and reproductive performance of aphids in relation to plant growth and leaf chemicals of the Siam weed, *Chromolaena odorata*. *Journal of insect science*, 12(24):1-13.
14. **Aidoud A., (1983):** Contribution à l'étude phytosociologique des formations végétales de la steppe du Nord-Ouest Algérien (Régions de Tiaret et Tlemcen). Thèse de doctorat, Université de Lyon.
15. **Aissi, O., M. Boussaid and C. Messaoud., (2016):** Essential oil composition in natural populations of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia. Effect of ecological factor and incidence on antioxidant and anti-acetyl cholinesterase activities. *Industrial Crops and Products*, 91: 56–65.
16. **Ait Amar S., Benoufella-Kitous K., Medjdoub-Bensaad F. & tahar-Chaouche S., (2022) :** Diversité des pucerons et de leurs ennemis naturels en cultures sous serre à Tizi-Ouzou, Algérie [Entomologie faunistique - Faunistic Entomology](#) (Volume 75) DOI: [10.25518/2030-6318.5785](https://doi.org/10.25518/2030-6318.5785)
17. **Akkol EK, Güvenç A, Yesilada E. A., (2009):** comparative study on the antinociceptive and anti-inflammatory activities of five *Juniperus* taxa. *J Ethnopharmacol.*;125:330–6.



18. **Alewu, B., and Nosiri, C., (2011):** Pesticides and Human Health. Pesticides in the Modern World - Effects of Pesticides Exposure. Edité par Margarita Stoytcheva InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/18734>.
19. **Ali arous S., (2020) :** Rôle des pucerons dans la propagation du virus de la Tristeza (CTV) responsable du dépérissement rapide des agrumes dans le moyen Chlef et identification des biotypes vecteurs. Thèse Doctorat. Université Mostaganem. p71-81.
20. **Almallah.N., (2015):** مبيدات الحشرات الحيوية. كلية الزراعة و الغابات جامعة الموصل.الموصل. 298 P
21. **Almohamad, R., Verheggen, F.J., Francis, F. and Haubruge E., (2007):** Blackwell Publishing Ltd Predatory hoverflies select their oviposition site according to aphid host plant and aphid species. The Authors Entomologia Experimentalis and Applicata 125: 13–21, DOI: 10.1111/j.1570-7458.2007.00596.x
22. **Almouner A.A. Yattara, Amadou K. Coulibaly and Frédéric Francis., (2014):** Diversity and abundance of aphids [Homoptera: Aphididae] and their impact on the spread of viruses infecting potato in Mali. Journal Phytoprotection .Volume 94, Number 1,p.1-15 <https://doi.org/10.7202/1024719ar>
23. **Aly SH, El-Hassab MA, Elhady SS, Gad HA., (2022):** Comparative Metabolic Study of Tamarindus indica L.'s Various Organs Based on GC/MS Analysis, In Silico and In Vitro Anti-Inflammatory and Wound Healing Activities. Plants.;12:87.
24. **Aly SH, Elissawy AM, Allam AE, Farag SM, Eldahshan OA, Elshanawany MA, et al., (2021):** New quinolizidine alkaloid and insecticidal activity of *Sophora secundiflora* and *Sophora tomentosa* against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). Nat Prod Res.;36:2722–34.
25. **Aly SH, Elissawy AM, Mahmoud AMA, El-Tokhy FS, Mageed SSA, Almahli H, et al., (2023):** Synergistic Effect of *Sophora japonica* and *Glycyrrhiza glabra* Flavonoid-Rich Fractions on Wound Healing: In Vivo and Molecular Docking Studies. Molecules.;28:2994.
26. **Aly SH, Elissawy AM, Salah D, Alfuhaid NA, Zyaan OH, Mohamed HI, et al., (2023):** Phytochemical Investigation of Three *Cystoseira* Species and Their Larvicidal Activity Supported with *In Silico* Studies. Mar Drugs.;21:1–17.
27. **Alzand K.I, Aziz D.M., Tailang M., (2014):** Isolation, structural elucidation and biological activity of the flavonoid from the leaves of Juniperus phoenicea. World Journal of Pharmaceutical Research, 3(10), 951-965p
28. **Amalich S., Fadili K., Fahim M., El Hilali F., Zair T., (2016):** Polyphenols content and antioxidant power of fruits and leaves of Juniperus phoenicea L. from Tounfite (Morocco). Mor. J. Chem, 4(1), 177-186p
29. **Amara, N., A. Benrima, C. Anba and H. Belkhir., (2019) :** Activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits du pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.). Revue Agrobiologia, 9(2): 1669- 1676.
30. **Amara, N., Boukhatem, M.N., Laissaoui, O. and Kaibouche, N., (2020) :** Valorisation de l'Huile Essentielle de la Lavande Papillon comme Bioinsecticide. Algerian journal of natural products. 8 (1): 733-739
31. **Amiri B., Ibrahim L. and Butt T., (1999):** Antifeedant properties of destruxins and their potential use with the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae* for improved control of rucifer pest. Biocontrol Science and Technology 9: 487-498.
32. **Amoatey C.A. & Acquah E., (2010):** Basil (*Ocimum basilicum*) intercrop as a pest mangement tool in okra cutivation inthe Accra plains. *Ghana J. Horti.*, 8, 65-70.
33. **Amokrane D. and al., (2023):** NoStudy of the Insecticidal Effect of Essential Oils and Extracts of Two Medicinal Plants and Evaluation of Their Synergistic Potential *in Vivo*. Tob Regul Sci.;9:3983–97.
34. **Anderson, JT. (2016).** Plant fitness in a rapidly changing world. *New Phytol* 210: 81– 87.
35. **Aouadi, G., Haouel, S., Soltani, A., Ben Abada, M., Boushah, E., Elkahoui, S., Taibi1, F., Mediouni - Ben Jemâa, J. and Bennadja, S., (2020):** Screening for insecticidal efficacy of two Algerian essential oils with special concern to their impact on biological parameters of *Ephestia kuehniella* (Zeller)(Lepidoptera: Pyralidae), Journal of Plant Diseases and Protection 127:471–482.
36. **Aouinty, B., Oufara, S., Mellouki, F. and Mahari, S., (2006):** Evaluation préliminaire de l'activité larvicide des extraits aqueux des feuilles du ricin (*Ricinus communis* L.) et du bois de thuya (*Tetraclinis articulata*

- (Vahl) Mast.) sur les larves de quatre moustiques culicidés : *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen). S E Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2006 10 (2), 67 – 71
37. **Arab K., Bouchenak O., Yahiaoui K., (2014)** : Phytochemical and evaluation of the antimicrobial and antioxydant activity of essentials oils and phenolic compounds of *Pistacia lentiscus* L. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 6(1), 79-93.
  38. **Arabi A., (2018)**: Effet antimicrobien des huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* sur quelques espèces bactériennes multirésistantes de la microflore digestive humaine, thèse doctorat.90-100
  39. **Aroun M E., (2015)**: Temporal variations in the life-cycles of aphids (Sternorrhyncha: Aphididae) and their coccinellid predators. *Eur. J. Entomol.* 112 (3): 432-439 DOI: 10.14411/eje.2015.060
  40. **Athanassiou, C., Kavallieratos, N., Evergetis, E., Katsoula, A.M. and Haroutounian S.A, (2013)**: Insecticidal Efficacy of Silica Gel With *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* (Pinales: Cupressaceae) Essential Oil Against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium confusum*(Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of economic entomology.* 106(4):1902-10
  41. **Atlas Big., (2018-2021)**: Production mondiale totale d'agrumes par pays, <https://www.atlasbig.com/fr-fr/pays-par-production-totale-d-agrumes>
  42. **Aubert B. et Vullin G., (1997)** : Pépinières et plantations d'agrumes. Techniques. Ed. Quae. 184p
  43. **Awmack C. S. & Leather S. R., (2007)**: Growth and development. *In*: van Emden H. F. & Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 135 - 152.
  44. **Bachrouh, O., Mediouni-Ben Jemâa, J., Chaieb, I., Talou, T., Marzouk, B., and Abderraba, M., (2010)**: Insecticidal activity of *Pistacia lentiscus* essential oil on *Tribolium castaneum* as alternative to chemical control in storage. *Tunisian Journal of Plant Protection* 5: 63-70.
  45. **Bahri F, Harrak R, Achak N, Romane A., (2013)**: Chemical composition and antibacterial activities of the essential oils isolated from *Juniperus thurifera* L. var. *Africana*. *Natural Product Research.*;27:1789–94.
  46. **Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck and M. Idaomar, (2008)**: Biological effects of essential oils-A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446- 475.
  47. **Bale J. S., Masters G. J., Hodkinson I. D., Awmack C., Bezemer T. M., Brown V. K., Butterfield J., Buse A., Coulson J. C., Farrar J. & Good J. E., (2002)**: Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8 (1), 1 - 16.
  48. **Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najem M., Bouiamrine E. H., Ibijbijen J., Nassiri L., (2015)** : Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus* L. » : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Applied Biosciences.*86, 7966-7975.
  49. **Barbagallo S. and Patti L., (1986)**: The Citrus aphids, behaviour, damages and integrated control in Integrated pest control in citrus groves. 1st Edition. Com. Euro. Com: 67-75.
  50. **Barbault R., (1993)** : Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère. Ed. Masson. Paris, 269p.
  51. **Barry, J.P., (1988)** : Approche écologique des régions arides de l'Afrique. Université de Nice.ISS de Nouakchout. 107p.
  52. **Bassolé I.H.N., Juliani H.R., (2012)**: Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989-4006p
  53. **Batsc, D., (2011)**: L'impact des pesticides sur la santé humaine. Thèse de diplôme d'état en pharmacie. Université Henri Poincarde, Nancy, pp.185.
  54. **Behi, F., Bachrouh O., and Boukhris-Bouhachem, S., (2019)**: Insecticidal Activities of *Mentha pulegium* L., and *Pistacia lentiscus* L., Essential Oils against Two Citrus Aphids *Aphis spiraecola* Patch and *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2): 516-525.
  55. **Belabbes R., Mami I. R., Dib M.E.A., Mejdoub K., Tabti B., Costa J. and Muselli A., (2020)**: Chemical Composition and Biological Activities of Essential Oils of *Echinops spinosus* and *Carlina vulgaris* Rich in Polyacetylene Compounds. *Current nutrition & food science.* Volume 16, Issue 4, 563-570

56. **Belhachat D.,(2019)** : Etude photochimique des extraits de *Pistacia lentiscus(L.)* activité antioxydante, antibactérienne et insecticide, Thèse d'obtention du diplôme de doctorat, 04, 06, 13,34p.
57. **Bellabas A., (2020)** : Rapport de mission : Etude de base sur les agrumes en Algérie. Consultant national : 45p
58. **Belloum A., (1992)**: Contraintes naturelles et mise en valeur en Algérie:La région de Skikda.*Medit* 3(4),26 - 33.
59. **Beloued, A., (1998)** : *Plantes médicinales d'Algérie*. 5 Ed Office des publications universitaires, Alger, 184p.
60. **Ben Nasr, R., Baudelaire, E.D., Dicko, A., and Hela El Ferchichi, O.H., (2021)**: Phytochemicals, Antioxidant Attributes and Larvicidal Activity of *Mercurialis annua L.(Euphorbiaceae)* Leaf Extracts against *Tribolium confusum* (Du Val) Larvae (*Coleoptera; Tenebrionidae*). *Biology* (Basel). 10(4): 344
61. **Ben Abdelkader T., (2012)** : Biodiversité, bioactivité et biosynthèse des composées terpéniques volatiles des lavandes ailées, *Lavandula stoechas* sensu lato, un complexe d'espèces méditerranéennes d'intérêt pharmacologique. Thèse de Doctorat : Université JeanMonnet - Saint-Etienne, Ecole Normale Supérieure de Kouba (Alger), 283 p.
62. **Ben, D. F., Hayder N., Chekir-Ghedira L., Hammami M, Ghedira K., Mariotte and Dijoux- A. M. Franca M. G., (2005)**: New study of the essential oil from leaves of *Pistacia lentiscus L. (Anacardiaceae)* from Tunisia. *Flavour and Fragrance*, 20: 410–414.
63. **Bencherki O., (2017)** : Le Quotidien d'Oran du jeudi 30 novembre 2017 <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/chlef-le-paradoxe-de-l-orange-6207805-Articles-2-98-1.html>
64. **Ben-Halima-Kamel M, Rebhi R. and Ommezine A., (2011)**: Habitats et proies de *Coccinella algerica* Kovar dans différentes régions côtières de la Tunisie. *Faunistic Entomology* 63 (1), 35-45
65. **Ben-Halima-Kamel M.and Ben-Hamouda M.H., (2005)**: A propos des pucerons des arbres fruitiers de Tunisie. *Notes faunistiques de Gembloux*, 58, 11-16.
66. **Benoit. R., (2006)** : Biodiversité et lutte biologique - Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Certificat d'Etude Supérieures en Agriculture Biologique. ENITA C, 10: 1-25.
67. **Benoufella-Kitous K., (2015)** : Bioécologie des pucerons de différentes cultures et leurs ennemis naturels a Oued-Aissi et Draa Ben Khedda (Tizi-Ouzou).Thèse de doctorat ENSA.El Harrach.Alger.234p.
68. **Benyahia-Bouayad Alam, S., (2015)** : Activités antimicrobiennes et insecticides de *Thymus capitatus*, *Daucus crinitus* et *Tetraclinis articulata* sur la mineuse *Tuta absoluta* (Meyrick) et la microflore pathogène de la tomate *Lycopersicum esculentum*. Thèse de Doctorat en Ecologie et environnement. Université de Tlemce
69. **Benzara A., Benabdelkrim A., Khalfi-Habes O., (2011)**: Effets des extraits aqueux des graines de *Peganum harmala L. (Zygophyllaceae)* sur les larves de 5ème stade de *Locusta migratoria cinerascens* (Fabricius,1781), (*Orthoptera : Oedipodinae*). Neuvième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture. Montpellier- 26 et 27 Octobre 2011.
70. **Berchiche S., (2004)** : Entomofaune du *Triticum aestivum* et *Vicia faba*. Etude des fluctuations d'*Aphis fabae* Scopoli, 1763 dans la station expérimentale d'Oued-Smar. Mém. Magister, Inst. Nat. Agro., El-Harrach, Alger, 245 p.
71. **Berestetskiy, A. (2023)**. Modern Approaches for the Development of New Herbicides Based on Natural Compounds, *Plants* 12(2), 234.
72. **Bernays, E. A. and R. F. Chapman., (1998)**: Chemicals in Plants. In: E. A. Bernays, R. E. Chapman (eds). *Host-Plant Selection by Phytophagous Insects*. Contemporary Topics in Entomology, volume 2. Springer, Boston, MA, USA.
73. **Bézanger-Beauquesne L., (1955)** : Contribution des plantes à la défense de leurs semblables. In: Bulletin de la Société Botanique de France. Springer (Netherlands); p. 548–75.
74. **Bhatia V, Uniyal PL, Bhattacharya R. (2011)**: Aphid resistance in Brassica crops: challenges,

- biotechnological progress and emerging possibilities. *Biotechnol Adv.*;29:879–88.
75. **Bibi, S., Afzal, M., bibi, K., aziz, N., aziz, S and Raheem, A., (2015):** Antifungal Activity of Tamarix aphylla (L.) Karst. Stem-bark Extract Against Some Pathogenic Fungi. *International journal of pharmacological research.* 5 (2) : 44-48
  76. **Biche M et Sellami M., (1999) :** Etude de quelques variations biologiques possibles chez *Parlatoria oleae* Colvée (Homoptera-Diaspididae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 104 (3) : 287-292
  77. **Biche M., (2012) :** Les principaux insectes ravageurs des agrumes en Algérie et leurs ennemis naturels. Institut national de la protection des végétaux, le ministère de l'agriculture et du développement rural et FAO, 36p.
  78. **Bittner, M. L., Casanueva, M. E., Arbert, C. C., Aguilera, M. A., Hernández, V. J., and Becerra J. V., ( 2008):** Effects Of Essential Oils From five plant species against the granary weevils *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera). *J. Chil.Chem. Soc*, 53 (1), pp: 1455-1459
  79. **Blackman RL., et Eastop VF., (2006):** Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs. An identification and information guide. 2 nd edition. Vol2, John Wiley and Sons, Chichester, 1415p.
  80. **Blondel J., (1979) :** Biogéographie écologie. Ed. Masson. Paris, 173 p.
  81. **Boualem M., Maameri E., Abbou A. & Ghelamallah A., (2014):** Etude bioécologique de deux pucerons *Myzus persicae* et *Aphis Gossypii* et leurs ennemis naturels sur poivron sous serre. AFPP – Dixième Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture Montpellier, France, 10 pages.
  82. **Boudjamaa- Gamaz K., (2021) :** Ecologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (Homoptera : Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques. E.N.S.A. El harrach.200 p
  83. **Boufares K., (2020) :** Thèse de doctorat. Extraction et étude phytochimique des huiles essentielles de certaines plantes steppiques et évaluation de leur efficacité comme biopesticides. Département des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Ibn Khaldoun – Tiaret).
  84. **Bouguerra,N., Tine.Djebbar,F and Soltani,N., (2019):** Oregano Essential Oils Potential Mosquito arvicide , *Transylvanian Review.* Vol XXVII, No. 39.
  85. **Bouhadiba R., (2014):** Etude de l'effet insecticide de *Mentha piperita* et de *Nerium oleander* sur *Aphis spiraeicola*
  86. **Bouhroua Rachid Tarik., (1987) :** Bioécologie des pucerons en cultures maraîchères et incidence de leurs ennemis naturels dans la région de fouka (wilaya de Tipaza). Mémoire d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. INA el Harrach, Alger, 1987, 104 pages.
  87. **Boukhobza L., (2016) :** L'effet des sels minéraux du sol sur l'écologie de *Parlatoria ziziphi* (Homoptera : Diaspididae) dans un verger oranger Rouïba. Mémoire de magister. Alger.181p.
  88. **Boukroun N. (2012):** Diversité spécifique de l'aphidofaune (Homoptera, Aphididae) et de ses ennemis naturels dans deux (02) stations: El-Outaya et Ain Naga (Biskra) sur piment et poivron (Solanacées) sous abris – plastique, these de magister en sciences agronomiques, université de Biskra, 83p
  89. **Bounouira Y., (2020):** Activités biologiques de la diatomite sur les bios agresseurs des cultures en vue d'une lutte naturelle et biologique. Thèse de Doctorat. Université Abou Bekr Belbaid-Tlemcen.Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers. Département d'Ecologie et Environnement.
  90. **Bouyahyaoui, A., F. Bahri, A. Romane, M. Hoferl, J. Wanner, E. Schmidt and L. Jirovetz., (2016):** Antimicrobial Activity and Chemical Analysis of the Essential Oil of Algerian *Juniperus phoenicea*. *Natural Product Communications*,11(4): 519-522.
  91. **Bouzeraa, H., Bessila-Bouzeraa, M. and Labeled, N., (2019):** Repellent and fumigant toxic potential of three essential oils against *Ephestiakuehniella*, *Biosyst. Divers*, 27(4).
  92. **Bouzouita N., Kachouri F., Ben Halima M., Chaabouni M. M., (2008) :** Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 2008, 10, 119-125.

93. **Bové J.M., (2006):** Huanglongbing. A destructive, newly emerging, century old diseases of citrus. *J. of plant pathol.*, 88:7-37.
94. **Bové J.M. 1995):** Virus and virus-like diseases of citrus in the Near East region. Rome, FAO..
95. **Brault V, Uzeit M, Monsion B, Jacquot E & Blanc S., (2007) :** Aphids as transport devices for plant viruses Les pucerons, un moyen de transport des virus de plante. *C. R. Biologies* 333-525-531.
96. **Bremness, L., (2005) :** Fleurs sauvages des régions méditerranéennes. Delachaux et Niestlé.
97. **Brodeur J, Hajek A, Heimpel GE, Sloggett J, Mackauer M, Pell JK, Völkl W., (2017):** Predators, Parasitoids and Pathogens 1. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as crop pests* (2nd edition), . CABI, Wallingford, UK, pp 225- 261
98. **Burger, P., H. Plainfossé, X. Brochet, F. Chemat and X. Fernandez., (2019):** Extraction of natural fragrance ingredients: history overview and future trends. *Chemistry & Biodiversity*, 16(10): e1900424.
99. **Burt S., (2004):** Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *Int. J. Food Microbiol.* 94: 223-253.
100. **Cambra M., Gorris M.T., Marroquín C., Román M.P., Olmos A., Martínez M.C., Mendoza A.H., López A. and Navarro L., (2000):** Incidence and epidemiology of Citrus tristeza virus in the Valencian community of Spain. *Virus Research* 71: 85-95. doi: 10.1016/s0168-1702(00)00190-8.
101. **CAPE (Canadian Association of Physicians for the Environment), (2009):** Position Statement on Synthetic Pesticides. <https://cape.ca>
102. **Capieau, K., Stenlid, J and Stenstro, E., (2004):** Potential for Biological Control of Botrytis cinerea in Pinus. *Scand. J. For. Res.* 19: 312/319
103. **Carmo, E.S., Lima, E.D.O. and De Souza, E.L., (2008) :** The potential of Origanum vulgare L. (Lamiaceae) essential oil in inhibiting the growth of some food-related Aspergillus species. *Brazilian Journal of Microbiology* 39, pp 362-367.
104. **Cassan A., (2008) :** Guide des agrumes. Institut Klorane : Fondation d'Entreprise pour la Protection et la Bonne Utilisation du Patrimoine Végétal. 20p.
105. **Cassin P.J., (1976) :** Rapport d'archive. A. Guyane. IRFA. 16p.
106. **Chamont S., (2020) :** Encyclopédie en protection des plantes. Les baculovirus. Ephytia – 2023. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/11109/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Les-baculovirus>
107. **Chapot H., (1955) :** Systématique des Citrus en relation avec leur composition chimique. *Bull. Soc. Sci. Nat. Phys.* du Maroc. N°35.
108. **Chapot H., et Delucchi VL., (1964) :** Maladie, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc. *Livre Inst. Nat. Rec. Agronome.* 1964, 339 p
109. **Chapot H., et Vittorio V., (1996) :** Maladie, trouble et ravageurs des agrumes au Maroc. *Institut national d'agronomie Rabat*, 420 p.
110. **Cheraif K, Bakchiche B, Gherib A, Bardaweel SK, Ayvaz MÇ, Flamini G, et al., (2020):** Chemical composition, antioxidant, anti-tyrosinase, anti-cholinesterase and cytotoxic activities of essential oils of six Algerian plants. *Molecules.*;25.
111. **Cherfaoui K., (2010) :** Etude bioécologique de deux espèces de pucerons : Myzus persicae s. et Aphis spiraeicola p. Avec l'inventaire de leur complexe parasitaire dans la région de Mostaganem (Algérie)
112. **Chouhan S., Sharma K., et Guleria S., (2017):** Antimicrobial Activity of Some Essential Oils-Present Status and Future Perspectives. *Medicines.* 4, n°58.
113. **Chown S. L., Nicolson S. W., (2004):** *Insect physiological ecology: Mechanisms and patterns.* Ed. Oxford University Press (New York), 243 p.
114. **CIRAD. (2015):** Agrumes. In *FruiTrop* n°237 Novembre/décembre 2015 <https://www.fruitrop.com/media/Publications/FruiTrop-Magazine/2015/fruitrop-237>
115. **Clam., (2007) :** comité de liaison de l'agrumiculture méditerranéenne. les exportations d'agrumes du bassin méditerranéen. statistiques, évaluations, répartitions, situation 2006-2007, 121p.



116. **Clevenger, J. F., (1928)** : Appareil pour la détermination de l'huile volatile, Description du nouveau type. Le Journal de l'Association Pharmaceutique Américaine, 17: 345-349.
117. **Cloutier et Cloutier C., (1992)**: Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures In « lutte biologique » pp 62 : 649 p.
118. **Colignon P., Haubruge E., Gaspar C., et Francis F.,(2003)** : Effets de la réduction des doses de formulations d'insecticides et de fongicides sur l'insecte auxiliaire non ciblé *Episyrphus balteatus* [Diptera: Syrphidae] . Phytoprotection .2003; 84(3) :141-148
119. **Colin Favret et Gary L. Miller., (2011)** : The neotype of the cotton aphid (Hemiptera: Aphididae: Aphis gossypii Glover 1877), Proceedings of the Entomological Society of Washington 113(2):119-126 DOI:[10.4289/0013-8797.113.2.119](https://doi.org/10.4289/0013-8797.113.2.119)
120. **Collier R. H. & Finch S., (2007)**: IPM case studies: Brassicas. In: van Emden H. F. & **CRAAQ, (2023)** : **Toxicologie de la matière active : *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*.** <https://www.sagepesticides.qc.ca/Recherche/RechercheMatiere/DisplayMatiere?MatiereActiveID=104>
121. **Correll DS, Johnston MC. (1970)**: Manual of the vascular plants of Texas. Contrib from Texas Res Found A Ser Bot Stud.;6:1881.
122. **D.S.A.** Direction des Services Agricoles de la Wilaya de Chlef 2021/202
123. **Daferera D.J., Ziogas B.N. et Polissiou M.G., (2000)**: GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. J. Agric. food. Chim., 48(6):2576-81
124. **Dajoz R., (2003)** : Précis d'écologie. 7 ème édition, Ed. Dunod, Paris, 615
125. **Dajoz, R., (1977)** : Précis d'écologie (2ème édition). Dunod.
126. **Dajoz, R., (1985)** : Précis d'écologie. 5eme édition Dunod Université: Paris.
127. **De Menezes, M., (1970)** : Reproducao sexual de *Aphis spiraeicola* Patch no estado de Sao Paulo. Biológico, 36: 53-57.
128. **Debras J. F., (2007)** : Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs : le cas du psylle *Cacopsylla pyri* L. dans les vergers du sud-est de la France. Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France, 240 p.
129. **Dedryver C.A., Lerelec A., et Fabre F., (2010)**: The conflicting relationship between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. C.R.Biologies. pp. 539- 553.
130. **Deguine J.P. and Leclant F., (1997)**: *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera, Aphididae). Les déprédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde. Ed. Cent. inter. rech. agro. dév. (C.I.R.A.D.), n° 11, Paris, 112 p.
131. **Delorme J., (1997)** : Mycologie médicale. Mont-Royal, Qué.: Mont-Royal, Qué. : Décarie éditeur.
132. **DeMoya-Ruiz, C et al., (2023)** : Occurrence, Distribution, and Management of Aphid-Transmitted Viruses in Cucurbits in Spain. *Agents pathogènes* 12 (3), 422 ; <https://doi.org/10.3390/pathogens12030422>
133. **Deravel D'esclapon., (1990)** : Les agrumes et les fruits exotiques. Ed. Solar, 151 p
134. **Deravel J, Krier F, Jacques P., (2013)** : Les biopesticides, compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimiques (synthèse bibliographique). Biotechnol Agron société Environ.
135. **Dessoky ES, Ismail IA, El-Hallous EI, Alsanie WF., (2020)**: Research article protective role of *Juniperus phoenicea* L. leaves extract against gamma-irradiation-induced oxidative stress. Pak J Biol Sci.;23:922–30.
136. **Dewey. M., (2004)**: Aphids. Ed Cooperative extension ENT-20, University of Delaware.
137. **Dixon A. F. G. & Hopkins G. W., (2010)**: Temperature, seasonal development and distribution of insects with particular reference to aphids. In: Kindlmann P.,
138. **Dixon A.F.G., (2012)**: *Aphid ecology an optimization approach*. Springer Science & Business Media. 309p DOI 10.1007/s10340-015-0668-9
139. **Djellab S., A. van Eck and B.Samraoui.,( 2013)**: Une étude des syrphes du nord-est de l'Algérie (Diptera : Syrphidae). Journal égyptien de biologie, 2013, Vol. 15, p. 1-12.

140. **Döring, T.F., (2014):** How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*, 165, 3-26,
141. **Duan, J.J., et al., (2008):** "Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* sp. *kurstaki* aerial spore insecticidal spray has no adverse effects on adult green lacewings, *Chrysoperla rufilabris*." *Environmental Entomology*, 37(2), 402-408.
142. **Dupin T., (2017):** Observation of pests and their natural enemies in citrus orchards carried out with agroecological practices in Martinique. Doctoral dissertation, University of Angers. Université d'Angers;
143. **Duyck, P.F., (2002):** Survival and development of different life stages of three *Ceratitis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures.
144. **Eastop V., (1977):** Aphids on the world's crop: an identification guide
145. **Ekesi S., Egwurube E. A., Akpa A. D. and Onu I., (2001):** Laboratory evaluation of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* for the control of the groundnut bruchid, *Caryedon serratus* on groundnut. *Journal of Stored Products Research* 37 : 313-321.
146. **El Bishbishy, M.H., H.A. Gad and N.M. Aborehab., (2020):** Chemometric discrimination of three *Pistacia* species via their metabolic profiling and their possible *in vitro* effects on memory functions. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 177: 112840.
147. **El Haddad, D., Toubal, S., Bouchenak, O., Boumaza, S., Merah, M., Yahiaoui, K. and Arab, K., (2022):** Insecticidal activity of algerian castor extracts *Ricinus communis* against the green rose aphid *Macrosiphum rosae*. *Revue Agrobiologia* 12(1): 2827-2833
148. **El macane W. L. D., Ahmed S. & Alattir H., (2003):** Le bananier, la vigne et les agrumes Ed. Programme National de Transfert de Technologie en Agriculture (Maroc), 4 p.
149. **Elmhalli F, Garboui SS, Karlson AKB, Mozūraitis R, Baldauf SL, Grandi G., (2021) :** Acaricidal activity against *Ixodes ricinus* nymphs of essential oils from the Libyan plants *Artemisia herba alba*, *Origanum majorana* and *Juniperus phoenicea*. *Vet Parasitol Reg Stud Reports*. 2021;24:100575. doi:10.1016/j.vprsr.2021.100575
150. **El-Sawi SA, Motawae HM, Ali AM., (2007):** Chemical composition, cytotoxic activity and antimicrobial activity of essential oils of leaves and berries of *Juniperus phoenicea* L. grown in Egypt. *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 2007;4(4):417-426. doi:10.4314/ajtcam.v4i4.31236
151. **Ercan S, Şenses Y. (2020):** Design and molecular docking studies of new inhibitor candidates for EBNA1 DNA binding site: a computational study. *Mol Simul.*;46:332–9.
152. **Escofier , B. and Pagès, J., (2008).** *Analyses factorielles simples et multiples Objectifs, méthodes et interprétation*. 4<sup>e</sup> édition , Dunod, Paris, 2008 , 317P
153. **Essiedu J.A., Adepoju O.F., Lvantsova M.N.? (2020):** Benefits and Limitations in Using Biopesticides: A Review. Institute of Chemical Engineering, Ural Federal University, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620002, Russia.
154. **F.R.E.D.O.N. (2008) :** Fiche technique sur les pucerons, France. 7p.
155. **Fadel H., Benayache F., Benayache S., (2016):** Antioxidant properties of four Algerian medicinal and aromatic plants *Juniperus oxycedrus* L., *Juniperus phoenicea* L., *Marrubium vulgare* L. and *Cedrus atlantica* (Manetti ex Endl). *Der Pharmacia Lettre*, 8(3), 72-79p
156. **FAO.** Food and Agriculture Organization of the United Nations( 2012): Guide conçu grâce au financement de la FAO–Algérie Regional Integrated Pest Management Programme in the Near East/ GTFS/REM/070/ITA, Janvier 2012.
157. **FAO. (2014):** FAOSTAT [http:// faostat3. Fao.org/home/E](http://faostat3.fao.org/home/E).
158. **FAO. (2018):** L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. <https://www.fao.org/3/i9553fr/i9553fr.pdf>
159. **FAO. (2022):** *World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2022. Rome.*
160. **Ferey, P. et Buisset, C., (2014) :** Auximor cultivons les auxiliaires : Optimiser le control biologique des bio-agresseurs en système de grande culture .La chambre régionale d'agriculture de Picardie- N1038.

161. **Fettah, A., (2011)** : Activités anti-microbienne des extraits aqueux de deux plantes médicinales : *Phlomis crinita* L. (Lamiaceae) et *Carthamus coereleus* L. (Asteraceae). Thèse de master. Université de Blida. 78p.
162. **Finch, S. and Collier, R.H., (2000)**: Host-plant selection by insects - A theory based on "appropriate/inappropriate landings" by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96, 91-102
163. **Finke, D. L. and R. F. Denno., (2004)**: Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature* 429:407–410. Doi: 10.1038/nature02554.
164. **Fouarge C., (1990)** : les pucerons sont-ils dangereux ? .revue *Agronomie Belge* Vol.47 :4-6 P.
165. **Frank, D.L. and Liburd, O.E., (2005)**: Effects of Living and Synthetic Mulch on the Population Dynamics of Whiteflies and Aphids, Their Associated Natural Enemies, and Insect-Transmitted Plant Diseases in Zucchini. *Environmental Entomology*, 34, 857-865.
166. **Fraval, A., (2006)** : La pucerons-1ère partie. *Institut national de recherche agronomique*, France, 2(141), 6p.
167. **Ganassi S., Moretti A., Stornelli C., Fratello B. and Pagliai A. M., (2006)**: Effect of Fusarium, Paecilomyces and Trichoderma formulations against aphid *Schizaphis graminum* *Mycopathologia* 151: 131-138.
168. **Gannibal, P. B., Klemsdal, S. S., & Levitin, M. M., (2007)**: AFLP analysis of Russian *Alternaria tenuissima* populations from wheat kernels and other hosts. *European Journal of Plant Pathology*, 119, 175–182. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9159-z>
169. **Gardeli, C., V. Papageorgiou, A. Mallouchos, K. Theodosis and M. Komaitis., (2008)**: Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L. Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extract. *Food Chemistry*, 107: 1120–1130.
170. **Gauthier L., (2008)** : Pépinière Louis Gauthier. Révision du 19/08/2008
171. **Gautier M., (2023)**: Principaux pays importateurs dans le monde en 2021 in statistica. <https://fr.statista.com/statistiques/565129/production-d-agrumes-dans-le-monde-par-region/>
172. **Glare T.R., Caradus, J.R., Gelernter, W.D., et al., (2012)**: "Have biopesticides come of age?" *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250-258.
173. **Golda D., (2011)** : Évaluation des facteurs de risque épidémiologique de la phaeoramulariose des agrumes dans les zones humides. Thèse Doctorat. École doctorale systèmes intègres en biologie, agronomie, geosciences hydrosociences et environnement. Département de sciences agronomiques Biologie Intégrative des Plantes.
174. **Gómez-Marco, F., Tena, A., Jacas, J.A., Urbaneja, A., (2015)**: Early arrival of predators controls *Aphis spiraeicola* colonies in citrus clementines. *J. Pest Sci.* 1-11p. DOI 10.1007/s10340-015-0668-9
175. **Gonzalez D., Nave A., Gonçalves F., Nunes F.M., Campos M. and Torres L., (2016)**: Higher longevity and fecundity of *Chrysoperla carnea*, a predator of olive pests, on some native flowering Mediterranean plants. *Agron. Sustain. Dev.* (2016) 36: 30
176. **Govindarajan, M., M. Rajeswary and G. Benelli., (2016)**: delta-Cadinene, calarene and delta-4-carene from *Kadsura heteroclita* essential oil as novel larvicides against malaria, dengue and filariasis mosquitoes. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 19(7):565-571.
177. **Grauby S., (2023)**: Diversification végétale intra-parcellaire et régulation biologique des pucerons des céréales, vecteurs du virus de la jaunisse nanisante de l'orge, université de Lyon, 166p
178. **Gubb, A S., (1913)**: La flore algérienne : Naturelle et Acquisée. Ed Adolphe Jourdan, Alger, 318p.
179. **Guellier N., (2021)**: maladies et ravageurs du citronnier et des autres agrumes
180. **Guenaoui Y. and Mahiout R., (1993)**: The role of a thelytokous strain of *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hymenoptera: Aphidiidae) in the population control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in North Algeria. – *Aphidophaga* 5, I.O.B.C. symposium, Antibes, Semptember 6-10: p.62



181. **Guillaum J. L., Laques A.E., Léna P. and De Robert P., (2009)** : La spatialisation de la biodiversité. IRD Éditions, Institut de recherche pour le développement, Collection latitudes 23. Marseille, France
182. **Guo Y. P., Zhou H. F. & Zhang L. C., (2006)**: Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against photooxidation during high temperature stress in two citrus species. *Scientia Horticulturae* 108 (3), 260 – 267
183. **Guo Y. P., Zhou H., Zeng G. F. & Zhang L. C., (2003)**: Effects of high temperature stress on net photosynthetic rate and photosystem II activity in Citrus. *The Journal of Applied Ecology* 14 (6), 867 - 870.
184. **Habes, D., Kilani-Morakchi, S., Aribi, N., Farine, J.P and Soltani, N., (2006)**: Boric acid toxicity of the German cockroach, *Blattella germanica*: Alterations in midgut structure, and acetylcholinesterase and glutathione S- transferase activity. *Pestic. Biochem. Physiol.* 84, 17-24.
185. **Hadgson R.W., (1967)**: Horticultural varieties of citrus In: *The Citrus industry*. Ed Reuther, webber et batchelor. Univ. Calif. Agri. Sci. Berkeley. pp 431-588.
186. **Hakkou, S., Sabir, M. and Machouri, N., (2023)** : Principales plantes aromatiques et médicinales forestières dans la région Rabat- Salé-Kénitra, Maroc. 11(1) : 1-13
187. **Hamid S, Halouane F, Bissaad FZ, Benzina F., (2013)**: Study about the effect of *Beauveria bassiana* (Vuillemin IN 1912) on the aquatic stages of *Culex pipiens* (LINNÉ, 1758). *Int J Bio-Technol Res.*;3:31–42.
188. **Hance T, Kohandani-Tafresh F, Munaut F., (2017)**: Biological Control 1. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as Crop Pests* (2nd edition). Cabi, pp 448-493
189. **Hanène M, Ameer E, Larbi KM, Piras A, Porcedda S, Falconieri D, et al., (2012)**: Chemical composition of the essential oils of the berries of *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *rufescens* (L. K.) and *Juniperus oxycedrus* L. ssp. *macrocarpa* (S. & m.) Ball. and their antioxidant activities. *Nat Prod Res.*;26:810–20.
190. **Hardie J., (2017)**: Life cycles and polymorphism. In: Van Emden H.F. and Harrington R. (eds). *Aphids as crop pests*, (2 nd edition). Ed. Cabi, Amazon France, 81- 97.
191. **Hare JD, Weseloh RM., (2009)**: Chapter 123 - *Host Seeking, by Parasitoids*. In: Resh VH, Cardé RT (eds) *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). Academic Press, San Diego, pp 463-466. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00132-6>
192. **Harmel N, Haubruge E, Francis F., (2010)** : Etude des salives de pucerons : un préalable au développement de nouveaux bio-insecticides. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 14:369-378
193. **Harmouzi, A., Boughdad, A., El Ammari, Y. et al., (2016)**: Chemical composition and toxicity of Moroccan *Tetraclinis articulata* and *Juniperus phoenicea* essential oils against *Aphis citricola* Goot, 1912 (*Homoptera, Aphididae*). *Res Chem Intermed* 42, 7185–7197 <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2528-5>
194. **Harrington R., Hullé M. & Plantegenest M., (2007)**: Monitoring and Forecasting. In: van Emden H. F. & Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 515 – 536
195. **Hashem, A.S. and Ramadan, M.M. (2021)**: Nanoemulsions of Chamomile and Cumin Essential Oils: As an Alternative Bio-rational Control Approach against the Red Flour Beetle, *Tribolium castaneum*. *Journal of Plant Protection and Pathology*. Volume 12, Issue 1, Page 11-17 <https://doi.org/10.3390/plants12020234>
196. **Hassel M.P. et Waage J.K., (1984)** : Host parasitoid population interactions. *Annu. Rev. Entomol.*, (29): 89-114.
197. **Herrbach E., (2022)** : Les insectes : vecteurs de virus de plantes. Magazine en ligne passion entomologie. <https://passion-entomologie.fr/insectes-virus-plantes> <https://www.mdpi.com/2076-0817/12/3/422>
198. **Hilbeck, A., McMillan, J., & Meier, M., (2012)**: "Transgenic crops and environments: The GMO contamination problem." *GM Crops & Food*, 3(4), 291-297.
199. **Hill D. S., (2008)**: *Pests of crops in warmer climates and their control*. Ed. Springer (Netherlands), 704 p.
200. **Hodjat, S. H. and V. F. Eastop., (1983)**: *Aphis citricola* van der Goot, a new aphid pest of citrus in Iran. *Entomologie et Phytopathologie Appliquées*, 50(1/2): 57-66.
201. **Hong B.M. and Hung H.Q., (2010)**: Effect of temperature and diet on the life cycle and predatory capacity

- of *Episyrphus balteatus* (de Geer) (syrphidae: diptera) cultured on *Aphis gossypii* (glover). *J Int Soc Southeast Asian Agric Sci.* 6:98–103
202. **Hu, H-L., D. Zhou, J-W. Wang, C. Wu, H-J. Li, J. Zhong, Z. Xiang and C. Sun., (2022):** Chemical Composition of Citronella (*Cymbopogon winterianus*) Leaves Essential Oil and Gastric Toxicity of Its Major Components to *Drosophila melanogaster* Larvae. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(2): 315-325.
203. **Hull R., (2002):** Matthews' Plant Virology, 4th edn. Academic Press, London. 1001 p. Remaudière G. et Remaudière M. (1997). Catalogue des Aphididae du Monde. Homoptera, Aphidoidea. INRA Ed, Paris. 473 pp
204. **Hullé M., (1998) :** les pucerons des arbres fruitiers: cycles biologiques et activités de vol. Editions Acta Inra. 80p
205. **Hullé M., Coeur d'Acier A., Bankhead-Dronnet S. and Harrington R., (2010):** Aphids in the face of global changes, *C. R. Biologies,* , 333(6-7):497-503.
206. **Hullé M., (2019) :** Les pucerons, des insectes passionnants et problématiques. a website on passion Entomologia <https://passion-entomologie.fr/les-pucerons-des-insectes-passionnants-et-problematiques-2-2/>
207. **Hullé, M. Turpeau, E. Ait Ighil, E. Robert, Y. and Monet, Y., (1999) :** Les pucerons des cultures maraîchères : cycle biologique et activités de vol. ACTA INRA Ed. Paris, 136p.
208. **Hullé, M., E. Turpeau and B. Chaubet., (2012):** Encyclop'Aphid, tout savoir sur les pucerons. INRA Magazine, Université de Renne 1, Renne, France.
209. **Hume H.H., (1957):** Citrus fruits. The Mac Millan company, New Work. pp 260-282.
210. **Ikbal, C. and R. Pavela. 2019.** Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. *Journal of Pest Science*, 92: 971-986.
211. **Ilbert, H., Hoxha, V., Sahi, L., Courivaud, A. & Chailan, C. (2016).** Le marché des plantes aromatiques et médicinales. analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie. Montpellier : CIHEAM/France AgriMer (Option méditerranéenne, Série B : étude et recherche. N° 73, 222p.
212. **Imbert E. Loillet D. Vannière H., Bertin Y. Vernière C. Quilici S. Didier C. Bourgeois P., (2006) :** Pomelo. *FruiTrop* (h.s. FOCUS). CIRAD, Montpellier. 108 p.
213. In A.K., Minks and P. Harrewijn (eds.), 171-184.
214. **INRAE., (2023) :** [Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - A. spiraeicola](https://www6.inrae.fr) www6.inrae.fr
215. **INVA., (2022) :** Institut National de la vulgarisation agricole (2022). L'agrumiculture. Revue de vulgarisation et information. <https://agri-info.inva.dz>
216. **Irwin M. E., Kampmeier G. E. & Weisser W. W., (2007):** Aphid movement: Process and consequences. *In:* van Emden H. F. et Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 153 - 186.
217. **Isman, M. B., (2006):** Botanical Insecticides, Deterrents, and Repellents in Modern Agriculture and an Increasingly Regulated World. *Annual Review of Entomology*, 51, 45-66.
218. **ITAF., (1995a) :** Agrumiculture 1 : Création d'un verger d'agrumes. Ed. ITAF (Algérie), 68 p.
219. **ITAF., (1995b) :** Agrumiculture 2 : Conduite d'un verger d'agrumes. Ed. ITAF (Algérie), 60 p
220. **ITAF., (1995c) :** Bulletin d'information climatique (température, précipitations) I.T.A.F.V de Boufarik, 2p
221. **ITAFV., (2017):** [institute technique d'arboriculture fruitiere et de la vigne, l'agrumiculture](https://www.inrae.fr)
222. **Jacquemond, C., AgostinI, D., Cur, K., (2009) :** Des agrumes pour l'Algérie, Bureau d'ingénierie en horticulture et agro-industrie. 4 P.
223. **Johnson, M. P., O'Brien, D. M., and Vellend, M., (2008):** Les effets de la richesse en éléments nutritifs du sol sur la composition de la communauté végétale. *Ecology*, 89(9), 2467-2476.

224. **Jovana D., François k., Philippe J., (2014)** : Les biopesticides compléments et alternatives aux produits phytosanitaires chimique (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol.18, pp220-232, ISSN: 1370-6233.
225. **Kalushkov, P. and Hodek, I., (2004)**: The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata* . *BioControl* 49, 21–32. <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000009385.90333.b4>
226. **Katis N. I., Tsitsipis J. A., Stevens M. & Powell G., (2007)**: Transmission of Plant Viruses. In: van Emden H. F. & Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 353 – 390
227. **Kavallieratos N.G.,Christos G. Athanassiou,George J. Stath and Zeljko Tomanovic ,(2002)**: Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on citrus: Seasonal abundance, association with the species of host plant and sampling indices, *Phytoparasitica* 30 (4): 365-377. <https://doi.org/10.1007/BF02979684>
228. **Kavallieratos, N. G., M. C. Boukouvala, C. T. Ntalaka, A. Skourti, E. P. Nika, F. Maggi, E. Spinozzi, E. Mazzara, R. Petrelli, G. Lupidi, C. Giordani and G. Benelli., (2021)**: Efficacy of 12 commercial essential oils as wheat protectants against stored-product beetles, and their acetylcholinesterase inhibitory activity. *Entomologia Generalis*, 41: 385-414.
229. **Kazi tani, C. and Dali yahia, K., (2020)**: Quatre-vingt-quatorze plantes médicinales odontostomatologiques d'Algérie. *Al Yasmina* 1 : 12/1-22.
230. **Kelen M, Tepe B. (2008)**: Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three *Salvia* species from Turkish flora. *Bioresour Technol.*;99:4096–104.
231. **Kerzabi, R., Abdessamad, M. and Stambouli Meziane, H., (2016)**: Floristic Diversity of Atriplexaies in Western Algeria. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(2) : 761-767
232. **Ketoh, G.K., (1998)** : Utilisation des huiles essentielles des quelques plantes du Togo comme biopesticides dans la gestion des stadesde développement de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat. Univ. Lomé, Bénin, 141p.
233. **Ketoh, G.K., Koumaglo, H.K. and Huignard, J., (2006)**: Comparative effects of *Cymbopogon schoenanthus* essential oil and piperitone on *Callosobruchus maculatus* development. *Fitoterapia*. 77(7-8):506-10
234. **Khabbach, A., Libiad, M., Enabili, A. and Bousta, D., (2012)**: Medicinal and cosmetic use of plants from the province of Taza, Northern Morocco. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*. Vol. 11, n°1, pp 40-60.
235. **Khairi M., and Hall A. E., (1976)**: Temperature and humidity effects on net photosynthesis and transpiration of citrus. *Physiologia Plantarum* 36 (1), 29 – 34
236. **Khani, A. and Basavand, F., (2013)**: Chemical Composition and Insecticidal Activity of Myrtle (*Myrtus communis*L.) Essential Oil against Two Stored-Product Pests. *Journal of Medicinal Plants and By-products*. 2: 83-89
237. **Khanikor, B., P. Parida, R.N.S. Yadav and D. Bora., (2013)**: Comparative mode of action of some terpene compounds against octopamine receptor and acetyl cholinesterase of mosquito and human system by the help of homology modeling and docking studies. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(2): 6-1.
238. **Khurshed A, Rather MA, Jain V, Rasool S, Nazir R, Malik NA, et al., (2022)**: Plant based natural products as potential ecofriendly and safer biopesticides: A comprehensive overview of their advantages over conventional pesticides, limitations and regulatory aspects. *Microb Pathog.* 105854.
239. **Komazaki, S.,(1991)**: Studies on the biology of the spirea aphid, *Aphis spiraeicola* Patch, with special reference to biotypic differences. *Bulletin of the Fruit Tree Research Station*, Extra No. 2: 60.
240. **Koutti A., Bounaceur F., et Razi S., (2017)** : Diversité et distribution spatiale des thrips sur différentes variétés d'agrumes en algérie, *Revue Agrobiologia* 7(1): 263-273.
241. **Kumar J., Ramlal A., Mallick D.,Mishra V., (2021)**: An Overview of Some Biopesticides and Their

- Importance in Plant Protection for Commercial Acceptance. *Plants* 2021, 10, 1185.2of 15.
242. **Kumar N, Pathera AK, Saini P, Kumar M., (2012):** Harmful effects of pesticides on human health. *Ann Agri-Bio Res.*;17:125–7.
243. **Laamari M., S.Tahar-Chaouche, S.Benferhat, H.Merouani, S. Ghodbane, N. Khenissa et P. Stary., (2011):** Interactions tri-trophiques: Plante-puceron-hyménoptère parasitoïde observés en milieu naturels et cultivés de l'Est algérien. *Faunistic Entomology* 2011, 63(3),115-120.
244. **Lahcene, S., taibi, F., Mestar, N., Ali Ahmed, S., Boumendjel, M., Saida, O. and Houali, K., (2018):** Insecticidal effects of the *Olea europaea* subsp. *laperrinei* extracts on the flour Pyralid *Ephestia kuehniella*. *Cellular and molecular biology* 64(11):6-12
245. **Lainez-Cerón E, Jiménez-Munguía MT, López-Malo A, Ramírez-Corona N., (2021):** Effect of process variables on heating profiles and extraction mechanisms during hydrodistillation of eucalyptus essential oil. *Heliyon.*;7:e08234.
246. **Lakhal MA., (2020) :** Evaluation de la diversité des prédateurs naturels des pucerons, en particulier les coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) des différentes cultures dans les régions Alger et Blida. these de doctorat, ENSA EL-HARRACH – ALGER .235P
247. **Lalami AELO, Fouad E-A, Ouedrhiri W, Chahdi FO, Guemmouh R, Greche H., (2013):** Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de deux plantes aromatiques du centre nord marocain: *Thymus vulagris* et *Thymus satureioidis*. *Les Technol Lab.* 8.
248. **Latif A., Amer H.M., Hamad M.E., Alarifi S.A.R., Almajhdi F.N., (2014):** Medicinal plants from Saudi Arabia and Indonesia: In vitro cytotoxicity evaluation on Vero and HEp-2 cells. *Journal of Medicinal Plant Research*, 8(34), 1065-1073p
249. **Leather S. R., (1985):** Atmospheric humidity and aphid reproduction. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 100 (1-5), 510 - 513.
250. **Lebbal S., (2017) :** Etude bioécologique des pucerons inféodés aux agrumes dans la région de Skikda. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. E.N.S.A. El Harrach. 87p
251. **Lees A. D., (1959):** Lees A. D., 1959. The role of photoperiod and temperature in the determination of parthenogenetic and sexual forms in the aphid *Megoura viciae* Buckton. I- the influence of these factors on apterous virginoparae and their progeny. *Journal of Insect Physiology* 3 (2), 92 - 117
252. **Li T. Y. and Harris M. K., (2001):** The correlation between the population growth of Blackmargined Aphid and precipitation over a 13-year period (1988–2000) in Adriance orchard, College station. *In: Entomological Society of America Annual Meeting*, 9 – 12 December 2001, California.
253. **Loussert C., (1989a) :** Les agrumes production. Ed. sci. Univ., Vol. 2, Liban, 280p. Maison neuve et Lanos, Paris. 113-556 P.
254. **Loussert R., (1989b) :** Les agrumes. Arboriculture Méditerranéenne. Tome1. Ed. Tec et Doc. Paris, 136p.
255. **Lucia, A., A.P. Gonzalez, S. Licastro and H. Masuh., (2007):** Larvicidal effect of *Eucalyptus grandis* essential oil and turpentine and their major omponents on *Aedes Aegypti* larvae. *Journal of the American Mosquito Control Association*,23(3): 299-303.
256. **M.A.D.R., (2013) :** Le Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural. Bilan de la production agrumicole. La direction des statistiques agricoles et systèmes d'information MADR.Algérie.
257. **M.A.P.A., (2007) :** Ministère de l'agriculture de pêche et de l'alimentation. Quebec.
258. **Maamar Sameut, Y., Belhacini, F. and Bounaceur, F., (2020) :** Étude ethnobotanique dans le sud-est de Chlef (Algérie occidentale). *Revue Agrobiologia* 10(2):2044-61
259. **Maameri Esmâa., (2013) :** Etude du complexe parasitaire de deux espèces de pucerons *Myzus persicae* et *Aphis gossypii* sur le poivron sous serre). Mémoire d'ingénieur agronome, spécialité : protection des végétaux. Université de Mostaganem. 76 pages.
260. **Maazoun, A.M., Haouel Hamdi ; S., Belhadji, F., Mediouni BenJemâa, J., Messaoud, C. and Marzouki, M.N., (2019):** Phytochemical profile and insecticidal activity of *Agave americana* leaf extract towards *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Science and Pollution Research*. 26, 19468–19480

261. **MADRP., (2018)** : statistique Agricole, superficies et productions, SERIE B, 2016. Ministry of agriculture, rural development and fishing of Algeria. 77p. <https://madr.gov.dz/wp-content/uploads>.
262. **MADRP., (2021)**: Statistique Agricole, superficies et productions, Ministry of agriculture, rural development and fishing of Algeria. 77p.\*
263. **Maire, R., (1959)** : Flore de l'Afrique du Nord (Vol. 8). Paul Lechevalier.
264. **Makhloufi et al., (2014)**: phytochemical screening and anti-listerial activity of essential oil and crude extracts from some medicinal plant growing wild in Bechar (south west of Algeria), international journal of phytotherapy, 4(2), 95-100p
265. **Manchandrane I., (2019)**: Biobesticides: A viable tool for organic farming. International Journal of Microbiology Research ISSN: 0975-5276 & EISSN: 0975-9174, Volume 11, Issue 7, 2019, pp.-1660-1664.
266. **Mao, J., Liu, Q., Yang, X., Long, C., Zhao, M., Zeng, H. Qiu, D., (2010)**: Purification and expression of a protein elicitor from *Alternaria tenuissima* and elicitor-mediated defense responses in tobacco. Annals of Applied Biology, 156, 411–420. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00398.x>
267. **Maqsood, A., Sajid, A.R., Javeed, A., Aslam, M., Ahsan, T, Hussain, D., Mateen, A., Li, X., Qin, P. and Ji, M., (2022)**: Antioxidant, antifungal, and aphicidal activity of the triterpenoids spinasterol and 22,23-dihydrospinasterol from leaves of *Citrullus colocynthis* L. Scientific Reports. 12: 4910.
268. **Maria, J., Pascual-Villalobos, M.J., Robledo., (1999)**: Anti-insect activity of plant extracts from the wild flora in southeastern Spain. Biochemica Systemics and Ecology. 27 : 1-10
269. **Marroquín C., Olmos A., Gorris M. T, Bertolini E., Carmen Martínez M., Carbonell E.A., De Mendoza A.H., Cambra M., (2004)**: Estimation of the number of aphids carrying Citrus tristeza virus that visit adult citrus trees. Virus Research, 100. 101–108. Doi: 10.1016/j.virusres.2003.12.018.
270. **Medini H, Elaissi A, Khouja ML, Piras A, Porcedda S, Falconieri D, et al., (2011)**: Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Juniperus phoenicea* L. berries. Nat Prod Res.;25:1695–706.
271. **Meier U., (2001)** : Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées BBCH Monographie. Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêt.
272. **Melaku G., Wilde G. & Reese J. C., (1990)**: Influence of temperature and plant growth stage on development, reproduction, life span, and intrinsic rate of increase of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Environmental entomology* 19 (5), 1438 - 1442.
273. **Merzougui I., and Tadj H., (2015)**: Etude de l'effet antibactérien et antioxydant d'Ammoides verticillata de la région de Tlemcen. Mém. Ingén. Agro. univ. Abou-Bakr Belkaïd – Tlemcen. 82p.
274. **Michaelakis, A., A.T. Strongilos, E.A. Bouzas, G. Koliopoulos and A. Elias., (2009)**: Larvicidal activity of naturally occurring naphthoquinones and derivatives against the West Nile virus vector *Culex pipiens*. Parasitology Research, 104: 657–662.
275. **Michaelakis, A., D. Papachristos, A. Kimbaris, G. Koliopoulos, A. Giatropoulos, G. Moscho and M. Polissiou., (2009)**: Citrus essential oils and four enantiomeric pinenes against *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). Parasitology Research, 105: 769–773.
276. **Michalik A., Szklarzewicz T., Wegierek P. and Wieczorek K., (2013)**: The ovaries of Aphids (Hemiptera, Sternorrhyncha, Aphidoidea): morphology and phylogenetic implications. *Invertebrate biology*, 132(3): 226-240.
277. **Millot G., (2018)**: Comprendre et réaliser les tests statistiques à l'aide de R: manuel de biostatistique. Paris, France, De Boeck Supérieur.
278. **Milos M, Radonic A., (2000)**: Gas chromatography mass spectral analysis of free and glycosidically bound volatile compounds from *Juniperus oxycedrus* L. growing wild in Croatia. Food Chem. 68:333–8.
279. **Mohammedi A., (2015)** : L'impact de la prédation du héron garde bœufs *Bubulcus ibis* L. dans les milieux agricoles de la région de Chlef. Thèse de doctorat en sciences, Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques, Alger, 245p.



280. **Mohammedi A., Ali Arous S. and Kerrouzi M., (2019):** Entomofaunal diversity and similarity indices of different agroecosystems in northwest Algeria. *J Insect Biodivers Syst.* 05(2): 143–152. DOI: [10.52547/jibs.5.2.143](https://doi.org/10.52547/jibs.5.2.143)
281. **Mohammedi-Boubekka, N., (2015):** Les pucerons des Agrumes et leurs ennemis naturels en Mitidja orientale (Algérie). Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach. Département de Zoologie Agricole.
282. **Mostafiz MM, Alam MB, Chi H, Hassan E, Shim J-K, Lee K-Y., (2020):** Effects of sublethal doses of methyl benzoate on the life history traits and acetylcholinesterase (AChE) activity of *Aphis gossypii*. *Agronomy.* 10:1313.
283. **Mostfaoui H., Allal-Benfekih L., Djazouli Z.E., Petit D., and Saladin G., (2014):** Why the Aphid *Aphis spiraeicola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *C.R.Biologies (337)*, 123-133. doi.org/10.1016/j.crvi.2013.11.008
284. **Muanda F.N., (2010) :** Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, 55-86. *Journal Advances in Biological Chemistry*, Vol.3 No.3,
285. **Murugan JM, Ramkumar G, Shivakumar MS., (2016):** Insecticidal potential of *Ocimum canum* plant extracts against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* larval and adult mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Nat Prod Res.* 30:1193–6.
286. **Nachon F, Rosenberry TL, Silman I, Sussman JL., (2020):** A Second Look at the Crystal Structures of *Drosophila melanogaster* Acetylcholinesterase in Complex with Tacrine Derivatives Provides Insights Concerning Catalytic Intermediates and the Design of Specific Insecticides. *Molecules.* 25.
287. **Nadio NA, Poutouli WP, Laba B, Tozouo P, Bokobana ME, Koba K, et al., (2016):** Insecticidal and repellent properties of the essential oil of *Ocimum sanctum* L. against *Dysdercus voelkeri* Schmidt (Heteroptera; Pyrrhocoridae). *Life earth Sci Agron.* 3:65–72.
288. **Nasri N, Tili N, Elfalleh W, Cherif E, Ferchichi A, Khaldi A, et al., (2011):** Chemical compounds from Phoenician juniper berries (*Juniperus phoenicea*). *Nat Prod Res.* 25:1733–42.
289. **Navasse Y., (2016):** Spécialisation parasitaire chez les Aphidiinae: existe-t-il des parasitoïdes de pucerons généralistes ? Thèse de doctorat, Université de rennes1, France ,188p.
290. **Ncibi ,S., (2020) :** Potentiel bioinsecticide des huiles essentielles sur deux ravageurs des céréales stockées *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) et *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) et Identification de leurs ennemis naturels. Thèse de Doctorat, INAT deTunis, 315p.
291. **Nejad, F.Y., R. Rajabi and N. Palvaneh., (2013) :** A review on evaluation of plant essential oils against pests in Iran. *Journal of Persian Gulf Crop Protection*, 2 (4): 74-97.
292. **Nollet M.L., Singh Rathore., (2015):** Biopesticides handbook. CBCpress Taylor & Francis Groupe, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. International Standard Book Number-13: 978-1-4665-9653-5 (eBook - Pdf
293. **Nyegue M ., Belinga-Ndoye C. F., Amvam Zollo P. H., Agnani H., Menut C., (2005):** Aromatic plants of tropical central Africa. Part L. Volatile components of *Clerodendrum*. *Flavour and fragrance journal* , 20(3): 321-323.
294. **OEPP/CABI., (1996) :** *Diaphorina citri*. Fiches informatives OEPP sur les organismes de quarantaine. N°90.
295. **Oulebsir- Mohandkaci, H., Ait Kaki, S. and Doumandji-Mitiche, B., (2015):** Essential Oils of two Algerian aromatic plants *Thymus vulgaris* and *Eucalyptus globulus* as Bio-insecticides against aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Wulfenia journal*, Vol 22, No. 2; 185-197
296. **Papachristos, D.P. and D.C. Stamopoulos., (2002):** Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (*Coleoptera: Bruchidae*). *Journal of Stored Products Research*, 38: 117–128.

297. **Paulian M., (1999)** : Lutte biologique contre les ravageurs. Les chrysopes, auxiliaires contre des insectes divers. *Phytoma – Défense des cultures*, (522): 41-46.
298. **Pavela R, Maggi F, Giordani C, Cappellacci L, Petrelli R, Canale A., (2021)**: Insecticidal activity of two essential oils used in perfumery (ylang ylang and frankincense). *Nat Prod Res.* 35:4746–52.
299. **Pavela R., (2007)**: Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Technol.*1:47–52.
300. **Pavela, R. and G. Benelli, G., (2016)**: Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*, 21: 1000- 1007.
301. **Pettersson J., Tjallingii W. F. & Hardie J., (2007)**: Host-plant selection and feeding. *In*: van Emden H. F. & Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 87 – 113
302. **Pfeiffer, D.G., (1991)**: Biology and management of aphids on apple, In: K. Williams, (Ed.), *New Directions in Tree Fruit Pest Management*. Good Fruit Grower Yakima, Washington, United States of America.
303. **Pichon E., (2016)** : Recherche de molécules naturelles bioactives issues de la biodiversité marine de la zone sud-ouest de l’océan Indien. Thèse de doctorat université de la Réunion Ecole Doctorale Sciences Technologies Santé, 231p
304. **Praloran J.C., (1971)** : Les agrumes. *Techniques Agricoles et productions Tropicales*. Ed.G.P. Maison neuve et Larose. 565p.
305. **Pretty, J., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Dobbs, T., (2006)**: An Assessment of the Total External Costs of UK Agriculture. *Agricultural Systems*, 91(1-2), 155-172.
306. **Quezel, P., and Santa, S., (1962)**: Nouvelle flore de l’Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed CNRS. Vol.1, Paris, pp.1- 565.
307. **Rabie F., (2019)** : Effet Insecticide Des Extraits Aqueux Des Feuilles De Pistacia Lentiscus L. Et De Zizyphus Lotus L. Sur Les Différents Stades Larvaires De La Chenille Processionnaire Du Pin Haumetopoea Pityocampa Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Agrobiologia*. Volume 9, Numéro 1, Pages 1242-1254
308. **Rajamani M., Negi A., (2021)**: Biopesticides for Pest Management. *Sustainable Bioeconomy* Springer Nature Singapore. pp 239–266.
309. **Rajendran, S. and V. Sriranjini. 2008**. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *Journal of Stored Products Research*, 44: 126- 135.
310. **Rakhshani E., Starý P., and Tomanović Z., (2013)**: Tritrophic associations and taxonomic notes on *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae), a keystone aphid parasitoid in Iran. *Arch. Biol. Sci., Belgrade*, 65 (2), 667-680. DOI: [10.2298/ABS1302667R](https://doi.org/10.2298/ABS1302667R)
311. **Ramade, F., (1984)** : Eléments d’écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Mc Graw Hill. Paris, 403 p.
312. **Ramos RS, Macêdo WJC, Costa JS, da Silva CHT de P, Rosa JMC, da Cruz JN, et al. (2020)**: Potential inhibitors of the enzyme acetylcholinesterase and juvenile hormone with insecticidal activity: Study of the binding mode via docking and molecular dynamics simulations. *J Biomol Struct Dyn.* 38:4687–709.
313. **Rauf, A., S. Patel, G.B. Uddin, S. Siddiqui, B. Ahmad, N. Muhammad, Y.N. Mabkhot and T. Ben Hadda., (2017)**: Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus Pistacia. *Biomed Pharmacotherapy*, 86: 393-404.
314. **Raunkiaer, C., (1934)**: The life forms of plants and statistical plant geography being the collected papers of C. Raunkiaer, with 189 photographs and figures. Ed Oxford University Press, Oxford, xvi, 632 p.
315. **Ravindran, Jayaraj., Pankajshan Megha and Puthur Sreedev., (2016)**: Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment, *Interdiscip Toxicol.* 9(3 -4): 90- 100. doi: [10.1515/intox-2016-0012](https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012)
316. **Raymond L., Plantegenest M., Gauffre B., Sarthou J-P., and Vialatte A., (2013)**: Lack of Genetic Differentiation between Contrasted Overwintering Strategies of a Major Pest Predator *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae): Implications for Biocontrol. *PLoS ONE* 8(9): e72997. Doi:10.1371/journal.pone.0072997
317. **Rebour R., (1966)**: Les agrumes. Manuel de culture des Citrus pour le bassin méditerranéen. 5e ed. 278p
318. **Rebour H., (1950)** : Les agrumes en Afrique du Nord. Union des Syndicats de Producteurs d’Agrumes, 477p

319. **Regnault Roger C., Vincent C et Arnason J.T., (2012):** Essential oils in insect control: lowrisk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology* 57: 405-424p.
320. **Regnault-Roger C, Hamraoui A., (1997):** Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allélochimiques. *Acta Bot Gall.* 144:401–12.
321. **Regnault-Roger, C. and Philogène, B. J. R and Vincent, C., (2008):** Recherche de nouveaux biopesticides d'origine végétale à caractère insecticides: démarche méthodologique et application aux plantes aromatiques méditerranéennes. (coord) *Biopesticides d'origine Végétale*, 2<sup>nd</sup> édition. Lavoisier, Paris, France, p. 25–50.
322. **Remaudière G, Remaudière M., (1997) :** *Catalogue des Aphididae du monde (Homoptera Aphidoidea): Catalogue of the world's Aphididae.* Editions Quae. 473p
323. **Remaudières G., Latgé J. P. at Michel M. F., (1981) :** Ecologie comparée des entomophoracées pathogènes de pucerons en France littorale et continentale. *Entomophage* 26: 157-178.
324. **Riahi, L., Chograni, H., Elferchichi, M., Zaouali, Y., Zoghalmi, N., & Mliki, A., (2013):** Variations in Tunisian wormwood essential oil profiles and phenolic contents between leaves and flowers and their effects on antioxidant activities. *Industrial crops and products*, 46, 290- 296.
325. **Roistacher C.N., (1995):** A historical review of the major graft transmissible disease citrus. FAO. Ed. Rome, p 89
326. **Roman, P. et al., (2008):** Acute and Synergistic Effects of Some Monoterpenoid Essential Oil Compounds on the House Fly (*Musca domestica* L.), *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 11:5, 451-459, DOI: 10.1080/0972060X.2008.10643653.
327. **Ronzon B., (2006):** Biodiversité et lutte biologique, Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait d'un mémoire de fin d'étude sur les bandes fleuries, qui sont utilisées comme réservoir d'insectes auxiliaires : 18-22.
328. **Saada, I., Mahdi, K., Boubeka, N., Benzitoun, N. and Salhi, O., (2022):** Variability of insecticidal activity of *Cupressus sempervirens* L., *Juniperus phoenicea* L., *Mentha rotundifolia* (L.) Huds, and *Asphodelus microcarpus* Salzm. & Viv. extracts according to solvents and extraction systems. *Biochemical Systematics and Ecology*. Volume 105. , 104502
329. **Saadane, F.Z., Habbachia, W., Habbachia, S., Boublataa, N.E., Slimanib, A. and Tahraouia, A., (2020):** Toxic effects of *Drimia maritima* (Asparagaceae) ethanolic extracts on the mortality, development, sexual behaviour and oviposition behaviour of *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *J Anim Behav Biometeorol* (2021) 9:2102
330. **Sadet A., (2021) :** Contribution à l'étude des pucerons et de leurs hyménoptères. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. E.N.S.A. El harrach.
331. **Saharaoui L., Benzara A. and Doumandji-Mitiche B., (2001):** Dynamique des populations de *Phyllocnistis citrella* Stainton (1856) et impact de son complexe parasitaire en Algérie. *Fruits*, 56 (6): 403-413. Doi.org/10.1051/fruits:2001103.
332. **Saharaoui L., Hemptinne J.L. and Magro A., (2015):** Organisation des communautés de coccinelles (Coleoptera: Coccinellidae) dans le nord et le sud algérien. *Faunistic Entomology*. 68, 219-232
333. **Saharaoui L., and Hamptinne J.L., (2009):** Dynamique des communautés des coccinelles (coleoptera : coccinellidae) sur agrumes et interactions avec leurs proies dans la région de Rouiba (Metidja orientale) Algérie. *Ann. Soc. Ent. Fr*, 45(2) : 245-259 DOI: [10.1080/00379271.2009.10697604](https://doi.org/10.1080/00379271.2009.10697604)
334. **Saharaoui L., Benzara A. and Doumandji-Mitiche B., (2001):** Dynamique des populations de *Phyllocnistis citrella* Stainton (1856) et impact de son complexe parasitaire en Algérie. *Fruits*, 56 (6): 403-413. Doi.org/10.1051/fruits:2001103.
335. **Sahraoui L., (2017) :** Les coccinelles algériennes (Coleoptera, Coccinellidae): Analyse faunistique et structure des communautés. Thèse de doctorat en Ecologie, biodiversité et évolution. Université Paul sabatier de Toulouse, 195p.
336. **Sakuma M., (1998):** Probit analysis of preference data. *Applied Entomology and Zoology*, 33(3), 339–



337. **Samaranayake KGLI. and Costamagna A.C.,(2019):** Ajaçent habitat type affect the movement of predators suppressing soybean aphids PLOS ONE 14(6): e218522.
338. **Sarker S., Howlader A. J. and Aslam A. F. M., (2019):** Aphid Predation Efficacy of *Coccinella Septempunctata* and Its Molecular Characterization Based on *COI* Gene Sequence. Nuclear science and applications. Vol 28. N 1&2. DOI: [10.3329/bjz.v47i2.44334](https://doi.org/10.3329/bjz.v47i2.44334)
339. **Sarker S., Howlader A. J. and Aslam A. F. M., ( 2019):** Aphid Predation Efficacy of *Coccinella Septempunctata* and Its Molecular Characterization Based on *COI* Gene Sequence. Nuclear science and applications. Vol 28. N 1&2. DOI: [10.3329/bjz.v47i2.44334](https://doi.org/10.3329/bjz.v47i2.44334)
340. **Sarthou J.P., (2006):** Dossier : la biodiversité dans tous ses états. Alter Agri N°76 : 4-14.
341. **Satar S, Satar G, Karacaoğlu M, Uygun N, Kavallieratos NG, Starý P, and Athanassiou CG., (2014):** Parasitoids and hyperparasitoids (Hymenoptera) on aphids (Hemiptera) infesting citrus in the east Mediterranean region of Turkey. J Insect Sci; 114:178. Doi: 10.1093/jisesa/ieu040.
342. **Satar S, Satar G, Karacaoğlu M, Uygun N, Kavallieratos NG, Starý P, Athanassiou CG., (2014):** Parasitoids and hyperparasitoids (Hymenoptera) on aphids (Hemiptera) infesting citrus in east Mediterranean region of Turkey. J Insect Sci; 114:178. Doi: 10.1093/jisesa/ieu040.
343. **Sauvion, N., (1995) :** Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Potentiel d'utilisation des lectines végétales dans une stratégie de création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons. Thèse doctorat. Institut National des Sciences Appliquées Lyon
344. **Schowalter T. D., (2006):** Insect ecology: An ecosystem approach, Ed. Elsevier Inc. (USA), 572 p.
345. **Sefidkon F, Assareh MH, Abravesh Z, Barazandeh MM., (2007):** Chemical composition of the essential oils of four cultivated Eucalyptus species in Iran as medicinal plants (*E. microtheca*, *E. spathulata*, *E. largiflorens* and *E. torquata*). Iran J Pharm Res. 6:135–40.
346. **Sehaki, C., N. Jullian, E. Choque, R. Dauwe and J.X. Fontaine., (2022):** Profiling of Essential Oils from the Leaves of *Pistacia lentiscus* Collected in the Algerian Region of Tizi-Ouzou: Evidence of Chemical Variations Associated with Climatic Contrasts between Littoral and Mountain Samples. Molecule, 27: 41-48.
347. **Sehari, H. N., Benchaben, H., Sehari, M. and Maatoug M., (2018):** Insecticide effect of pennyroyal and rosemary essential oils on the rice weevil Ukrainian, Journal of Ecology, 8(1), 696–702 doi: 10.15421/2018\_268.
348. **Sener, O., M. Arslan, N. Demirel and I. Uremis., (2009):** Insecticidal effects of some essential oils against the confused flour beetle (*Tribolium confusum* du Val) (Col.: *Tenebrinoidea*) in stored wheat. Asian Journal of Chemistry, 21(5):3995-4000.
349. **Senthil-Nathan S., (2015):** A Review of Biopesticides and Their Mode of Action against Insect Pests. 10.1007/978-81-322-2056-5\_3.
350. **Shiwei WU., (2015) :** Les échanges commerciaux et la coopération économique entre la Chine et les pays méditerranéens occidentaux : Le modèle d'intégration transrégionale.
351. **Singh S. & Rajam M. V., (2009):** Citrus biotechnology: Achievements, limitations and future directions. Physiology and Molecular Biology of Plants 15, 3 - 22.
352. **Singh, A., Singh, R.K., Singh, J., & Mishra, S., (2018):** Benefits of Biopesticides and Challenges in its Formulation and Commercialization. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 6(5), 600
353. **Smith, M. and Boon, H. (2004).** The Complete Natural Medicine Guide to the 50 Most Common Medicinal Herbs. Ed. Robert Rose. 352p.
354. **Snyder W. E., and Ives A. R., (2003):** Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. Ecology 84:91–107.  
DOI: [10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0091:IBSAGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0091:IBSAGN]2.0.CO;2)
355. **Souguir, S., Chaieb, I., Beicheikh-Affene, Z. and Laarif, A., (2013):** Activité Bio-insecticide des huiles essentielles de Marjolaine (*Origanum majorana*) et de Fenouil (*Foeniculum vulgare*) sur les larves de *Spodoptera littoralis*. Conference: Quatrième Journées Scientifiques sur la Valorisation des Bioressources 04 - 05 mai 2013. Tunisie

356. **Spiegel- Roy P. and Goldschmidl E.E., (1996)**: Biology of citrus Cambridge University Press. Cambridge UK 230P
357. **Sporleder, M.; Lacey, L.A., (2013)**: Biopesticides. In: Giordanengo, P.; Vincent, management. Oxford (UK). Elsevier. pp. 463-497.
358. **Stack Whitney, K., Meehan, T. D., Kucharik, C. J., Zhu, J., Townsend, P. A., Hamilton, K., & Gratton, C., (2016)**: Explicit modeling of abiotic and landscape factors reveals precipitation and forests associated with aphid abundance. *Ecological Applications*, **26**(8), 2600–2610. <https://doi.org/10.1002/eap.1418>
359. **Starý P., (1967)** : Multilatéral aphid control concept. *Ann. Soc. entomol. fr* , 3,221-225
360. **Stary P., (1988)**: Aphids, their biology, natural enemies and control, Elsevier, Amsterdam, In A.K., Minks and P. Harrewijn (eds.), 171-184.
361. **Stefanazzi, N., T. Stadler and A. Ferrero., (2011)**: Composition and toxic, repellent and feeding deterrent activity of essential oils against the stored-grain pests *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *PestManagement Science*, **67**: 639–646.
362. **Straub C.S. and Snyder W.E., (2006)**: Species Identity Dominates the relationship between predator biodiversity and herbivore suppression. *Ecology*, **87**(2), 277–282. Doi: 10.1890/05-0599.
363. **Sullivan DJ., (2008)**: Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: Capinera JL (Ed) *Encyclopedia of Entomology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 191-215. doi:10.1007/978-1-4020-6359-6\_10284
364. **Sutherland. C. A., (2006)**: *Aphids and Their Relatives*. Ed, College of Agriculture and Home Economics. New Mexico.
365. **Swingle W.T., (1948)**: The botany of citrus and its wild relatives of the orange subfamily. In: *citrus industry*. Chap IV. Univ. Calif. Press, Berkeley and Los Angeles.
366. **Tabti, L., M. Dib, B. Tabti, J. Costa and A. Muselli., (2020)**: Insecticidal Activity of Essential Oils of *Pistacia atlantica* Desf. and *Pistacia lentiscus* L. Against *Tribolium confusum* Dul. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, **7**(2): 111-115.
367. **Tamaki G. and Smith R.F., (1972)**: Influence of wind and migrant aphid source on the flight and infestation patterns of the spotted alfalfa aphid. *Annals of the Entomological Society of America* **65** (5), 1131 - 1143.
368. **Tanaka T., (1954)**: Species problem in Citrus. *Japanese Society for Promotion of Science*, Tokyo, Japan, 50p.
369. **Tanya, D., (2002)**: Aphids. Bio-Integral Resource Center, Berkeley. Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur de l'université de CORSE en Sciences économiques, 390P
370. **Tauber M.J., Tauber C.A., Daane K.M., and Hagen K.S., (2000)**: Commercialization of predators: Recent lessons from green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: Chrysoperla). *Am. Entomol.* (46) : 26-38.
371. **Torquato L. D. Pachiega R. Crespi M. S. Nespeca M. G. de Oliveira J. E. & Maintinguer S.I., (2017)**: Potential of biohydrogen production from effluents of citrus processing industry using anaerobic bacteria from sewage sludge. *Waste management*, **59**, 181-193
372. **Toubal, S., Elhaddad, Dj., Bouchenak, O., Yahiaoui, K., Sadaoui, N. and Arab, K., (2019)**: L'importance des extraits d'Urtica dioica L. dans la lutte contre Culex pipiens (Linné, 1758). *Algerian journal of environmental science and technology*. Vol 5, N 1,
373. **Touhidul, I., Anowarul, H., Nur Uddin, M., Dipali, R. G. and Tofazzal, I., (2022)**: In vitro compatibility of entomopathogenic fungus, *Cladosporium cladosporioides* with three plant extracts. *Plant Protection Science*, **58**, (3): 213–219
374. **Trott O, Olson AJ. AutoDock Vina., (2010)**: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *J Comput Chem*. **31**:455–61.
375. **Turpeau E, Hulle M, Chaubet B., (2018a)** : Les insectes prédateurs de pucerons <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/>. Accessed 12/12-17 2017.
376. **Turpeau E., Hullé M. and Chaubet B., (2018)**: Encyclop'Aphid: l'encyclopédie des pucerons. Disponible sur le site : <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/>. (Consulté le 23 février 2020).

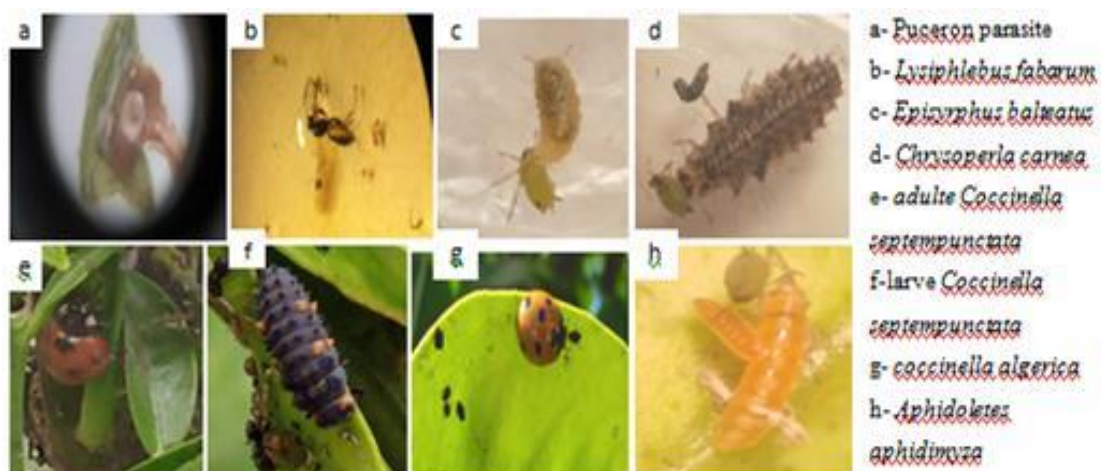
377. **Turpeau E., Hullé M. and Chaubet B., (2020):** *Aphis spiraecola* Patch. The *Spiraea* Aphid / Áfido de *Spiraea*, International Journal of Tropical Biology and Conservation: pp 67-89
378. **Turpeau, E. et al., (2023) :** Université de Rennes 1. INRAE. Myzus persicae [Encyclopédie en ligne]. Encyclop'Aphid. <https://www6.inrae.fr/encyclopediepuccerons/Especies/Puccerons/Rhopalosiphum/R.-padi>
379. **Turpeau-Ait Ighil E., Dedryver C.A., Hullé M. et Chaubet B., (2011) :** Les pucerons des grandes cultures (cycles biologique et activités de vol). Ed. Quae, 136p.
380. **Turpeau-Ait Ighil E., Hullé M. & Chaubet B., (2015) :** La morphologie des pucerons et les critères d'identification. qu'un-puceron/Morphologie. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-puccerons/Quest->
381. **Vannière H., (2012) :** Agriculture spéciale. Les plantes comestibles. Les espèces fruitières : les agrumes, In : Mémento de l'agronome. CIRAD, Montpellier. p929-940.
382. **Vidrich, V., P. Fusi, A. Graziano, E. Silvestrini, M. Michelozzi and F. Marco., (2004):** Chemical composition of the essential oil of *Pistacia Lentiscus* L. Journal of Essential Oil Research, 16: 223-226
383. **Vilcinskas A., (2016):** *Biology and ecology of Aphids* .Ed. CRC Press, 282 p.
384. **Villemant C., Haxaire J. et Streito JC., (2006):** Premier bilan de l'invasion de *Vespa velutina* Lepeletier en France (Hymenoptera, Vespidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 111(4): 535-538.
385. **Vincent, C., (1998):** Biopesticides: An overview of their mode of action and their use in pest control. *Outlooks on Pest Management*, 9(6), 203-208.
386. **Virbel-Alonso C., (2011) :** Citron et autres agrumes. Ed. Groupe Eyrolles, 15 p.
387. **Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. & Melillo, J.M. (1997):** Human Domination of Earth's Ecosystems. SCIENCE VOL. 277 25 JULY 1997 [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org).
388. **Völkl W., Mackauer M., Pell J. K. & Brodeur J., (2007):** Predators, parasitoids and pathogens. In: van Emden H. F. & Harrington R. (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 187 - 233.
389. **Wachenheim, C., Fan, L., Zheng, S., (2021):** Adoption of unmanned aerial vehicles for pesticide application: Role of social network, resource endowment, and perceptions, *Technology in Society* Volume 64, , 101470
390. **Xu, X., Jeffries, P., Pautasso, M. and Jeger, M., (2011):** Combined use of biocontrol agents to manage plant disease in theory and practice. *Phytopathology*, 101(9), 1024-1031.
391. **Yadav, I. C., Devi, N. L., Syed, J. H., Cheng, Z., Li, J. and Zhang, G., (2015):** Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: a comprehensive review of India. *Sci. Total Environ.* 511 123–137.
392. **YARA., (2023) :** Production mondiale d'agrumes par Nicolas Broutin.
393. **Yarou, B.B., Silvie, P., Assogba Komlan, F., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F. and Francis, F., (2017):** Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(4), 288- 304
394. **Zaabta I., (2016) :** Ecologie de deux bioagresseurs des agrumes *Lepidosaphes beckii* et *Parlatoria ziziphi* (Homoptera: Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouiba
395. **Zaid, R., Canela-Garayoa, R., Ortega-Chacon, N.M. and Mouhouche, F., (2022):** Phytochemical analyses and toxicity of *Nerium oleander* (Apocynaceae) leaf extracts against *Chaitophorus leucomelas* Koch, 1854 (*Homoptera: Aphididae*). *Journal of Saudi society of agricultural science.* 21 (5) : Pages 310-317
396. **Zhang Y., Wang L., Wu K., Wyckhuys K. A. & Heimpel G. E., (2008):** Flight performance of the soybean aphid, *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) under different temperature and humidity regimens. *Environmental Entomology* 37 (2), 301 - 306
397. **Zhou X.L., Harrington R., Woiwod I.P., Perry J.N., Bale J.S. and Clark S.J., (1995):** Effects of temperature on aphid phenology. *Global Change Biology*, 1, 303-313.
398. **Zoubiri, S. and Aoumeur, B., (2011):** Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. *Food chemistry* 129 179-182.

Annexe 01. Inventaire entomofaune

. Diversité aphidienne



. Diversité des auxiliaires



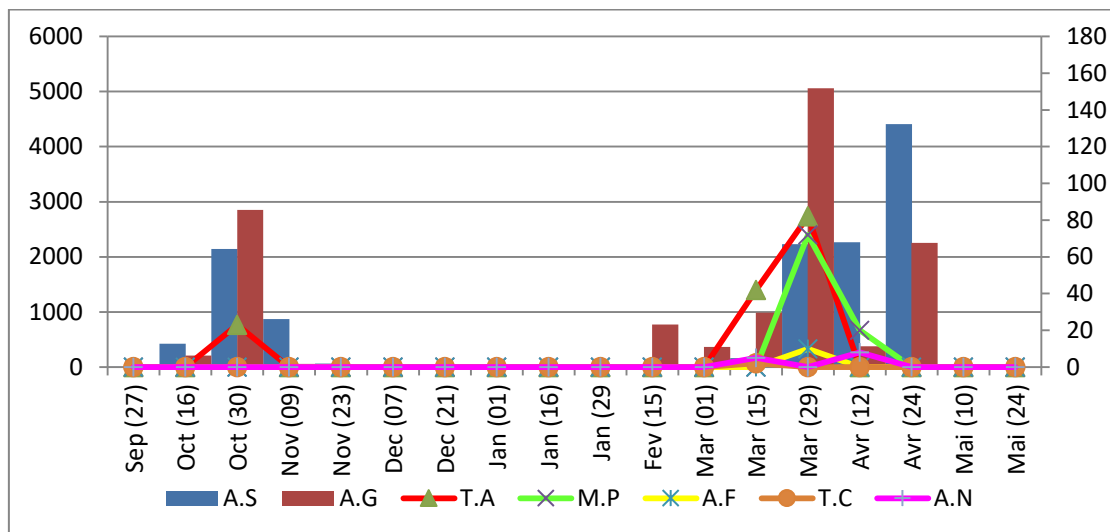


## Annexe 2. : Clé d'identification des pucerons des agrumes (blackman et Eastop, 2006)

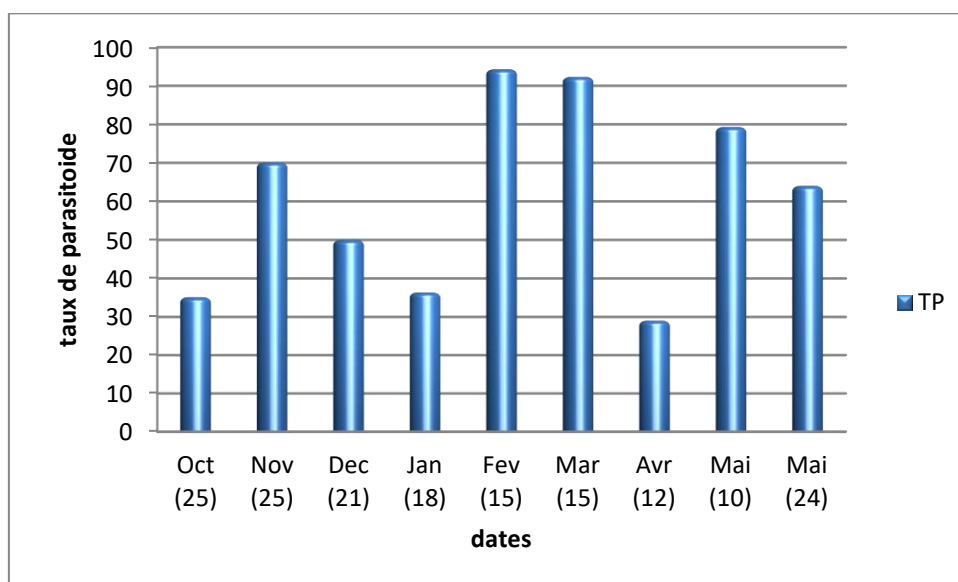
1	Tubercules antennaires peu développés	2
	Tubercules antennaires bien développés.	10
2	Le segment terminal un peu plus court que sa base. Cornicules beaucoup plus courtes que la queue.	A
	Le segment terminal beaucoup plus long que sa base. Cornicules courtes ou plus longues que la queue.	3
3	Cauda en forme de casque a vue dorsale, moins longue que sa largeur à la base.	B
	Cauda en forme de langue ou triangulaire en vue dorsale, plus longue que sa largeur à la base.	4
4	Abdomen dorsal avec une large tache noire.	C
	Abdomen dorsal sans tache noire	5
5	Cornicules beaucoup plus courtes que la queue.	D
	Cornicules plus ou moins long que la queue.	6
6	Le segment terminal 3,5 fois plus long que sa base .Cauda avec pas moins de 10 soies.	7
	Le segment terminal est moins 3,5 fois la longueur de sa base. Cauda généralement porte moins de 10 soies.	9
7	Cauda avec généralement plus de 20 soies. Les soies du segment antennaire III sont plus longues que le diamètre de ce segment à la base. Tergites thoraciques souvent partiellement sclérisées	E
	Cauda avec généralement moins de 20 poils. Les soies sur le segment antennaire III souvent plus courtes que le diamètre de ce segment à la base. tergites thoraciques généralement non sclerotisés.	8
8	Cornicules est 1.5 fois moins longues que la queue. appareil stridulatoire présent.	F
	Cornicules est 1.5 fois plus longues que la queue. appareil stridulatoire absent.	G
9	Cauda plus pâle que les cornicules avec 4 à 7 soies. Soies Fémorales tous assez courtes, moins larges que le fémur à sa base.	H
	Cauda sombre, avec 6 à 12 soies. Quelques soies fémorales sont longues et fines, plus longues que la largeur de fémur à sa base.	I
10	Face interne de tubercules antennaires convergentes.	J
	Face interne de tubercules antennaires parallèles ou divergentes.	11
11	Cornicules un peu plus courtes que la longue et sombre queue.	K
	Cornicules beaucoup plus longues que la queue.	12
12	La tête, les pattes et les antennes sont de couleur foncée ; fémurs pâles à la base, mais avec la moitié à trois-quarts est noir. Cornicules légèrement enfilés. Cauda avec une constriction.	L
	Pattes, tête, et les antennes de couleur pâle. Cornicules de forme de ruban parallèle tout au long. Cauda sans constriction.	13
	Face interne des tubercules antennaires parallèles. Cornicules sans réticulation polygonale. La longueur du cauda mesure un dixième à un huitième la longueur du corps.	M
	Faces internes des tubercules antennaires divergentes. la zone subapicale des cornicules avec réticulation polygonale. Cauda mesurant un septième à un cinquième la longueur du corps.	N

A- <i>Brachyunguis harmalae</i>	J- <i>Myzus persicae</i>
B- <i>Brachycaudus helichrysi</i>	K- <i>Sinomegoura citricola</i>
C- <i>Aphis craccivora</i>	L- <i>Aulacorthum magnoliae</i>
D- <i>Toxoptera odinae</i>	M- <i>Aulacorthum solani</i>
E- <i>Toxoptera citricidus</i>	N- <i>Macrosiphum euphorbiae</i> [autres espèces peuvent être rencontrés sur citrus : <i>Aphis arbuti</i> ; <i>Aphis fabae</i> ; <i>Brachycaudus cardui</i> ; <i>Pterochloroides persicae</i> ; <i>Rhopalosiphum maidis</i> ]
F- <i>Toxoptera aurantii</i>	
G- <i>Aphis nerii</i>	
H- <i>Aphis gossypii</i>	
I- <i>Aphis spiraeicola</i>	

**Annexe 03** Evolution des fluctuations des différentes espèces d'aphides recensées dans les verges d'agrumes



**Annexe 04.** Taux de parasitisme en fonction du temps



**Annexe 05** Trois méthodes de piégeage





Annexe 06 Quelques exemples des plantes pesticides de la région de Chlef



*Pinus sylvestris*



*Lavandula stoechas*



*Rosmarinus officinalis*



*Daucus carota*



*Marrubium vulgare*



*Agave Americana*



*Salvia officinalis*



*Origanum vulgare*



*Pistacia lentiscus*



*Juniperus phoenicea*



*Echinops spinosus*



*Urtica dioica*



*Anacyclus clavatus*



*Calendula officinalis*



*Chamaemelum nobile*



**Annexe 07.** Les étapes de macération.



**1-**Les feuilles de la plante considérée (Juniperus phoenicea; pistacier)



**2-**Les feuilles après un broyage



**3-**Pesé 10g de la poudre de plante +70 ml de solvant + 30 ml eau



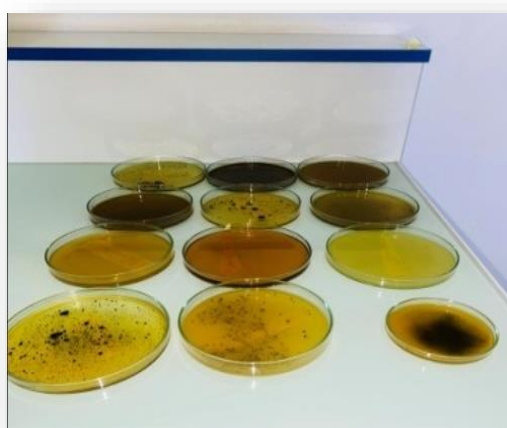
**6-**Evaporation sur un rotavapeur.



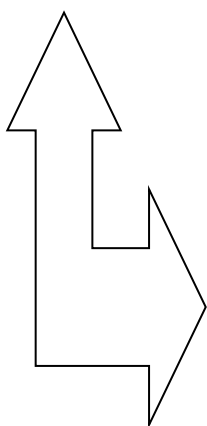
**5-**Filtration sur papier filtre (Wattman N°1).



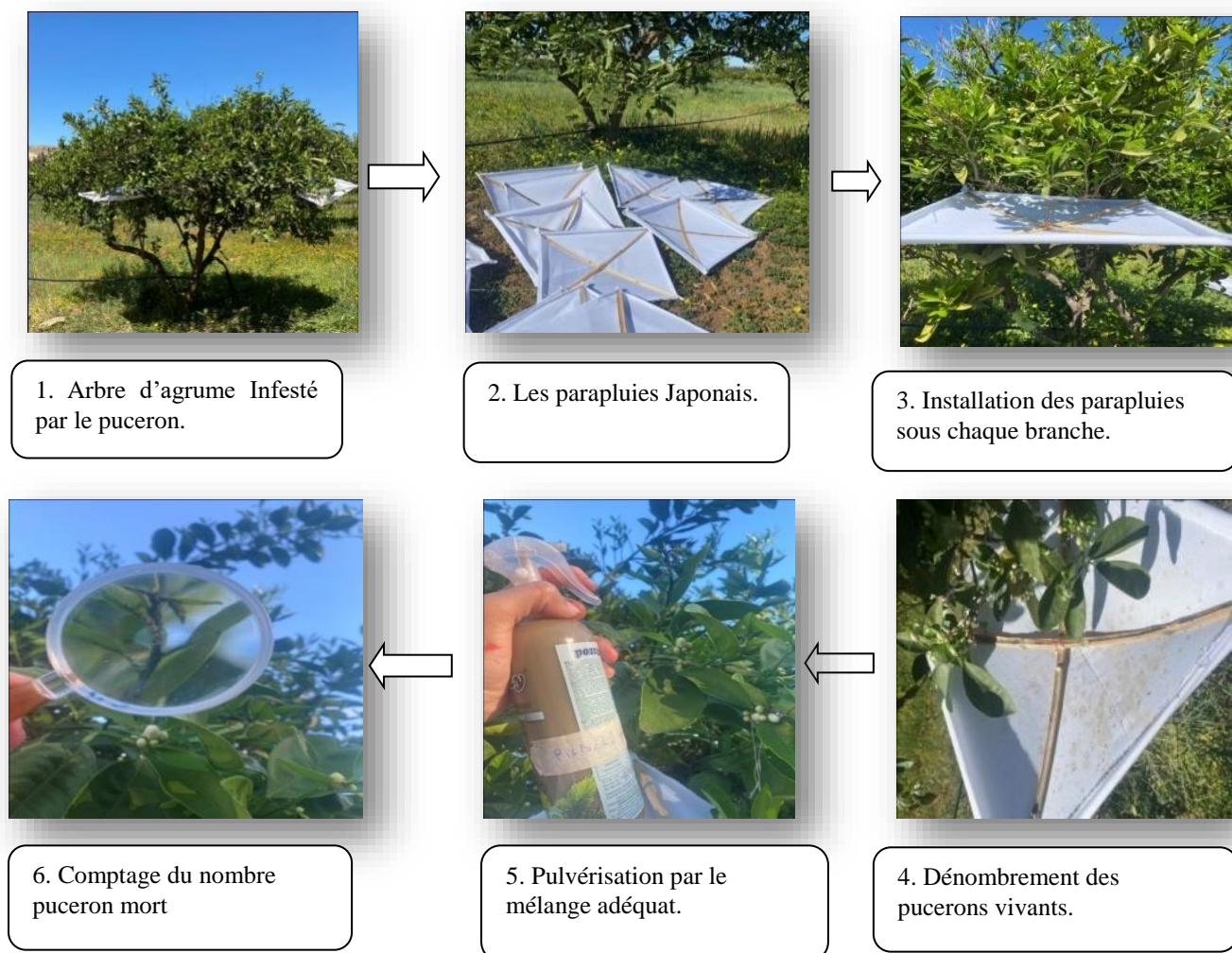
**4-**Agitation pendant 24h.



Séchage dans une étuve à 40°C pendant 24h.



### Annexe 08 . Les étapes de traitement sur terrain



**Annexe 09.** Analyses statistiques. L'analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées se base sur les hypothèses suivantes concernant les données :

- Aucune valeur aberrante significative dans aucune cellule du plan. Pour confirmer cela, l'analyse a été effectuée en utilisant la fonction `identify_outliers()`, et aucune valeur aberrante n'a été détectée.
- Normalité. La variable d'intérêt, qui est le taux de mortalité des pucerons, devrait suivre approximativement une distribution normale dans chaque groupe de notre expérience. Nous avons effectué une vérification visuelle à l'aide d'un QQ-plot (Fig. 35) pour confirmer cela. En examinant ce graphique, nous constatons que tous les points sont alignés le long de la ligne de référence, ce qui nous permet de supposer une distribution normale.

- Hypothèse de sphéricité. L'égalité des variances des différences entre les groupes doit être vérifiée. Cette vérification peut être effectuée à l'aide du test de sphéricité de Mauchly, qui sera automatiquement appliqué lors du calcul du test ANOVA.

**Tableau 1.** Résultats de l'ANOVA pour l'effet des différents types de traitements, du temps et de leur interaction sur le taux de mortalité des pucerons

	<i>ddl1</i>	<i>ddl2</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<b>Traitement</b>	14	28	5,80	<0,001*
<b>Temps</b>	5	10	593,81	<0,001*
<b>Traitement × Temps</b>	70	140	3,97	<0,001*

\* Différences significatives

Les résultats présentés dans le **tableau 1** indiquent une interaction significative entre le type de traitement et le temps d'exposition en ce qui concerne le taux de mortalité des pucerons, ainsi que des effets significatifs observés pour chaque facteur individuellement. Cette interaction à deux facteurs suggère que l'effet du type de traitement sur le taux de mortalité des pucerons varie en fonction du temps, et vice versa. Pour examiner de plus près cette interaction, nous avons effectué une analyse de comparaisons par paires en utilisant le test *t* apparié afin d'identifier les groupes qui présentent des différences significatives.. Les résultats sont présentés respectivement dans les **tableau 2** et **3**.

**Tableau 2.** Résultats significatifs des comparaisons par paires entre les différents traitements sur le taux de mortalité des pucerons à différents temps d'exposition

<b>Temps</b>	<b>Traitement 1</b>	<b>Traitement 2</b>	<i>F</i>	<i>ddl</i>	<i>p</i>
6h	Hydrolat S	T-	44,59	2	<0,001*
8h	Hydrolat S	T-	40	2	<0,001*
8h	Ext aq S	T-	95,72	2	<0,001*
10h	Hydrolat S	T-	727,46	2	<0,001*
10h	Ext act S	T-	66,7	2	<0,001*
24h	Ext act S	Ext M G	-33,57	2	<0,001*
24h	Ext act S	Ext M P	-37,61	2	<0,001*
24h	Hydrolat S	T-	40,75	2	<0,001*
24h	HE P	T-	46,02	2	<0,001*
24h	Ext M P	Hydrolat S	50,22	2	<0,001*
24h	Ext M P	T-	57,35	2	<0,001*
24h	He S	T-	227,36	2	<0,001*

\* Différences significatives

Aucune différence significative n'a été observée entre les différents types de traitements après 2 et 4 heures d'exposition, ce qui suggère que le taux de mortalité des pucerons n'est pas significativement influencé par le type de traitement pendant ces périodes d'exposition. Il convient cependant de noter que ces résultats ne permettent pas d'exclure totalement l'efficacité des traitements, car des différences significatives peuvent encore être observées avec des niveaux de significativité plus élevés (**voir annexe 1**).

D'après le **tableau 2**, une différence significative a été observée après 6 heures d'exposition

entre Hydrolat S et T-, Hydrolat S étant le traitement le plus efficace. Après 8 heures d'exposition, on a observé la même différence significative entre Hydrolat S et T-, ainsi qu'une autre différence significative entre Ext aq S et T-, Ext aq S étant le plus efficace. Après 10 heures d'exposition, on a encore observé la même différence significative entre Hydrolat S et T-, ainsi que des différences significatives entre Ext act S et T-, Ext act S étant le plus efficace. Enfin, après 24 heures d'exposition, plusieurs différences significatives ont été observées, montrant clairement l'efficacité d'Hydrolat S, HE P, Ext M P et He S par rapport à T-. Cependant, l'efficacité de Ext M P était supérieure à celle d'Hydrolat S. De plus, Ext M G et Ext M P se sont révélés plus efficaces que Ext act S (**Fig. 2**).

**Tableau 3.** Comparaisons par paires du taux de mortalité des pucerons pour chaque traitement, entre 2 heures et 24 heures d'exposition

Traitement	Après 2h d'exposition	Après 24h d'exposition	F	ddl	p
Ext act G	2h	24h	16,89	2	0,003
Ext aq P	2h	24h	20,34	2	0,002
Ext aq S	2h	24h	7,55	2	0,017
Ext M G	2h	24h	22,35	2	0,002
Ext M P	2h	24h	7,78	2	0,016
Ext M S	2h	24h	9,68	2	0,011
Ext act P	2h	24h	11,99	2	0,007
Ext act S	2h	24h	29,05	2	0,001
Ext aq G	2h	24h	205,50	2	<0,001*
HE G	2h	24h	69,02	2	<0,001*
HE P	2h	24h	43,72	2	0,001
He S	2h	24h	22,54	2	0,002
Hydrolat S	2h	24h	762,10	2	<0,001*
T+	2h	24h	5,94	2	0,027
T-	2h	24h	8,08	2	0,015

\* Différences significatives